

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FITOESTIMULACIÓN DE BACTERIAS PGPB EN PLANTAS DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa*)

*Soley B. Nava¹, Yolanda Santos², Alfonso Benitez, Diana V. Cortés¹, Martha D. Bibbins¹

¹. Instituto Politécnico Nacional, CIBA Lab 4. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5 Tlaxcala C.P. 90700, México. ². Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Carretera a Acuaco Zacapoaxtla Kilómetro 8 Totoltepec, 73680 Zacapoaxtla, Pue. *snava@ipn.mx.

Resumen

El cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) constituye una alternativa agrícola de relevancia económica en México; no obstante, su productividad puede ser limitada por factores edáficos y fisiológicos. En este sentido, las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) representan una estrategia biotecnológica sostenible para mejorar su rendimiento. En el presente estudio se evaluó el efecto de diferentes aislados bacterianos sobre la germinación, desarrollo temprano y crecimiento en invernadero de plántulas de jamaica. A las 24 h, las semillas mostraron un 100% de germinación con un índice de velocidad de germinación (IVG) de 0.935, confirmando su alta viabilidad. Las cepas, XM10 y OM1 promovieron un mayor crecimiento radicular (4.6 cm) y abundantes raíces laterales, mientras que TM5 estimuló la elongación del hipocótilo (5.4 cm). En contraste, el aislado TM10 provocó pudrición radicular que limitó el desarrollo de plántulas. Bajo condiciones controladas de invernadero, las cepas XM10, OM1 y AM5 mostraron el mejor desempeño global, alcanzando una altura promedio de planta de 78 cm. En cuanto a la acumulación de biomasa fresca, el tratamiento TM5 presentó el mayor rendimiento, con 280 g en tejidos aéreos y 21.85 g en raíz. De manera destacada, el tratamiento AM5 promovió la mayor inducción floral. Estos resultados resaltan el potencial de cepas con características de BPCV como inoculantes para incrementar el crecimiento y productividad de jamaica, así como, aportando bases para su aplicación en sistemas agrícolas sustentables.

Palabras Claves: *Hibiscus sabdariffa*, bacterias promotoras de crecimiento vegetal, cultivo

Abstract

Hibiscus sabdariffa is an economically important crop in Mexico, yet its productivity is often constrained by edaphic and physiological factors. Plant growth-promoting bacteria (PGPB) offer a sustainable approach to enhance crop performance. This study assessed the effects of different bacterial isolates on seed germination, early seedling development, and greenhouse growth of *H. sabdariffa*. Seeds reached 100% germination within 24 h, with a germination velocity index (GVI) of 0.935, indicating high viability. Bacterial strain XM10 promoted the greatest root growth (4.6 cm) and abundant lateral root formation, while strain TM5 enhanced hypocotyl elongation (5.4 cm). Conversely, TM10 caused root rot, restricting seedling development. Under greenhouse conditions, plants inoculated with strains XM10, OM1, and AM5 reached a mean height of 78 cm, outperforming the other treatments. In terms of fresh biomass, treatment TM5 recorded the highest values, with 280 g in aerial tissue and 21.85 g in roots. Additionally, AM5 resulted in the greatest number of flowers among all treatments evaluated. These findings underscore the potential of specific PGPB strains as bioinoculants to boost *H. sabdariffa* growth and productivity, supporting their integration into sustainable agricultural systems.

Key Words: *Hibiscus sabdariffa*, plant growth promoting bacteria, cultivation

Introducción

El cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) posee una importancia socioeconómica relevante en varias regiones de México, donde su producción está mayoritariamente a cargo de pequeños productores y asociaciones rurales (Ariza, 2020). A pesar de las condiciones agroclimáticas favorables para su cultivo y su creciente demanda por usos alimentarios e industriales (bebidas, mermeladas, ingredientes funcionales) (Galicia et al., 2008), los rendimientos nacionales permanecen por debajo de su potencial técnico, solamente en 2021 fueron cosechados 8,617.29 t de flor en México e importado el 52% del consumo total de países como China, Sudán, Nigeria y Senegal (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2023; Esquivel et al., 2024). Así mismo las limitaciones estructurales impactan de manera importante en su producción. Por otra parte, entre los factores que limitan la productividad se reconocen presiones bióticas —plagas y enfermedades foliares y de fruto (Abdel-Moniem et al., 2006) — y estreses abióticos como baja fertilidad edáfica, déficit hídrico y salinización puntual del suelo, además de prácticas de manejo tradicionales con escaso acceso a tecnología y asesoría técnica. Estas restricciones explican la heterogeneidad de rendimientos y la alta dependencia de mano de obra y mercados informales en sistemas de pequeña escala.

Frente a este escenario, las estrategias microbiológicas basadas en Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (MPCV) se postulan como alternativas sostenibles para mejorar productividad. Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) actúan mediante múltiples mecanismos complementarios: fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas (por ejemplo IAA), actividad de ACC-desaminasa que reduce el etileno de estrés, producción de sideróforos y compuestos antagonistas frente a fitopatógenos, además de contribuir a la estabilización de la estructura del suelo y la tolerancia frente a estrés salino e hídrico (Kloepper and Beauchamp 1992; Kloepper et al., 2004; Souza et al., 2015; Mitter et al., 2021; Olaniyan et al., 2022). Esta multifuncionalidad ha sido respaldada por estudios en distintos cultivos, incluida la jamaica, donde inoculaciones con MPCV y

asociaciones con micorrizas han mostrado mejoras en biomasa, parámetros fotosintéticos y rendimiento bajo estrés hídrico (Sanayei et al., 2021).

En México, ensayos agronómicos y trabajos de selección de cultivares combinados con prácticas agroecológicas evidencian que la incorporación de biotecnologías microbianas y protocolos de manejo adaptados a pequeña escala pueden mejorar significativamente el rendimiento de las plantas. Por ello, la evaluación experimental del efecto de bacterias con características de promoción de crecimiento vegetal en plantas de jamaica contribuye a la generación de bioinoculantes apropiados para sistemas locales y así reducir la dependencia de insumos químicos y aumentar la rentabilidad y sostenibilidad de pequeños productores.

Materiales y Métodos

Germinación y crecimiento in vitro de semillas de jamaica.

Se realizaron pruebas de germinación de semillas de jamaica (variedad costeña de productores del Istmo en Oaxaca). Se seleccionaron semillas completas y de tamaño uniforme, colocadas en 5 lotes de 7 semillas, las cuales fueron desinfectadas por tratamiento con etanol al 70% (30–60 s) seguido de hipoclorito de sodio (1–3%, 1–5 min), y lavados posteriores con agua estéril. La esterilidad se confirmó colocando las semillas en placas de agar LB (Fiodor et al., 2023).

Preparación del inóculo bacteriano

Las cepas fueron crecidas en medio líquido Luria-Bertani (10 g de triptona, 5 g de NaCl, 5 g de extracto de levadura y 1000 mL de agua destilada), a una temperatura de 30 °C, hasta alcanzar la fase logarítmica. Posteriormente se ajustó la concentración por densidad óptica de 1×10^8 UFC en solución salina con carboximetilcelulosa (0.5%).

Bioensayo en semillas de jamaica

Las semillas previamente desinfectadas, se colocaron en matraces que contenían 50 mL de una suspensión bacteriana y se mantuvieron por 60 min con agitación a 120 rpm, para posteriormente eliminar la suspensión de cada una de las muestras. Los tratamientos se dejaron secar en un horno a 35 °C durante 24 h. Se depositaron 7 semillas sobre papel de filtro estéril humedecido con 5

mL de agua desionizada estéril dentro de una placa de Petri; Posteriormente, las semillas se colocaron cuidadosamente con el embrión ubicado hacia abajo. Finalmente, las placas de Petri se sellaron y se colocaron en una incubadora de crecimiento con un fotoperiodo de 12:12 a 25 ± 2 °C con una humedad relativa del 60 %. La germinación de las semillas se cuantificó diariamente, analizando los siguientes parámetros de crecimiento:

porcentaje de germinación (G) (fórmula 1) (Bewley, 2013).

Índice de velocidad de germinación (IVG) (fórmula 2) (Maguire, 1962)

La longitud de la plúmula (PL) fue medido desde la unión de la radícula con el hipocótilo y longitud de la radícula (RL), se midió desde la base del hipocótilo hasta el ápice de la radícula, también fue medido el peso fresco y seco de los brotes.

$$(\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas } G}{\text{Número total de semillas germinadas}} * 100$$

Fórmula 1. Fórmula para calcular el porcentaje de germinación en semillas de jamaica.

$$IVG (\%) = \sum \frac{G}{N}$$

Fórmula 2. Índice velocidad de germinación donde: **G** = número de semillas germinadas en el conteo **N** = días después de la siembra en que ocurrió

Pruebas en invernadero

El ensayo se estableció en un diseño de bloques completamente al azar, con 2 bloques (réplicas) y 9 tratamientos, con un total de 18 macetas.

Tabla 1. Matriz de tratamientos

Tratamiento	ID	ESPECIE BACTERIANA
T1	OM3	<i>Ochrobactrum sp</i>
T2	IM1	<i>Pseudomonas hibiscicola</i>
T3	TM5	<i>Pseudomonas geniculata</i>
T4	XM10	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
T5	OM1	<i>Serratia marcescens</i>
T5	AM5	<i>Ochrobactrum sp</i>
T6	TM2	<i>Ochrobactrum sp</i>
T7	XM2	<i>Klebsiella spp</i>
T8	CTR	dH ₂ O estéril

Cada bloque contiene dos réplicas de todos los tratamientos (1 maceta por tratamiento por bloque). Las posiciones de las macetas fueron aleatorizadas dentro de cada bloque antes de iniciar el ensayo.

Preparación del material vegetal, sustrato e inóculo

Se utilizaron semillas de jamaica previamente tratadas como en el apartado 2.1, en tanto que, el sustrato consistió en vermiculita estéril; volumen por maceta: 5 L. Las condiciones de temperatura y humedad fueron registradas diariamente; fotoperiodo natural, riego manual a volumen constante; evitando encharcamientos y cada tercer día se adicionó solución Hoagland. El inóculo

bacteriano se preparó anteriormente y el control de formulación (T2) contenía el mismo portador sin microorganismos.

Procedimiento de inoculación

Tres semillas previamente tratadas y germinadas fueron sembradas en una maceta a 1–2 cm de profundidad; después de 7 días, las dos plántulas más vigorosas fueron mantenidas y retirada la tercera. Control: semillas sumergidas en agua estéril. A la semana de ser trasplantada, se aplicaron 10 mL de suspensión bacteriana (10^8 UFC/mL⁻¹) (Santiago et al., 2020) en el cuello radicular de cada planta. Las aplicaciones se repitieron a los 14 y 28 días. Los parámetros que se evaluaron fueron, altura de la planta (cm), biomasa fresca parte aérea y de la raíz.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$). La normalidad de los datos porcentuales (porcentaje de germinación) se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y los datos porcentuales se transformaron mediante la transformación de raíz cuadrada de arcoseno antes de realizar el ANOVA.

Resultados y discusión

Crecimiento bacteriano

Nueve cepas bacterianas (OM3, IM1, TM5, XM10, OM1, AM5, TM2, XM2 y TM10) pertenecientes a los géneros *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Ochrobactrum* y *Serratia* aisladas de cultivos impactados con plaguicidas,

fueron previamente evaluadas y seleccionadas a través de pruebas bioquímicas en sus propiedades de promoción del crecimiento vegetal. En la figura 1, se muestran las curvas de crecimiento de las nueve cepas. Los aislados lograron crecer en medio LB, presentando diferentes velocidades de crecimiento. OM1 (*Serratia marcescens*) y XM2 (*Klebsiella spp.*) ($\mu=0.13$ y 0.127 h^{-1} respectivamente), presentaron una rápida velocidad de crecimiento, alcanzando la fase exponencial en tan solo 2 horas de incubación, y la fase

estacionaria, después de 4 h. Por otra parte, las cepas XM10 (*Stenotrophomonas maltophilia*), IM1 (*Pseudomonas hibiscicola*) y TM5 (*Pseudomonas geniculata*) iniciaron la fase exponencial después de 6 h, alcanzando la fase estacionaria después de 22 h. La velocidad de crecimiento de cada cepa nos permitió generar inóculos estandarizados, así como discernir en la conformación de inóculos a ser aplicados en el tratamiento de semillas.

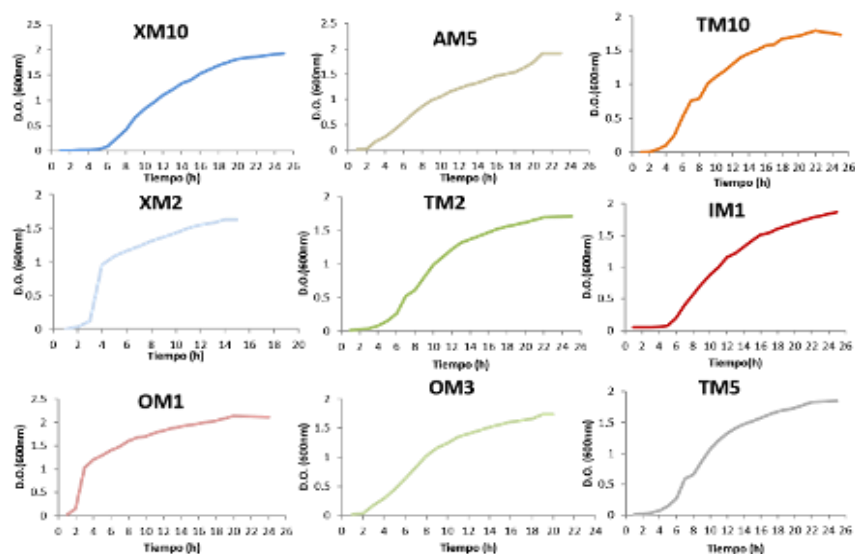


Figura 1. Curvas de crecimiento bacteriano de los géneros *Stenotrophomonas* (XM10), *Klebsiella* (XM2), *Serratia* (OM1), *Ochrobactrum* (AM5, TM2), *Pseudomonas* (IM1, TM5) y *Ochrobactrum* (TM10, OM3). Crecimiento en medio LB, a 30°C y agitación a 120 rpm

Germinación, crecimiento y desarrollo inicial de jamaica

En la figura 2, se muestra la germinación de semillas de *Hibiscus sabdariffa*, después de 24 h de incubación, las semillas presentaron el 100% de germinación, con un índice de velocidad de germinación (IVG) de 0.935. Con lo que se asegura la viabilidad de las semillas. De acuerdo con estudios de International Seed Testing Association (ISTA, 2020), porcentajes por debajo del 80% de germinación en semillas, indican mala calidad. De los 5 lotes probados, todos presentaron el 100 % de germinación sin presencia de contaminantes. Los resultados obtenidos evidencian que las semillas de

jamaica utilizadas en este estudio poseen una viabilidad óptima y homogénea. Estudios previos han resaltado la importancia de la calidad fisiológica de la semilla en la respuesta a tratamientos de biofertilización y bioprotección. Bewley et al. (2013) destacan que semillas con alto vigor presentan un desempeño más consistente en ambientes controlados y de campo, lo que repercute directamente en el éxito de programas de inoculación microbiana. De manera similar, Finch-Savage y Bassel (2016) enfatizan que la sincronía en la germinación es crucial para estudios de biotecnología vegetal, ya que reduce la variabilidad experimental asociada a diferencias fisiológicas en las plántulas.

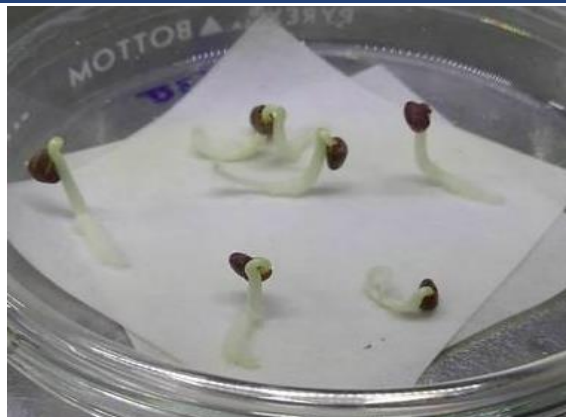


Figura 2. Semillas de jamaica germinadas después de 24 h.

En relación con los resultados obtenidos en los ensayos de germinación y desarrollo temprano de plántulas, se evidencia que los tratamientos con bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPB) ejercen efectos diferenciados sobre la morfología inicial de la raíz y del hipocótilo. La cepa XM10 (*Stenotrophomonas maltophilia*) promovió un desarrollo radicular significativamente mayor, alcanzando en promedio 4.6 cm de longitud, acompañado de una abundante formación de pelos radicales (tabla 2). Este efecto es relevante, ya que el incremento en la superficie de absorción radicular mejora la adquisición de nutrientes y agua, lo que se traduce en un potencial mayor de

establecimiento y vigor de las plántulas en etapas posteriores (Lugtenberg y Kamilova, 2009). El estímulo sobre el crecimiento radicular puede estar relacionado con la producción de fitohormonas, especialmente auxinas como el ácido indol-3-acético (AIA), cuya síntesis por bacterias rizosféricas ha sido ampliamente documentada (Spaepen et al., 2007). En particular, *S. maltophilia* ha mostrado capacidad para secretar AIA y compuestos secundarios que modulan la arquitectura radicular (Ryan et al., 2009), lo cual concuerda con la presencia de raíces más largas y con mayor densidad de pelos radicales observados en este estudio.

Tabla 2. Crecimiento de las plántulas de jamaica 24 h después del tratamiento con bacterias

Tratamiento	Raíz (cm)	Plúmula	Hipocótilo (cm)	Pelos radicales	Raíces secundarias
XM10	4.6	No	4.9	***	5
XM2	3.8	Si	4.6	**	3
OM1	4.4	Si	5.2	**	3
AM5	2.4	No	4.7	**	5
TM2	2.1	No	5.3	**	3
OM3	3.2	No	5.1	**	3
TM10	1.1	No	1.7	no	0
IM1	2.7	Si	4	***	3
TM5	2.9	Si	5.4	**	3
CTR	2.4	No	5.4	**	3

Nota: * >10 PR, ** < 20 PR *** < 50 PR (Pelos Radicales)

Por otro lado, el tratamiento con *Pseudomonas geniculata* (TM5), se asoció con un efecto diferencial sobre la elongación del hipocótilo, alcanzando 5.4 cm en promedio, además de una abundante producción de pelos radicales. El alargamiento del hipocótilo podría explicarse por la producción bacteriana de giberelinas y citoquininas, hormonas conocidas por promover la división y elongación celular en

tejidos aéreos en etapas tempranas del desarrollo (Gutiérrez-Mañero et al., 2001; Khan et al., 2020). Estudios en *Pseudomonas spp.* han demostrado la capacidad de estas bacterias para producir metabolitos que estimulan tanto la parte aérea como el sistema radicular, dependiendo de la interacción planta-cepa (Kloepper et al., 2004). La figura 3 muestra el efecto sobre la germinación de las cepas bacterianas. Se

observó que las semillas tratadas con la cepa OM1 (*Serratia marcescens*) mostraron una plúmula y raíz principal mayor que el resto de los tratamientos, así como abundantes raíces secundarias. Caso contrario, sucede con la cepa TM10 (*Ochrobactrum pituitosum*), la

cual, provocó un proceso de pudrición de la plántula. Existen diversos reportes de especies de *Ochrobactrum* implicados en enfermedades de plantas bajo ciertas condiciones (Ryan et al., 2020)

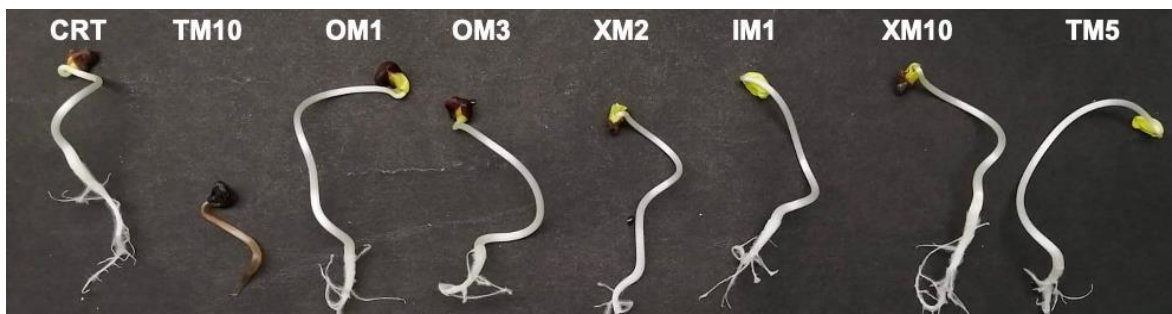


Figura 3. Efecto de bacterias [*Ochrobactrum pituitosum* (TM10), *Serratia marcescens* (OM1), *Ochrobactrum sp* (OM3), *Klebsiella sp* (XM2), *Pseudomonas hibiscicola* (IM1), *Stenotrophomonas maltophilia* (XM10), *Pseudomonas geniculata* (TM5)], sobre semillas de *Hibiscus sabdariffa*. Día 5 después del tratamiento

En la figura 4 se presentan los resultados del efecto de las bacterias sobre el crecimiento radicular. Se observó una diferencia significativa de la cepa OM1 (*Serratia marcescens*), respecto al resto de los tratamientos. Matteoli et al. (2018) reporta que *S. marcescens* promueve el crecimiento vegetal por diversos mecanismos como: (i) biosíntesis de compuestos auxínicos (IAA o compuestos indólicos) que modulan la arquitectura radicular; (ii) solubilización de

nutrientes (fosfato, zinc) que mejora la disponibilidad de minerales; (iii) producción de sideróforos y metabolitos antagonistas que reducen la presión de fitopatógenos; y (iv) actividad de ACC desaminasa que mitiga la acumulación de etileno en plantas sometidas a estrés, facilitando así la tolerancia a salinidad y sequía. Así mismo en estudios funcionales y genómicos respaldan la presencia de rutas y genes asociados a estos rasgos en cepas candidatas a bioinoculantes.

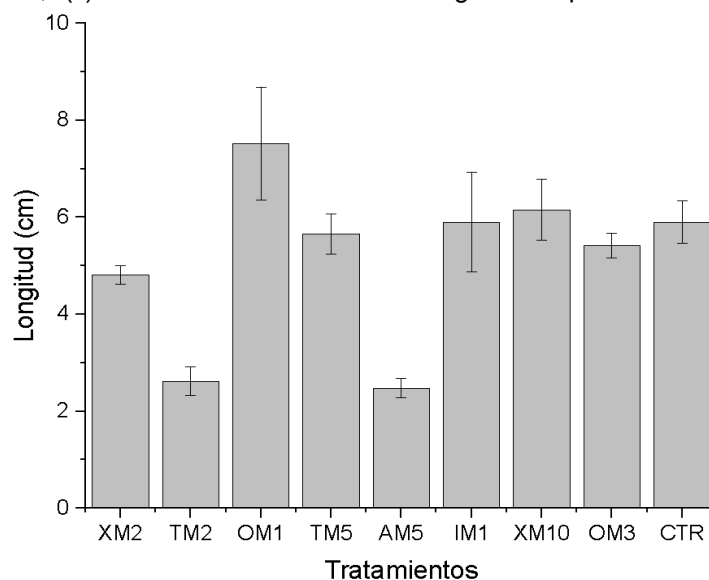


Figura 4. Efecto de las bacterias [*Klebsiella sp* (XM2), *Ochrobactrum sp* (TM2), *Serratia marcescens* (OM1), *Pseudomonas geniculata* (TM5), *Ochrobactrum sp* (AM5), *Pseudomonas hibiscicola* (IM1), *Stenotrophomonas maltophilia* (XM10), *Ochrobactrum sp* (OM3)]. sobre el crecimiento radicular. Longitud de la radícula (RL) en semillas germinadas de *Hibiscus sabdariffa* al día 5 germinadas.

Artículos

Los resultados de fitotoxicidad demostraron que ocho cepas no presentan efectos adversos en la germinación y mejoran el desarrollo del hipocótilo y hojas primarias en un periodo de 5 días de crecimiento.

Evaluación en invernadero

Las pruebas de invernadero se realizaron en los meses de julio y agosto del 2020, los tratamientos fueron con las bacterias; OM3,

IM1, TM5, XM10, OM1, AM5, TM2, XM2 y como control agua (CTR). Como se observa en la figura 5 el desarrollo de las plantas a los 70 días en condiciones de invernadero fue lento y con poco follaje, cabe mencionar que la temperatura promedio oscilo entre los 20 y 37 °C con una humedad relativa menor al 50%, por lo que se vio afectado su crecimiento.

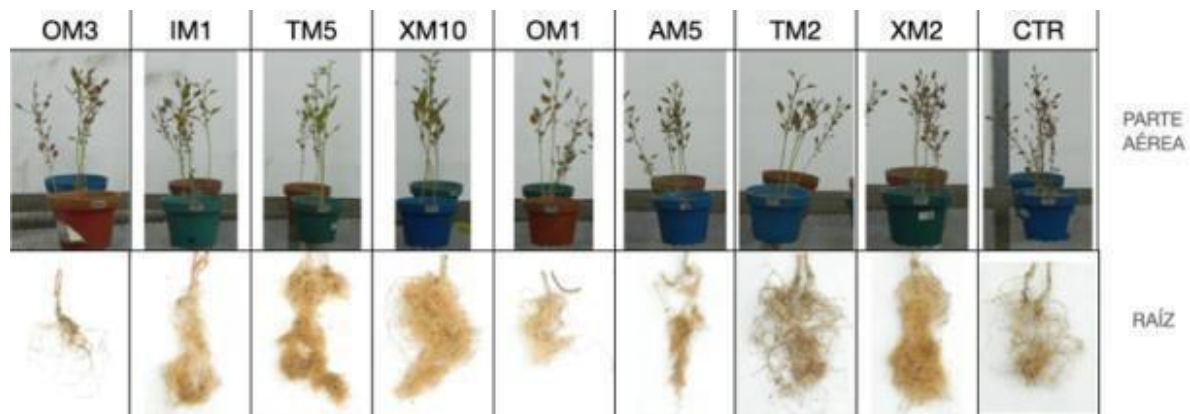


Figura. 5. Evaluación de la promoción de crecimiento vegetal en maceta. Plantas de jamaica de 2 meses de crecimiento inoculadas con bacterias con propiedades de crecimiento vegetal. *Ochrobactrum sp* (OM3), *Pseudomonas hibiscicola* (IM1), *Pseudomonas geniculata* (TM5), *Stenotrophomonas maltophilia* (XM10), *Serratia marcescens* (OM1), *Ochrobactrum sp* (AM5), *Ochrobactrum sp* (TM2), *Klebsiella sp* (XM2).

En la tabla 3, se muestran los datos fenotípicos de los aislados bacterianos, respecto al control, La longitud de la parte aérea de la planta alcanzó un máximo de 78 cm para los tratamientos XM10 y OM1 con la generación de un sistema radicular abundante; en tanto que el más bajo fue de 54 cm para la cepa AM5. En relación a la biomasa fresca de la parte aérea el

tratamiento TM5 presento el valor máximo de 280 g y el menor fue para IM1 (167 g), con respecto a la biomasa fresca de parte de la raíz TM5 (21.85 g) sobresalió. Finalmente, la presencia de flores fue muy variado por tratamientos, pese a que las plantas del tratamiento AM5 no crecieron más allá de 54 cm fue la que inicio primeramente con flores, contabilizando en total 22.

Tabla 3. Datos fenotípicos de *Hibiscus sabdariffa* a nivel invernadero.

Tratamiento	Altura (cm)	Biomasa fresca (g)		Número de flores
		aérea	raíces	
OM3	58	195	7.3	11
IM1	57	167	11.8	16
TM5	73	280	21.85	14
XM10	78	201	14.5	18
OM1	78	239	9.5	20
AM5	54	220	8.69	22
TM2	75	249	13	8
XM2	56	278	17.4	12
CTR	58	270	14	14

Conclusiones

Las semillas de *Hibiscus sabdariffa* variedad costeña, presentó una alta tasa de germinación (100 %) en un periodo de 48 h, sin presencia de contaminantes.

Ocho cepas bacterianas no presentaron efecto fitotóxico sobre la germinación de semillas de *Hibiscus sabdariffa* y favorecieron la elongación de las plántulas.

El desarrollo de la planta fue favorecido por la cepa TM5 y en producción de flores, la cepa AM5.

Perspectivas del trabajo

A fin de corroborar el efecto de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal se propone el someter la interacción de las mejores cepas XM10, TM5 y OM1; así como consorcios microbianos junto con un producto comercial para ser un referente de medición.

Agradecimientos

Gracias al Instituto Politécnico Nacional, a los proyectos SIP 20254124 MULTIDICIPLINARIO 2362, por el apoyo brindado para el desarrollo de este estudio.

Referencias

Abdel-Moniem ASH, Abd El-Wahab TE (2006). Insect pests and predators inhabiting roselle plants, *Hibiscus sabdariffa* L., a medicinal plant in Egypt. Archives of phytopathology and plant protection, 39(1), 25-32.
<https://doi.org/10.1080/03235400500103869>

Ariza-Flores R, Gálvez-Marroquín LA (2020) Quinba R-TC: new variety of Jamaica creole type of high yield. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/1044/3494?inline=1>. cienciasagricolas.inifap.gob.mx

Bewley J D, Bradford K, Hilhorst H, Nonogaki H (2013) Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer.

Esquivel NH, Sagarnaga-Villegas LM, Barrera-Perales OT, Leos-Rodríguez J A, Salas-González JM (2024) Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) production in Mexico: Challenges and strategic prospects.

Revista TSA / CCBA (2024).
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/5124>

Finch-Savage WE, Bassel GW (2016) Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany, 67(3), 567–591.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>

Fiodor A, Ajijah N, Dziewit L, Pranaw K (2023) Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. Frontiers in Microbiology, 14, 1142966.

Galicia FLA, Salinas MY, Espinoza GBM, Sánchez FC (2008) Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) nacional e importada. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 14(2):121129.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000200004&lng=es&nrm=iso

Gutiérrez-Mañero FJ, Ramos-Solano B, Probanza A, Mehouchi J, Tadeo FR, Talon M (2001) The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum, 111(2), 206–211.
<https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x>

International Seed Testing Association (ISTA). (2020). International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland

Khan AL, Waqas M, Lee I J (2020) Biotechnological and agronomic approaches for enhancing plant growth-promoting rhizobacteria applications. Critical Reviews in Biotechnology, 40(7), 975–993.
<https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1764731>

Kloepper J W, Beauchamp CJ (1992) A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria. Can. J. Microbiol. 38: 1219-1232.

Artículos

Kloepper JW, Ryu CM, Zhang S (2004) Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>

Lugtenberg B, Kamilova F (2009) Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

Maguire J D (1962) Speed of Germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *crop science*, 2(2), 176–177. DOI:10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x.

Matteoli FP, Passarelli-Araujo H, Reis RJA, Da Rocha LO, De Souza EM, Aravind L, Venancio T M (2018) Genome sequencing and assessment of plant growth-promoting properties of a *Serratia marcescens* strain isolated from vermicompost. *BMC genomics*, 19(1), 750.

Mitter EK, Tosi M, Obregón D, Dunfield KE, Germida JJ (2021) Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606815.

Olaniyan FT, Alori ET, Adekiya AO, Ayorinde BB, Daramola FY, Osemwegie OO, Babalola OO (2022) The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. *Annals of Microbiology*, 72(1), 45.

Ryan MP, Pembroke JT (2020) The genus *Ochrobactrum* as major opportunistic pathogens. *Microorganisms*, 8(11), 1797.

Ryan RP, Monchy S, Cardinale M, Taghavi S, Crossman L, Avison MB, Dow JM (2009) The versatility and adaptation of bacteria from the genus *Stenotrophomonas*. *Nature Reviews Microbiology*, 7(7), 514–525. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2163>

Sanayei S, Barmaki M, Ebadi A, Torabi-Giglou M (2021) Amelioration of water deficiency stress in roselle (*Hibiscus sabdariffa*) by arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2), Article 11987. <https://doi.org/10.15835/nbha49211987>. ResearchGate

Santiago HS, Aranda-Ocampo S, Hernández-Morales J, Peña-Lomeli A (2020) Effect of *Bacillus* spp. on the germination and growth of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agro Productividad*, 13(10).

Souza RD, Ambrosini A, Passaglia LM (2015) Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and molecular biology*, 38, 401–419.

Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R (2007) Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4), 425–448. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>