











## Interacción y Efecto de Rizobacterias en Variables Agronómicas de *Hibiscus sabdariffa* L. en Dos Tipos de Suelo

Santoyo-de la Cruz, Mario<sup>1,\*</sup> ; Gardezi, Abdul Khalil<sup>1</sup> ; Carrillo-Castañeda, Guillermo<sup>1</sup> ; Ortega-Escobar, Héctor<sup>1</sup> ; Mancilla-Villa, Oscar<sup>2</sup> ; Rubiños-Panta, Juan<sup>1</sup> ; López-Buenfil, José<sup>1</sup> ; Larque-Saavedra, Mario<sup>3</sup> ; Haro-Aguilar, Gabriel<sup>1</sup> ; Ali-Gamboa, Cristian<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Departamento de Hidrociencias, Texcoco, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Sistemas, Ciudad de México, México

<sup>3</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Producción Agrícola, Jalisco, México

**Resumen:** La toxicidad de los metales pesados para plantas, animales, insectos y humanos representa un problema grave y multifacético que requiere medidas urgentes de mitigación y prevención, así como una gestión adecuada de los residuos y la contaminación. Las rizobacterias asociadas a la raíz incrementan el crecimiento vegetal. El propósito de esta investigación fue examinar cómo crece la planta de *Hibiscus sabdariffa* L. en dos tipos diferentes de suelo (uno irrigado con agua limpia y otro con agua residual), bajo estrés causado por cobre. Además, en el método se inoculó la planta con rizobacterias, se germinó y se evaluaron dos variedades de la planta (Criolla y Guerrero). Se variaron las dosis de composta y se midieron distintas variables de agronomía, en dos momentos diferentes. El factor de la cepa (M49 y M67), en combinación con la variedad, composta, tipo de suelo, presentó interacción significativa en la biomasa seca aérea, biomasa seca de raíz, longitud de cáliz, altura de planta y volumen radical. La composta en la fecha uno presenta significancia junto con la variedad, tipo de suelo, presencia de cobre y cepas, en la biomasa seca aérea, biomasa seca de cáliz, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, diámetro de cáliz y peso fresco de calices. Las semillas de jamaica inoculadas con rizobacterias mostraron parámetros de crecimiento vegetal. El uso de rizobacterias en combinación con fuentes de fertilización y metales pesados permitirá desarrollar tecnologías para incrementar el desarrollo de las plantas en ambientes contaminados.

**Palabras clave:** Agua residual, Cálices, Cobre, Flor de Jamaica, Fitorremediación

## Interaction and Effect of Rhizobacteria on Agronomic Variables of *Hibiscus sabdariffa* L. in Two Types of Soil

**Abstract:** The toxicity of heavy metals to plants, animals, insects and humans represents a serious and multifaceted problem that requires urgent mitigation and prevention measures, as well as proper waste and pollution management. Root-associated rhizobacteria increase plant growth. The purpose of this research was to examine how the *Hibiscus sabdariffa* L. plant grows in two different types of soil (one irrigated with clean water and the other with residual water), under stress caused by copper. Additionally, in the method the plant was inoculated with rhizobacteria, germinated and two varieties of the plant were evaluated (Criolla and Guerrero). Compost doses were varied and different agronomy variables were measured at two different times. The strain factor (M49 and M67), in combination with the variety, compost, soil type, presented a significant interaction in aerial dry biomass, root dry biomass, calyx length, plant height and root volume. The compost on date one presents significance along with the variety, type of soil, presence of copper and strains in the aerial dry biomass, dry calyx biomass, plant height, stem diameter, number of leaves, calyx diameter and fresh weight of calyxes. Roselle seeds inoculated with rhizobacteria showed plant growth parameters. The use of rhizobacteria in combination with fertilization sources and heavy metals will allow the development of technologies to increase plant development in contaminated environments.

**Keywords:** Calyxes, Copper, Hibiscus flower, Phytoremediation, Wastewater

### 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo influye negativamente en la seguridad alimentaria y la salud humana. La acumulación de

metales potencialmente tóxicos en los suelos agrícolas se ha incrementado gradualmente durante el último siglo en la búsqueda del máximo rendimiento de los cultivos. Los metales pesados como el cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe),

\*marfrasant@gmail.com

Recibido: 27/05/2024

Aceptado: 29/01/2025

Publicado en línea: 28/02/2025

10.33333/rp.vol55n1.10

CC 4.0

manganeso (Mn), níquel (Ni) y zinc (Zn) son micronutrientes esenciales necesarios para el crecimiento típico, la transferencia de electrones y otros procesos metabólicos vitales. Sin embargo, otros metales y metaloides, como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb), no tienen una función biológica beneficiosa y son potencialmente tóxicos incluso en bajas concentraciones (Enas et al., 2021).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal estimulan el desarrollo de las plantas, en el aumento de la disponibilidad de nutrientes, principalmente fósforo, provocado por la solubilización de fósforo de baja solubilidad; aumento de nitrógeno, por fijación biológica del nitrógeno atmosférico; producción de fitohormonas; y control de patógenos. Además, pueden suprimir los microorganismos patógenos en la rizosfera al producir  $\beta$ -1,3-glucanasa, sideróforos, ácido cianhídrico y antibióticos (Ferreira et al., 2021). Los microorganismos en la raíz generan compuestos químicos como el ácido cítrico, oxálico, indolacético y málico, y sideróforos que tienen la capacidad de incrementar la accesibilidad y la asimilación de minerales como el hierro y el cobre (Carrillo et al., 2002).

Entre los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, se encuentran las bacterias *Pseudomonas* spp (múltiples especies dentro del género *Pseudomonas*), las cuales se asocian a las raíces de las plantas y aumentan la producción agrícola, en las leguminosas, se reporta que las *Pseudomonas* spp, son una fuente de nutrientes, donde colonizan las raíces de las plantas y estimula el crecimiento y la producción directa o indirecta (Gardezi et al., 2020). Otro aspecto importante es que las *Pseudomonas* spp habitan de forma natural en el suelo, estas bacterias son abundantes en el área cercana a las raíces de muchas plantas y son las primeras en establecerse en las raíces jóvenes. Estas bacterias ayudan a prevenir enfermedades vegetales al proteger las raíces y las semillas de ser infectadas por los agentes que causan enfermedades (Moreno et al., 2018).

La flor de jamaica es una especie vegetal de la familia de las malváceas y se siembra en regiones caracterizadas por climas cálidos (Zamora et al., 2018). Esta especie ha sido ampliamente investigada por sus antioxidantes, compuestos fenólicos y antiocianinas. Estas características hacen que *Hibiscus sabdariffa* posea efectos beneficiosos para el corazón, propiedades diuréticas, antiinflamatorias y antimicrobianas, protegiendo las células del daño y la oxidación de los lípidos (López et al., 2019). Así mismo, se ha estudiado el uso de las flores de jamaica en la biorremediación, tal es el caso de la reducción de cromo (IV) con maceraciones de los cálices ricos en antioxidantes que son termolábiles y con potencial reductor (Ambi et al., 2020). Sin embargo, es poca la investigación acerca del potencial de *Hibiscus sabdariffa* L., en la producción de su cultivo en los suelos contaminados. Por tal motivo el objetivo de este estudio fue analizar el desarrollo del cultivo de la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), en dos variedades (Criolla y Guerrero) sujetos a la acción de bacterias benéficas para el desarrollo de las plantas, en situaciones de estrés inducido por sulfato de cobre pentahidratado, en dos tipos de suelos y tratados con distintas cantidades de composta.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Obtención de suelos

Las tierras provienen de áreas de cultivo de la comunidad de Texcoco, México. Estos suelos se obtuvieron de dos fuentes diferentes: uno irrigado con agua de pozo y otro con agua de drenaje doméstico. Tanto las muestras de suelo limpio como las de suelo irrigado con aguas domésticas fueron recolectadas, en 3 capas con diferentes profundidades de (0-10, 10-20 y 20-40 cm), con una superficie del terreno de 1 ha. Las muestras se llevaron a un laboratorio certificado y siguiendo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana (NOM 021-SEMARNAT-2000), se aprecia en la Tabla 1, que hace los lineamientos obligatorios para el análisis de suelos (SEGOB, 2002). La Tabla 1 presenta el método de estudio de metales pesados y fertilidad, seguidamente, se uniformó para ingresarlo en las bolsas maceteras.

**Tabla 1.** Métodos de análisis de metales y fertilidad en suelo

Determinación	Método
Conductividad Eléctrica	Conductímetro
Potencial de hidrógeno	Potenciómetro
Densidad aparente	Probeta
Textura	Bouyoucos
Materia orgánica	Estudio de carbono orgánico
Boro	Azometina-H
Nitrógeno	Extracción con KCl (cloruro de potasio) y por inyección de flujo
Níquel, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc	Cuantificación en espectrofotómetro de captación atómica
Plomo y Arsénico	Medición en espectrofotómetro de liberación visual a plasma
Bases intercambiables	Extracción con acetato de amonio
Calcio y Magnesio	Cuantificación en espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio y Potasio	Cuantificación en flamómetro

### 2.2 Inoculación de semillas

En la introducción de bacterias a las semillas de variedades Criolla y Guerrero del cultivo de jamaica, se utilizaron cajas Petri donde se almacenaron el medio B de King para gestarse durante 24 horas en un rango de temperatura de entre 27 y 31 °C. Posteriormente se elaboraron las suspensiones de bacterias en agua limpia aséptica, a una densidad óptica de entre 0.8 y 1, para preparar el medio B de King se utilizó el método descrito en Allaert y Escolá (2002). A partir de una colección de microorganismos, se prepararon cultivos de diferentes cepas bacterianas para aplicar en simientes de dos variedades de jamaica Criolla y Guerrero. La implantación bacteriana se llevó a cabo en dos grupos con tres reproducciones cada uno. En el grupo uno, se usó la variedad bacteriana M40; en el secundario, la variedad bacteriana M67. Las simientes se combinaron con una pequeña cantidad de la suspensión de microorganismos de *Pseudomonas fluorescens* que es un bacilo Gram negativo saprofito y que abundan en las superficies de las raíces, ya que son versátiles en su metabolismo y usan varios sustratos producidos por ellas

mismas, su pigmento fluorescente (fluoresceína) las hace reaccionar frente a la luz ultravioleta, aunque recién cultivada o después de varios cultivos de laboratorio, puede ser que no reaccione (Díaz, 2019). Se dejaron reposar durante 20 minutos. Luego, las semillas se pusieron encima del papel absorbente mojado con 5 mL de agua destilada en charolas redondas de 10 cm de diámetro posteriormente fueron cultivadas en cuadrículas de unícel con Peat Moss.

**Tabla 2.** Resultados del análisis de fertilidad y metales pesados de suelos

Variables de fertilidad y metales pesados	Unidad	Profundidad del perfil en (cm)		
		0-5	10-20	20-40
Potencial de hidrógeno		7.49	7.9	7.29
Densidad aparente	$\text{g cm}^{-3}$	1.22	1.25	1.11
Conductividad eléctrica	$\text{dS cm}^{-1}$	0.78	1.91	0.37
Nitrógeno		12.97	70.04	19.74
Boro		1.51	1.74	1.55
Materia orgánica		3.06	2.63	2.62
Calcio		6966	7743	2518
Magnesio		1618	1702	1276
Sodio		1180	2320	92
Potasio		752	684	630
Cobre	$\text{mg kg}^{-1}$	1.8	1.5	1.1
Hierro		15.58	16.14	10.6
Manganeso		13.53	15.98	17.74
Zinc		5.71	2.51	1.69
Plomo		0.86	0.72	0.73
Cadmio		0.04	0.04	0.03
Cromo		0.0	0.05	0.0
Níquel		1.28	0.28	0.15
Arsénico		0.0	0.0	0.03
Fosforo		98	144	198
CIC	$\text{cmol}^{+}/\text{kg}$	30	34	33

### 2.3 Cuantificación de variables agronómicas

Las evaluaciones se realizaron en dos etapas, (a los 65 días y 95 días de trasplante), en las variables agronómicas, siguiendo los lineamientos de la Normatividad Técnica para la Generación de Estadística Básica Agropecuaria (SEGOB, 2022), se aprecia en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Métodos y periodos de evaluación de las variables agronómica de las plantas de Jamaica

Variables agronómicas	Método	A los 65 días de trasplante	A los 95 días de trasplante
Longitud de tallo (cm)	Flexómetro	✓	✓
Altura de planta (cm)		✓	✓
Longitud de raíz (cm)			✓
Longitud de cáliz (cm)	Vernier	✓	✓
Diámetro del tallo (cm)	métrico	✓	✓
Diámetro de cáliz (cm)	calibrador	✓	✓
Clorofila en hoja (SPAD)	(SPAD)	✓	✓
	Konica Minolta		
Número de hojas	Conteo visual de hojas	✓	✓
Área foliar ( $\text{m}^2$ )	Li-Cor LAI-2000		✓
Biomasa seca de raíz (gr)	Desecación utilizando una estufa y medición del peso con una balanza		✓
Biomasa seca aérea (gr)			✓
Biomasa seca de cáliz (gr)		✓	✓
Volumen radical ( $\text{cm}^3$ )	Probeta de 100 mL		✓
Peso fresco de cáliz (gr)	Báscula digital	✓	✓

### 2.4 Trasplante y organización en un diseño factorial

Treinta días después de cultivar las plantas, se llevaron a bolsas de polietileno de 5 kg en un área con agricultura protegida en la localidad de Texcoco. Se estableció un diseño factorial con tres repeticiones ( $3 \times 2 \times 2 \times 2$ ), cada una compuesta por 48 experimentaciones: tres dosis de composta (0 g, 17.5 g y 35 g), que se agregaron a las macetas; dos variedades de *Hibiscus sabdariffa* (Criolla y Guerrero); dos cepas bacterianas (M40 y M67); dos dosis de cobre 0 y 4 mL  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $10^{-4}$  M (marca Baker) que se agregaron a las macetas experimentales.

### 2.5 Análisis estadístico

Se realizaron los siguientes análisis estadísticos: F (Fisher) y prueba de Tukey para determinar si hubo variaciones significativas entre los impactos de las etapas de los componentes o entre las mezclas de dichas etapas (con un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ ), se utilizó el paquete SAS con este fin.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2, se puede observar que el calcio y magnesio se encuentran en concentraciones más elevadas en este análisis con una media de 5743 y 1533  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, pero también el sodio presenta concentración elevada (1180  $\text{mg kg}^{-1}$ ). En el estudio de Santoyo et al. (2021), se encontró que los iones calcio, magnesio y sodio presentan 6.28, 9.76 y 49.03  $\text{mEq L}^{-1}$ , respectivamente y conductividad eléctrica de 65.47  $\text{dS m}^{-1}$ , notándose similitud en los datos elevados, ya que este sitio también es de origen lacustre del antiguo lago de Texcoco. En la interacción de los tratamientos con las variables agronómicas, se observó que al descomponer la suma de cuadrados de los tratamientos se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la prueba de F se muestra, en las Tablas 4 y 5. Las Tablas 6, 7 y 8 se presentan las diferencias estadísticas con el análisis de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). En la segunda fecha de evaluación de las variables fue donde se observó mayor efecto e interacción entre ellas, puesto que cuando la planta fructifica necesita de más nutrientes que no están disponibles lo suficiente y es en ese momento cuando entran en acción las bacterias que ayudan a solubilizar el fósforo y fijación de nitrógeno principalmente. En la fecha uno, el factor de la composta, variedad, tipo de suelo, presencia de cobre y cepas, presentaron significancia en las variables agronómicas de biomasa seca aérea, biomasa seca de cáliz, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, diámetro de cáliz y peso fresco de calices. Se encontró que el factor composta tiene mayor interacción con las variables. En la primera evaluación, el factor composta presenta diferencia estadística para las variables de longitud de tallo, biomasa seca de cáliz y longitud de cáliz. Se ha encontrado que la composta también libera compuestos ácidos en el suelo, lo que es importante en la solubilización de los nutrientes inmovilizados, enriqueciendo la rizosfera con ácidos húmicos. Esto es una razón para que el suelo presente disminución en el pH, lo cual puede beneficiar a estas variables en su desarrollo. Además, la presencia de compuestos de carbono solubles en la solución del suelo, que son fácilmente degradables por las secreciones ácidas microbianas, también contribuye a disminuir el pH del suelo (Zafar et al., 2020). En la investigación de Yaru et al. (2018),

mencionan que la aplicación de composta en dosis completas de nitrógeno (N) ( $135 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) podría haber enmascarado la influencia de rizobacterias, en el crecimiento de maíz cuando las plantas alcanzaron sus últimas etapas de crecimiento vegetativo e incrementaron la biomasa aérea y radicular, altura de planta, diámetro del tallo y área foliar. En el caso de este estudio, el área foliar no presenta significancia, ver Tabla 6. El uso de composta es frecuente en la agricultura por su alto contenido de nutrientes orgánicos en formas minerales, por esta razón en algunos tratamientos no hubo diferencias significativas cuando se inocularon bacterias, porque la composta dio suficientes nutrientes, haciendo innecesaria la acción de las bacterias. El suelo utilizado en este estudio proviene de dos fuentes de riego (residual y limpio de pozo), encontrándose efectos parecidos en el desarrollo de *Hibiscus sabdariffa*, en la fecha uno ninguna variable mostró efectos significantes con el factor suelo. No obstante, en la fecha dos hay significancia en la interacción del factor suelo con los factores de variedad, cepa, cobre y composta en las variables de biomasa seca aérea, biomasa seca de cáliz, longitud de cáliz, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y peso fresco de cáliz. Además, se halló significancia en el suelo residual con la biomasa seca aérea, se aprecia en la Tabla 5. Estas interacciones pueden estar relacionadas por los microorganismos tolerantes a metales presentes en niveles bajos en el suelo de riego con agua residual y su eficiencia en la producción de compuestos que promueven el crecimiento de las plantas útil para acelerar la recolonización de la rizosfera de las plantas en suelos contaminados (Sarathambal et al., 2017). Los microorganismos han desarrollado sistemas para combatir a una variedad de metales tóxicos para su supervivencia; por lo tanto, las cepas bacterianas presentan tolerancia para sobrevivir y ayudar al crecimiento de los cultivos. Es conocido que varias cepas bacterianas son capaces de tolerar elevadas concentraciones de materiales tóxicos en el suelo. La producción de varios atributos que promueven el crecimiento de las plantas puede ser la razón por la cual los microorganismos pueden sobrevivir en suelos contaminados con metales pesados. En general, un aumento en el crecimiento de las plantas con respecto al testigo y la absorción de metales mejorará aún más la eficacia de los procesos de fitorremediación (Sarathambal et al., 2017). En el trabajo de Gardezi et al. (2020), al dimensionar y cuantificar por separado el efecto de tres factores en la etapa de crecimiento de *Prosopis laevigata*, se encontró que los factores suelo y vermicomposta mostraron diferencias significativas para 81.25 % y 68.75 %, respectivamente de 16 variables analizadas, los resultados son semejantes con el factor suelo de este trabajo. El cobre en la dosis señalada en el experimento mostró interacción en la fecha dos, en los factores de composta, suelo, variedad y cepa. El mayor efecto fue en combinación con los factores variedad-cepas-suelo-composta en las variables agronómicas de biomasa seca de cáliz y altura de planta. Por el contrario, en la fecha uno se encontró significancia en la interacción para la variable de clorofila y se encontró diferencias significativas en la fecha uno con la altura de la planta y en la evaluación dos sin cobre en el volumen radical y con presencia de cobre con la clorofila. La razón detrás de este resultado radica en que el acopio de cobre (Cu) en las raíces se ve impactada por la presencia de este metal en la solución, lo que conlleva a un ligero aumento en acopio de Cu en las raíces (Carrillo et al., 2005). El cobre

puede actuar como un sistema protector, especialmente en relación con la interacción entre el cobre y los mecanismos vegetales de la planta. No obstante, su presencia no resulta mortal, dado que la concentración de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  usada mostró estimular el desarrollo vegetativo. Madline et al. (2021) encontraron alta resistencia a cobre en más de 25 % de las cepas de rizobacterias, utilizadas en medios con concentraciones elevadas de cobre (7 mM) en *Peganum harmala* L. y *Lactuca sativa* L. También mencionan que la exposición a largo plazo a contaminantes metálicos puede inducir la activación de mecanismos adaptativos en las bacterias, que les permitan reducir el daño de los metales pesados tales como la exclusión extracelular, la biosorción, la desintoxicación enzimática o la acumulación intracelular de iones metálicos. La segunda fecha de medición presentó más significancias a los 30 días de iniciada la floración de jamaica similar a los hallazgos de Al-Sayed et al. (2020) quienes aplicaron biofertilización con microorganismos Azobacter, significativamente ( $p < 0.05$ ) aumentaron los pesos frescos, seco, altura de planta y tamaño de calices. Los aumentos fueron 7.17 %, 4.33 %, 3.14 % y 32.16 %, por encima del control, lo atribuye a la biofertilización debido al aumento población microbiana del suelo. Los pesos secos de los cálices tanto en la primera como en la segunda fecha de medición no presentaron variación significativa a diferencia de lo que reportan Ramírez et al. (2010) quienes encontraron que la materia seca en los cálices de tres variedades de *Hibiscus sabdariffa* osciló entre el 10.49 % y el 17.87 %. El análisis estadístico reveló resultados significativos en función de la variedad, la adultez y su relación  $p \leq 0.01$  ( $R^2 = 0.90$ ), con un coeficiente de alternancia del 7.17. Esto sugiere una gran variabilidad en este parámetro entre las muestras analizadas, posiblemente debido a los cambios frecuentes en la dispersión de la biomasa seca en diferentes partes en el crecimiento de *Hibiscus sabdariffa*. Analizando el trabajo de Romero et al. (2020), ellos no encontraron efecto positivo de las cepas sobre la longitud del tallo en el cultivo de jamaica, en cambio en este trabajo se observó significancia en el factor de variedad-cepas con esta variable agronómica. La materia seca del tallo, la materia seca de la raíz y el contenido de clorofila, presentaron disimilitud significativa en el tipo de células de las cepas utilizadas, pero no entre las utilizadas para la misma variedad. Los autores mencionan que la variedad influye en las células de las cepas y por eso se obtiene esta diferencia. En esta investigación, la biomasa seca de raíz no mostró significancia en ningún factor, sin embargo, en la clorofila sí se encontró en los factores de cobre y variedad en ambas fechas de medición, de esto se nota que la clorofila sí presenta poca sensibilidad a los tratamientos. El mismo autor menciona que la cepa M83 tuvo efecto positivo en el enraizamiento de las plántulas, aumentando su longitud en la variedad de jamaica Spider, por lo que su investigación mostró más efecto de la inoculación con células de cepas bacterianas solo en los primeros días de desarrollo de la planta.

#### 4. CONCLUSIONES

Las semillas de jamaica inoculadas con las cepas de rizobacterias mostraron parámetros de crecimiento vegetal y biomasa vegetal mayores en comparación con las semillas no inoculadas bajo diferentes dosis de composta, tipo de suelo,

**Tabla 4.** Se muestra las variables agronómicas con su significancia en prueba de F y la interacción de los factores en la fecha uno

Fuente de variación	G. L.	Variables agronómicas y su interacción								
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
Variedad	1		Y2							
Cepa	1									
Variedad-cepa	1									
Suelo	1									
Variedad-suelo	1									
Cepa-suelo	1						Y6			
Variedad-cepa-suelo	1	Y1								
Composta	2	Y1					Y6		Y8	
Variedad-composta	2									
Cepa-composta	2									
Variedad-cepa-composta	2									
Suelo-composta	2									
Variedad-suelo-composta	2									
Cepa-suelo-composta	2									
Variedad-cepa-suelo-composta	2									
Cobre	1				Y4					
Variedad-cobre	1									
Cepa-cobre	1									
Variedad-cepa-cobre	1									
Suelo-cobre	1									
Variedad-suelo-cobre	1									
Cepa-suelo-cobre	1									
Variedad-cepa-suelo-cobre	1									
Composta-cobre	2		Y2							
Variedad-composta-cobre	2		Y2							
Cepa-composta-cobre	2									
Variedad-cepa-composta-cobre	2									
Suelo-composta-cobre	2									
Variedad-suelo-composta-cobre	2	Y1								
Cepa-suelo-composta-cobre	2									
Variedad-cepa-suelo-composta-cobre	2									

Error= 96

Tratamientos= 47

Y1: Longitud del tallo; Y2: Altura de planta; Y3: Diámetro del tallo; Y4: Clorofila; Y5: Número de hojas; Y6: Área foliar; Y7: Bio-masa seca raíz; Y8: Biomasa seca aérea; Y9: Volumen radical; Y10: Longitud de raíz; Y11: Biomasa seca cáliz; Y12: Diámetro del cáliz; Y13: Longitud cáliz; Y14: Peso fresco de cálices; G. L.: Grados de Libertad.

**Tabla 5.** Se muestran las variables agronómicas con su significancia en prueba de F y la interacción de los factores en la fecha dos

Fuente de variación	G.L.	Variables agronómicas y su interacción													
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14
Variedad	1			Y4						Y9					
Cepa	1								Y8						
Variedad-cepa	1	Y1								Y9					
Suelo	1														
Variedad-suelo	1														
Cepa-suelo	1													Y13	
Variedad-cepa-suelo	1														
Composta	2			Y3										Y13	
Variedad-composta	2								Y8				Y12		
Cepa-composta	2														
Variedad-cepa-composta	2		Y2												
Suelo-composta	2			Y3											
Variedad-suelo-composta	2								Y8						Y14
Cepa-suelo-composta	2														
Variedad-cepa-suelo-composta	2														
Cobre	1		Y2												
Variedad-cobre	1														
Cepa-cobre	1														
Variedad-cepa-cobre	1														
Suelo-cobre	1														
Variedad-suelo-cobre	1														
Cepa-suelo-cobre	1														
Variedad-cepa-suelo-cobre	1														
Composta-cobre	2											Y11			
Variedad-composta-cobre	2														
Cepa-composta-cobre	2														
Variedad-cepa-composta-cobre	2														
Suelo-composta-cobre	2					Y5									
Variedad-suelo-composta-cobre	2														
Cepa-suelo-composta-cobre	2		Y2												
Variedad-cepa-suelo-composta-cobre	2											Y11			

Error = 96

Tratamientos = 47

Y1: Longitud del tallo; Y2: Altura de planta; Y3: Diámetro del tallo; Y4: Clorofila; Y5: Número de hojas; Y6: Área foliar; Y7: Bio-masa seca raíz; Y8: Biomasa seca aérea; Y9: Volumen radical; Y10: Longitud de raíz; Y11: Biomasa seca cáliz; Y12: Diámetro del cáliz; Y13: Longitud cáliz; Y14: Peso fresco cálices; G. L.: Grados de Libertad.

**Tabla 6.** Análisis de varianza del experimento factorial (3x2x2x2) en plantas de *Hibiscus sabdariffa* L. (A los 65 días después del trasplante), de las variables evaluadas con la prueba de Tukey

Tratamientos	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8		Y9	
Sin Cu	15.91	A	20.94	B	0.38	A	35.96	A	17.06	A	0,2	A	2.54	A	2.88	A	2.19	A
Con Cu	16.41	A	22.45	A	0.38	A	35.46	A	17.82	A	0.45	A	2.65	A	2.81	A	2.25	A
Suelo limpio	15.89	A	21.52	A	0.38	A	35.57	A	17.11	A	0.42	A	2.57	A	2.86	A	2.11	A
Suelo residual	16.44	A	21.87	A	0.39	A	35.84	A	17.76	A	0.45	A	2.62	A	2.82	A	2.33	A
Cepa M40	15.89	A	21.46	A	0.38	A	35.83	A	17.76	A	0.43	A	2.56	A	2.82	A	2.22	A
Cepa M67	16.44	A	21.93	A	0.38	A	35.59	A	17.11	A	0.44	A	2.64	A	2.86	A	2.22	A
Var. Guerrero	16.39	A	21.80	A	0.39	A	36.90	A	17.75	A	0.43	A	2.67	A	2.85	A	2.30	A
Var. Criolla	15.93	A	21.59	A	0.38	A	34.52	B	17.13	A	0.43	A	2.53	A	2.84	A	2.14	A
0 gr de composta	15.84	A	20.88	A	0.39	A	36.02	A	16.96	A	0.45	A	2.52	A	2.72	B	2.12	A
17 gr de composta	15.89	A	21.54	A	0.37	A	35.19	A	17.17	A	0.40	A	2.68	A	2.80	C	2.31	A
37 gr de composta	16.75	A	22.66	A	0.40	A	35.91	A	18.19	A	0.46	A	2.60	A	3.01	A	2.23	A
Testigo	1.4	B	18.3	B	0.36	B	29.6	B	15.1	B	0.32	B	1.87	B	1.88	B	1.92	B

Y1: Longitud del tallo; Y2: Altura de planta; Y3: Diámetro del tallo; Y4: Clorofila; Y5: Número de hojas; Y6: Biomasa seca de cáliz; Y7: Diámetro de cáliz; Y8: Longitud de cáliz Y9: Peso fresco de cáliz. Las medias que tienen igual letra son equivalentes desde el punto de vista estadístico. Significancia  $\alpha = 0.5$

**Tabla 7.** Análisis de varianza del experimento factorial (3x2x2x2) en plantas de *Hibiscus sabdariffa* L. (a los 95 días después del trasplante), de las variables evaluadas con la prueba de Tukey

Tratamientos	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7	
Sin Cu	25.49	A	27.38	A	0.48	A	36.56	B	23.31	A	0.23	A	0.48	A
Con Cu	25.67	A	28.42	A	0.50	A	38.88	A	23.74	A	0.24	A	0.45	A
Suelo limpio	24.82	A	27.85	A	0.50	A	37.81	A	23.68	A	0.24	A	0.46	A
Suelo residual	26.33	A	27.94	A	0.48	A	37.63	A	23.36	A	0.23	A	0.47	A
Cepa M40	25.85	A	28.29	A	0.50	A	37.95	A	23.83	A	0.24	A	0.47	A
Cepa M67	25.31	A	27.50	A	0.48	A	37.48	A	23.21	A	0.23	A	0.47	A
Var. Victoria	25.43	A	29.22	A	0.49	A	37.85	A	23.53	A	0.22	A	0.45	A
Var. Aragón	25.72	A	26.57	B	0.50	A	37.59	A	23.51	A	0.25	A	0.48	A
0 gr de composta	25.02	A	27.77	A	0.47	B	37.51	A	23.58	A	0.27	A	0.45	A
17 gr de composta	26.42	A	27.19	A	0.51	A	37.68	A	23.73	A	0.22	A	0.50	A
37 gr de composta	25.29	A	28.73	A	0.50	A	37.96	A	23.25	A	0.22	A	0.45	A
Testigo	23.60	B	25.20	B	0.35	C	34.00	B	22.70	B	0.15	B	0.33	B

Y1: Longitud del tallo; Y2: Altura de planta; Y3: Diámetro del tallo; Y4: Clorofila; Y5: Número de hojas; Y6: Área foliar; Y7: Biomasa seca raíz. Las medias que tienen igual letra son equivalentes desde el punto de vista estadístico. Significancia  $\alpha = 0.05$

**Tabla 8.** Análisis de varianza del experimento factorial (3x2x2x2) en plantas de *Hibiscus sabdariffa* L. (a los 95 días después del trasplante), de las variables evaluadas con la prueba de Tukey

Tratamientos	Y8		Y9		Y10		Y11		Y12		Y13		Y14	
Sin Cu	4.92	A	4.74	A	15.88	A	0.44	A	2.63	A	2.80	A	2.11	A
Con Cu	4.82	A	4.26	B	15.80	A	0.43	A	2.53	A	2.80	A	2.02	A
Suelo limpio	4.63	B	4.42	A	16.09	A	0.44	A	2.55	A	2.78	A	2.04	A
Suelo residual	5.11	A	4.58	A	15.59	A	0.43	A	2.60	A	2.82	A	2.09	A
Cepa M40	4.79	A	4.41	A	15.68	A	0.43	A	2.64	A	2.81	A	2.08	A
Cepa M67	4.95	A	4.59	A	16.00	A	0.45	A	2.52	A	2.79	A	2.04	A
Var. Victoria	4.84	A	4.46	A	15.82	A	0.45	A	2.60	A	2.82	A	2.09	A
Var. Aragón	4.90	A	4.50	A	15.86	A	0.42	A	2.55	A	2.78	A	2.04	A
0 gr de composta	5.02	A	4.36	A	15.66	A	0.45	A	2.52	A	2.66	A	1.96	A
17 gr de composta	4.93	A	4.71	A	15.80	A	0.43	A	2.74	A	2.97	A	2.03	A
37 gr de composta	4.66	A	4.42	A	16.06	A	0.42	A	2.48	A	2.76	A	2.21	A
Testigo	3.64	B	3.10	B	12.40	B	0.24	B	1.44	B	1.52	B	0.41	B

Y8: Biomasa seca aérea; Y9: Volumen radical; Y10: Longitud de raíz; Y11: Biomasa seca cáliz; Y12: Diámetro del cáliz; Y13: Longitud cáliz; Y14: Peso fresco cáliz. Las medias que comparten la misma letra son equivalentes desde el punto de vista estadístico. Significancia  $\alpha = 0.05$

con o sin cobre. No se notan diferencias significativas entre cepas (M40 y M67) en la medición de las variables agronómicas con respecto al testigo, pero sí en la interacción con los factores; ni tampoco entre el tipo de suelo, variedad, con o sin cobre y composta. Los factores de variedad, cobre, composta y suelo influyeron significativamente en la biomasa seca área, biomasa seca de cáliz, peso fresco de calices, y volumen radical en las dos fechas, ya que se notó en estas variables mayor efecto. La combinación de rizobacterias que se encuentran relacionadas a las raíces, junto con composta y metales pesados, ofrece una vía para impulsar tecnologías que faciliten el cultivo de plantas como la jamaica en condiciones de contaminación de suelos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología del estado de México (COMECyT) y al Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

## REFERENCIAS

- Allaert, C. & Escolá, M. (2002). *Métodos de análisis microbiológicos de alimentos*. Díaz de Santos S. A., 123-126.  
[https://www.google.com.mx/books/edition/M%C3%A9todos\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_microbiol%C3%B3gicos\\_d/H9PkmwKdZ0C?hl=es&gbpv=1&dq=M%C3%A9todos+de+an%C3%A1lisis+microbiol%C3%B3gicos+de+alimentos+allaert&printsec=frontcover](https://www.google.com.mx/books/edition/M%C3%A9todos_de_an%C3%A1lisis_microbiol%C3%B3gicos_d/H9PkmwKdZ0C?hl=es&gbpv=1&dq=M%C3%A9todos+de+an%C3%A1lisis+microbiol%C3%B3gicos+de+alimentos+allaert&printsec=frontcover)
- Al-Sayed, H. M., Hegab, S. A., Youssef, M. A., Khalafalla, M. Y., Almaroai, Y. A., Ding, Z., & Eissa, M. A. (2020). Evaluation of quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as affected by bio-fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 43(7), 1025-1035.  
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711938>
- Ambi, A. A., Isa, M. T., Ibrahim, A. B., Bashir, M., Ekwuribe, S., & Sallau, A. B. (2020). Hexavalent chromium bioremediation using *Hibiscus sabdariffa* calyces extract: Process parameters, kinetics and thermodynamics. *Scientific African*, 10, e00642.  
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00642>
- Carrillo, C. G., Juárez, M. J., Peralta, V. J. R., Gómez, J. R., Tiemann, K. J., Duarte, G. M., & Gardea, T. J. L. (2002). Alfalfa growth promotion by bacteria grown under iron limiting conditions. *Advances in environmental research*, 6(3), 391-399.  
[https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00054-0)
- Carrillo, C. G., Juárez, M. J., Peralta, V. J. R., Gómez, J. R., & Gardea, T. J. L. (2005). Modulation of uptake and translocation of iron and copper from root to shoot in common bean by siderophore-producing microorganisms. *Journal of plant nutrition*, 28(10), 1853-1865.  
<https://doi.org/10.1080/01904160500251340>
- Díaz, B. J. A. (2019). Beneficios de los probióticos y la bacterioterapia. *Revista Vinculando*, 17(1).  
<https://vinculando.org/consumidores/beneficios-de-los-probioticos-y-la-bacterioterapia.html>
- Enas, E. N., Abdulmohsen, I. A., Naif, A. A., & Zeinab, Z. K. (2021). Enzymatic disturbances of the Egyptian beetle, *Blaps polychresta* (Forskål, 1775), as environmental indicators of heavy metal pollution of agricultural soil. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(1), 63-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.05.001>
- Ferreira, P. G., Bueno, D. G., & Sussumu, M. L. (2021). Biotechnological potential of soybean plant growth-promoting rhizobacteria. *Revista Caatinga*, 34(2).  
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n209rc>
- Gardezi, A. K., Trejo, P. R., Carrillo, C. G., Flores, M. H., Márquez, B. S. R., Valdés, V. E., Ortega, E. H. M., Larqué, S. M. U., & Haro, A. G. (2020). Effect of *Pseudomonas fluorescens* in the germination and growth of *Prosopis laevigata* under greenhouse conditions. *International Journal of environmental & agriculture research*, 6(12), 10-17.  
<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.4405050>
- López, C., González, G. C. E., Guerrero, O. M. J., Mariño, G., Jácome, B., & Beltrán, S. E. (2019). Estudio de la estabilidad de los antioxidantes del vino de flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en el almacenamiento. *La Granja*, 29(1), 105-118.  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.09>
- Madline, A., Benidire, L., & Boularbah, A. (2021). Alleviation of salinity and metal stress using plant growth-promoting rhizobacteria isolated from semiarid Moroccan copper-mine soils. *Environmental science and pollution research*, 28, 67185-67202. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15168-8>
- Moreno, R. A., García, M. V., Reyes, C. J. L., Vázquez, A. J., & Cano, R. P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista colombiana de biotecnología*, 20(1), 68-83.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Ramírez, C. B., Caro, V. F. J., Valdivia, R. M. G., Ramírez, L. M. H., & Machuca, S. M. L. (2010). Cambios en tamaño y características químicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) durante su maduración. *Revista Chapingo serie horticultura* 17(12), 19-31.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2011000500003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000500003&lng=es&tlng=es)
- Romero, A. K. N., Carrillo, C. G., Gardezi, A. K., Flores, M. H., Valdés, V. E., Larqué, S. M. U., & Haro, A. G. (2020). Criteria for the selection of vegetable growth-promoting bacteria to be applied on roselle crop (*Hibiscus sabdariffa* L.) and bioremediation. *International journal of environmental & agriculture research*, 6(12).  
<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.4405070>
- Santoyo, C. M. F., Flores, M. H., Gardezi, A. K., Mancilla, V. O. R., & Rubiños, P. J. E. (2021). Composición iónica y comparación de índices de salinidad de suelo agrícola de Texcoco, México. *Nova scientia* 13(27), 1-20. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2789>



Sarathambal, C. S., Premraj, J. K., Yogita, G., Bhumes, K., Mayank, V., & Sellappan, A. (2017). The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the growth, physiology, and Cd uptake of *Arundo donax* L. *International journal of phytoremediation*, 19(4), 360-370.

<https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1225289>

SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31(64). [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002)

SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2022). Normatividad Técnica para la Generación de Estadística Básica Agropecuaria. Base conceptual, lineamientos, reglas, procedimientos e instrumentos. <https://www.gob.mx/siap/documentos/normatividad-estadistica>

Zafar, U. H., Tahzeeb, M. U. H., & Abid, M. M. (2020). Potential role of compost mixed biochar with rhizobacteria in mitigating lead toxicity in spinach. *Scientific Reports*, 10, 12159. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69183-9>

Zamora, C. V., Mariño, B. G. A., González, G. C. E., Jácome, V. B., & Beltrán, S. E. R. (2018). Estudio de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles en el proceso de clarificación del vino de flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) utilizando cálices frescos. *Enfoque UTE*, 9(2) 1-14. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.305>

## BIOGRAFÍAS



**Mario Francisco, Santoyo-De La Cruz**, Doctorado y maestría en ciencias en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados, México. Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México. Estancia posdoctoral en Colegio de Postgraduados, México.



investigador titular. Colegio de Postgraduados-Montecillo.

**Abdul Khalil, Gardezi**, Doctorado en ciencias ambientales, Tecnológico de Toluca, México. Maestría en microbiología de suelos, Colegio de Postgraduados, México. Licenciatura en economía extensión agrícola, Universidad de Kabul, Afganistán. Profesor investigador titular. Colegio de Postgraduados-Montecillo.



**Guillermo, Castañeda**, Doctorado y maestro en bioquímica, Instituto Politécnico Nacional, México, licenciatura en Biología, Instituto Politécnico Nacional, México. Profesor investigador titular. Colegio de Postgraduados.



Profesor investigador titular en Colegio de Postgraduados.

**Hector Manuel, Ortega-Escobar**, Doctorado en agricultura Academia de ciencia de Rusia, Rusia. Maestría en Riego y Drenaje, Colegio de Postgraduados, México. Licenciatura en ingeniero agrónomo en suelos Patrice Lumumba People's Friendship University, Rusia.

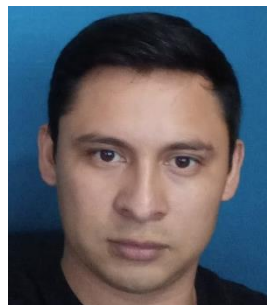


**Oscar Raúl, Mancilla-Villa**, Ingeniero agrónomo, universidad de Guadalajara, México. Doctorado y maestría en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. México. Coordinador del posgrado Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Guadalajara, México.



**Juan Enrique, Rubiños-Panta,** Doctorado en Economía agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. México. Ingeniero agrónomo en Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Profesor

investigador titular en Colegio de Postgraduados. Correo electrónico: jerpikie@colpos.mx  
ORCID: 0000-0002-9788-0280 <https://orcid.org/0000-0002-9788-0280>



**Cristian Alejandro, Ali-Gamboa,** Maestro en ciencias en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, México. Ingeniero en irrigación en Universidad Autónoma de Chapingo, México.



**Jose Abel, Lopez-Buenfil,** Doctorado en Ciencias en Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México. Maestría en Ciencias en Entomología y Acarología, por el Colegio de Postgraduados, México. Agrónomo Parasitólogo por la Universidad Autónoma de

Chapingo, México. Director de investigación, Colegio de Postgraduados.



**Mario Ulises, Larque-Saavedra,** Maestro en Ciencias, Colegio de Postgraduados, México. Profesor Titular de Departamento de Sistemas de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana.



**Gabriel, Haro-Aguilar,** Maestro en ciencias, profesor en Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Instituto Politécnico Nacional, México. Investigador Titular, Colegio de Postgraduados.