

Efecto de concentraciones variables de biofertilizante en el contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L.

Effect of different biofertilizer concentrations on phenolic content, flavonoids, and antioxidant activity in *Hibiscus sabdariffa* L.

Javier del Ángel García-Domínguez¹ , Omar Sarracino-Martínez¹ , Erika Viviana Miranda-Mandujano² , Geovanni Hernández-Galvez¹ , Edelia Claudina Villarreal-Ibarra¹ , Gloria Ivette Bolio-López¹ , Damianys Almenares-López^{1*} 

¹ Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, km 2 carretera Cárdenas-Huimanguillo s/n, Ranchería, Invitab Paso y Playa, 86556, Cárdenas, Tabasco, México.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, avenida Universidad s/n, Col. Magisterial, 86040, Villahermosa, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: damianys.almenares@upch.mx

Fecha de recepción:

30 de noviembre de 2025

Fecha de aceptación:

16 de marzo de 2026

Disponible en línea:

29 de abril de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

García-Domínguez, J. del Á., Sarracino-Martínez, O., Miranda-Mandujano, E. V., Hernández-Galvez, G., Villarreal-Ibarra, E. C., Bolio-López, G. I. & Almenares-López, D. (2025). Efecto de concentraciones variables de biofertilizante en el contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 11(núm. esp. 2), e0111039. https://doi.org/10.30973/aap/2025.11.e0111039

RESUMEN

Los cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) poseen un alto valor funcional por su contenido de polifenoles y flavonoides con actividad antioxidante y antiinflamatoria. En este estudio se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de biofertilizante orgánico (BIOL), obtenido por digestión anaerobia de excreta bovina, sobre el contenido de fenoles totales, flavonoides y la actividad antioxidante en cálices de jamaica. El experimento se estableció bajo un diseño al azar con arreglo factorial 1×6 , que incluyó cuatro concentraciones de BIOL (1 %, 2 %, 3 % y 4 %), un tratamiento con fertilización química (urea) y un control sin fertilización. Los fenoles totales se determinaron mediante Folin-Ciocalteu, los flavonoides por $A_1Cl_3/NaNO_2$ y la actividad antioxidante por DPPH. El mayor contenido de fenoles se obtuvo con BIOL al 4 %, mientras que los flavonoides fueron superiores con urea. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$). Los resultados indican que el BIOL puede considerarse como una alternativa sustentable para conservar la calidad nutraceutica del cultivo.

PALABRAS CLAVE

Jamaica, metabolitos secundarios, agricultura sostenible, capacidad antioxidante, polifenoles.

ABSTRACT

Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa* L.) have high functional value due to their content of polyphenols and flavonoids with antioxidant and anti-inflammatory activity. In this study, the effect of different concentrations of an organic biofertilizer (BIOL), obtained through anaerobic digestion of bovine manure, was evaluated on total phenolic content, flavonoids, and antioxidant activity in roselle calyces. The experiment was established under a completely randomized design with a 1×6 factorial arrangement, including four BIOL concentrations (1 %, 2 %, 3 %, and 4%), a chemical fertilization treatment (urea), and an unfertilized control. Total phenolics were determined using the Folin-Ciocalteu method, flavonoids by the $A_1Cl_3/NaNO_2$ method, and antioxidant activity by DPPH. The highest phenolic content was obtained with 4 % BIOL, whereas flavonoids were higher with urea. Statistical analysis showed significant differences ($p < 0.05$). The results suggest that BIOL is a sustainable alternative to maintain the nutraceutical quality of the crop.

KEYWORDS

Roselle, secondary metabolites, sustainable agriculture, antioxidant capacity, polyphenols.

INTRODUCCIÓN

La jamaica, *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae), procede de países tropicales en Asia, y fue extendida a regiones tropicales y subtropicales de África, Centro y Sudamérica; se introdujo en México durante la época colonial. A nivel mundial, China e India son sus principales productores (Montaño Arango et al., 2024). México posee el 27 % de la producción mundial, caracterizado por cultivarse por semilla en suelos de escasa fertilidad y baja retención de humedad (Fosado Quiroz et al., 2021).

La parte de la planta más empleada son las flores por su utilidad y valor económico (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2023). Lo anterior debido a su contenido de fenoles, flavonoides, antocianinas y antioxidantes (Akther et al., 2023; Pacheco-Coello et al., 2019). La presencia de estas biomoléculas se ha asociado con varios efectos biológicos, como las actividades antioxidante, antiinflamatoria y antihipertensiva (Hopkins et al., 2013). Asimismo, sus propiedades han favorecido su aplicación en industrias como la nutricional, la agrícola, la cosmética y la alimenticia.

Debido a la degradación de suelos y altos costos de fertilizantes sintéticos, en la actualidad, la producción agroalimentaria enfrenta desafíos importantes. En este contexto, los biofertilizantes a base orgánica (BIOL) constituyen una alternativa para mejorar la sostenibilidad productiva y aumentar el rendimiento de los cultivos (López-Morales et al., 2022; SADER, 2023; Wu et al., 2021). Previamente, se ha reportado un efecto positivo del BIOL en el crecimiento, rendimiento y contenido de polifenoles totales en plantas con propie-

dades nutracéuticas, como albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (Stoleru et al., 2023; Veremeichik et al., 2024).

A pesar del valor económico y nutracéutico de los cálices de *H. sabdariffa*, la evidencia del impacto del uso de biofertilizantes líquidos en la acumulación de compuestos fenólicos es limitada. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes concentraciones del biofertilizante líquido (BIOL) sobre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la actividad antioxidante de los cálices de *H. sabdariffa*, con el fin de generar información científica que contribuya al diseño de estrategias de manejo agronómico sustentable para esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Popular de la Chontalpa, en el municipio de Cárdenas, Tabasco, México (17.9601° N, -93.3632° O), una región caracterizada por un clima cálido-húmedo. El sitio experimental constó de un área de 1,500 m² y se caracterizó edáficamente como un suelo franco arcilloso, con pH de 6.9, textura media, libre de carbonatos y sales, y con un contenido de azufre muy bajo. En cuanto a la disponibilidad de macronutrientes, el suelo presentó alto contenido de cobre y niveles deficientes de boro, con una densidad aparente de 1.17 g/cm³. Las propiedades físicas y químicas del suelo se resumen en el Cuadro 1, y fueron determinadas a partir de un análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB (Celaya, México).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo experimental.

M.O.	Propiedades			
	2.71 p.p	Iones solubles (mg/kg)		
CaCO ₃ %	0.01	N-NO ₃	6.18	Moderadamente bajo
Textura	Franco arcilloso	S	0.10	Muy bajo
pH	6.63 (Neutro)	Ca	3,181	Moderadamente alto
ECe(dS/m) (Salinidad)	0.24 (Muy bajo)	Mg	627	Moderadamente alto
		Na	48.9	Muy bajo
		K	158	Moderadamente bajo
		B	0.24	Bajo
		Fe Cu	60.4 3.22	Muy alto Muy alto

Material Vegetal

Se emplearon semillas de *H. sabdariffa* variedad Criolla. La germinación se realizó en charolas germinadoras utilizando turba (*Sphagnum Peat Moss*, Premier, Canadá) como sustrato, las cuales se mantuvieron en un invernadero semicerrado cubierto con plástico transparente con protección anti-uv. La germinación de las plantas inició aproximadamente a los 14 días postsiembra bajo condiciones climáticas de la región, culminando en su totalidad en el día 25.

Biofertilizante

El biofertilizante líquido (BIOL) se obtuvo mediante un proceso de fermentación anaeróbica en un biodigestor tipo laguna con una capacidad de 18 m³. Para su elaboración, el sistema fue alimentado con una mezcla de excreta fresca de ganado bovino y agua en una relación de dilución 1:3 (v/v). El proceso de digestión anaerobia se mantuvo durante un periodo de 10 meses, tiempo en el cual el sistema logró la degradación total de la materia orgánica presente en el biodigestor. Al transcurrir este periodo, el biofertilizante fue extraído y almacenado en recipientes herméticos bajo sombra para su posterior uso y caracterización, reportando concentraciones de 2,200 mg/L de nitrógeno total (NT), 80 mg/L de fósforo (P) y 200 mg/L de potasio (K), valores que constituyeron la base nutricional de los tratamientos aplicados. En el Cuadro 2, se presentan las propiedades físicas y químicas reportadas por el análisis solicitado al laboratorio FERTILAB (análisis nutritivo de biofertilizante orgánico).

Diseño experimental

Para este estudio las plántulas fueron establecidas en campo a una densidad de 4,444 plantas ha⁻¹, con una distancia de 1.5 m entre plantas. El experimento se estableció bajo un diseño al azar con un diseño factorial 1 × 6, evaluando seis tratamientos, cada uno con tres repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por un conjunto de 30 plantas de *H. sabdariffa* establecidas en un área de 6 m × 8 m. Los tratamientos consistieron en la aplicación del BIOL en cuatro concentraciones (1 %, 2 %, 3 % y 4 %), un tratamiento control con fertilización química convencional a base de urea

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del biofertilizante (BIOL) empleado en este estudio.

Determinación	Resultados	
pH	-	7.82
Conductividad eléctrica	dS/m	4.87
Nitrógeno total	mg/L	2,200
Fósforo (P)	mg/L	80
Potasio(K)	mg/L	200
Calcio (Ca)	mg/L	41
Magnesio (Mg)	mg/L	30
Sodio (Na)	mg/L	500
Azufre(S)	mg/L	12
Hierro (Fe)		2.34
Cobre (Cu)		0.11
Manganeso (Mn)		0.23
Zinc (Zn)		0.12
Boro(B)		0.01
Humedad		99.8
Materia orgánica		0.10
Cenizas		0.14
Carbono orgánico		0.06
Relación C/N		0.25
Molibdeno (Mo)		0.01
Ácidos totales		0.00
Ácidos húmicos		0.00
Ácidos fúlvicos		0.00

(100g/planta) y un tratamiento blanco sin fertilización alguna. La urea se utilizó como control químico con el propósito de establecer una comparación directa entre un esquema de fertilización convencional y los tratamientos orgánicos evaluados. Debido a la ausencia de literatura previa que defina rangos óptimos de aplicación de biofertilizante líquidos tipo BIOL en el cultivo de *H. sabdariffa*, las concentraciones evaluadas en el presente estudio se seleccionaron con base en criterios agronómicos y reportes previos para cultivos hortícolas (Jankauskienė et al., 2024; Ntinas et al., 2021). Se priorizaron rangos bajos ($\leq 4\%$) para mitigar riesgos de fitotoxicidad, asegurar la integridad del material vegetativo e identificar el umbral de respuesta inicial del cultivo. Los tratamientos se aplicaron en la zona de la rizosfera, cubriendo el metro cuadrado correspondiente a la base de cada unidad experimental.

Durante los días posteriores a la siembra, el manejo agronómico se limitó a riegos de establecimiento para asegurar la humedad del suelo y al control manual de

malezas, manteniéndose el cultivo bajo las condiciones nutricionales nativas del suelo, sin aplicación de fertilización química u orgánica. La fase de fertilización inició el día 84, atendiendo al cese del crecimiento vegetativo de las plantas. Lo anterior indica la transición hacia la etapa reproductiva, caracterizada por una mayor demanda de nutrientes externos.

Cosecha y deshidratado

La cosecha de *H. sabdariffa* se realizó empleando como criterio el índice de madurez comercial (cálices carnosos cerrados con una coloración rojo intenso). El cáliz fue deshidratado mediante un secador solar de tipo invernadero, fabricado con láminas de policarbonato transparente. En su interior, el material a secar se colocó sobre bandejas fabricadas con malla de polietileno con una superficie útil de 0.54 m². Las condiciones ambientales dentro de la cámara de secado, específicamente la temperatura y la humedad relativa, se monitorearon mediante un termohigrómetro digital previamente calibrado con una precisión de ± 1 °C para la medición de temperatura y ± 3 % para la humedad relativa. Finalmente, el peso de las muestras se obtuvo con una balanza analítica (Boeco, Hamburgo, Alemania), la cual fue calibrada antes de cada sesión de pesaje para minimizar el error experimental (precisión de ± 0.001 g).

Obtención de extractos y caracterización fisicoquímica

Para la preparación de los extractos se siguieron protocolos estandarizados para la preparación de extractos vegetales de la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2007). El material deshidratado se pulverizó en un molino industrial, modelo Thomas Scientific (Nueva Jersey, Estados Unidos). Posteriormente se llevó a cabo una maceración en frío con etanol al 70 % a razón de 1:10 (p/v). Las muestras se cubrieron con papel de aluminio y se mantuvieron en agitación constante en un agitador KS 260 Basic (IKA, Wilmington, Estados Unidos) por siete días a temperatura ambiente. El extracto obtenido se filtró al vacío (bomba de vacío de etapa, RS-4, Zhejiang, China) y el disolvente se eliminó por concentración en un rotavapor RE52 (Lanphan, Zhengzhou, China) a 40 °C. Luego se realizaron los siguientes análisis.

Cuantificación de fenoles totales: el contenido de fenoles totales en los extractos etanólicos de los cálices de *H. sabdariffa* se determinó mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu (Fonseca et al., 2002). Se mezclaron 400 μ L del extracto (1 mg/mL) en tubos de ensayo. A continuación, se añadió 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), seguido de 1 mL de carbonato de sodio al 20 %. Posteriormente, se incubaron en la oscuridad durante 90 min y se midió la absorbancia con un espectrofotómetro UV-Vis (VE-550UV, Velab, Tlalpan, México) a 760 nm. La curva de calibración se preparó con ácido gálico en concentraciones de 0.02 mg/mL a 0.1 mg/mL, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.99. Los resultados se expresaron en miligramos de equivalente de ácido gálico monohidratado estándar (> 99 %; número de registro CAS 5995-86-8) por gramo de material seco (mgEAG/gMS). Cada muestra se analizó por triplicado.

Cuantificación de flavonoides totales: el contenido total de flavonoides se determinó mediante el método colorimétrico con tricloruro de aluminio (Liu & Zhu, 2007), con algunas modificaciones: se mezcló 1 mL de solución de flavonoides con 0.3 mL de solución de NaNO₂ (5 %); tras 6 min de incubación a 25 °C, se añadieron 0.3 mL de solución de AlCl₃ (2 %). La mezcla se agitó y se dejó reposar durante 6 min. Posteriormente, se añadieron 0.2 mL de solución de NaOH 1 M a cada extracto y se incubó durante 10 min a temperatura ambiente. La absorbancia se determinó a 510 nm frente a un blanco. Se utilizó quercetina dihidratada (> 98 %, número de registro CAS 6151-25-3) como estándar para preparar la curva de calibración ($r^2 = 0.9924$). Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de quercetina por gramo de masa seca (mgEQ/gMS). La muestra del extracto hidroalcohólico se preparó a una concentración de 0.1 mg/mL a partir de cada muestra disuelta en etanol al 70 %. Se añadió 1 mL de metanol de grado reactivo a 1 mL de la muestra. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Actividad antioxidante: se determinó por el método espectrofotométrico de Brand-Williams et al. (1995) que emplea 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) con algunas modificaciones (Villarreal-Ibarra et al., 2023) del DPPH. Se añadieron 1,000 μ L de diversas concentraciones de los extractos en etanol a 4 mL de una solución metanólica de DPPH al 0.004 %. Tras un periodo de incubación

de 60 min a temperatura ambiente, se leyó la absorbancia frente a un blanco a 517 nm. Todos los datos espectrofotométricos se adquirieron con un espectrofotómetro uv-5100 (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd., Shanghái, China). Se utilizaron cubetas desechables (1 cm × 1 cm × 4.5 cm) de Ratiolab (Dreieich, Alemania) para la medición de la absorbancia visible.

Determinación de la acidez: la determinación de la acidez de los cálices de *H. sabdariffa* se realizó por titulación ácido-base (Xu et al., 2018). Se pesaron 0.625 g de cálices secos y se llevaron a ebullición doble en 25 mL de agua destilada, recolectando el líquido final. Tras 15 min se aforó cada extracto a 50 mL empleando agua destilada. La titulación se realizó empleando una solución estándar de NaOH 0.089 N con fenolftaleína como indicador y estableciendo el punto final en un rango de pH de 8.2-8.3. Cada determinación se realizó por triplicado y los resultados se expresaron como porcentaje de acidez (ácido orgánico predominante).

Determinación del contenido de cenizas: se basó en la norma ASTM E1755-24 para determinar el contenido de cenizas en biomasa, expresado como el porcentaje de masa del residuo restante después de la oxidación en seco. Para ello, se colocó una muestra seca de 1 g de cálices secos en un crisol seco, se calcinó en un horno mufla ECO-2L (EcoSHELL, Pharr, Estados Unidos) durante 6 h a 575 ± 25 °C y se pesó. La ceniza total se determinó por la diferencia entre el peso del crisol vacío y el peso del crisol con ceniza (Akther et al., 2023; ASTM International, 2024).

Medición del color: la evaluación de colorimetría de los cálices se realizó mediante un colorímetro sc-10 (CHNSpec Technology Co., Zhejiang, China), empleando el sistema cromático CIELAB. Las mediciones se realizaron por triplicado en cálices secos (secador solar tipo invernadero) para garantizar la reproducibilidad.

Análisis estadístico

Las variables respuesta fueron contenido de cenizas, fenoles, flavonoides y actividad antioxidante. Los datos se expresaron como media \pm desviación estándar. Antes del análisis, se verificaron los supuestos de normalidad

mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas por la prueba de Levene. Cuando se cumplieron los criterios de normalidad, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para comparar las medias entre tratamientos. En caso de encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba de Holm-Sidak, la cual permite identificar qué tratamientos difieren entre sí. Todos los análisis se realizaron con el *software* OriginPro 2018 (OriginLab, Northampton, Estados Unidos). Debido a la ausencia de variabilidad intra-grupal en las réplicas de pH, sst y acidez titulable, los datos se presentan bajo un enfoque de estadística descriptiva y reportan el valor absoluto obtenido en lugar de medidas de dispersión, pues no existe una desviación estándar calculable distinta de cero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del BIOL en los parámetros fisicoquímicos de los cálices de *H. sabdariffa*

La fertilización con urea o las diferentes concentraciones de BIOL no alteraron el contenido de agua, materia seca ni sst de los cálices. Específicamente, los grados Brix en los cálices fueron muy bajos, entre 0 °Bx y 0.3 °Bx. Si bien se ha reportado que el cáliz de *H. sabdariffa* se caracteriza por un contenido bajo en azúcares y alta proporción de agua, la literatura disponible sobre la evaluación de los grados Brix en relación con los métodos de fertilización de esta especie es limitada. Los resultados sugieren que el metabolismo asociado con la acumulación de azúcares no fue sensible al tipo de fertilizante ni a la concentración del BIOL, lo cual coincide con lo reportado por Taiz et al. (2015), quienes han señalado que la acumulación de carbohidratos puede mantenerse relativamente constante cuando no hay limitaciones de carbono o alteraciones fisiológicas marcadas.

Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en el contenido de cenizas ($F = 124.8$; $p < 0.0001$). El mayor contenido se presentó con BIOL 2 % con 7.91 %; mientras que, en la muestra sin tratamiento fertilizante, los tratamientos BIOL 1 % y 4 % se ubicaron en un rango intermedio, superiores al control químico con urea que presentó los valores más bajos (6.32 %). Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado para cálices de *H. sabdariffa* que va de 6 %

a 9 %, y sugieren que la fertilización orgánica tiende a incrementar la mineralización respecto al fertilizante sintético. Lo anterior coincide con lo descrito por El-Kinany et al. (2020), quienes señalaron que los biofertilizantes favorecen la acumulación de minerales en tejidos vegetales debido a que aportan micronutrientes y mejoran la estructura del suelo, lo que favorece la densidad mineral del tejido vegetal en comparación con la fertilización sintética convencional. Por lo tanto, el uso de BIOL podría mejorar el valor nutracéutico del cáliz de *H. sabdariffa*, aportando minerales esenciales y contribuyendo a un manejo agronómico sustentable. Los parámetros obtenidos en el Cuadro 3 se encuentran dentro de los valores de la norma de referencia NMX-FF-115-SCFI-2010 (Secretaría de Economía, 2010) para el cáliz de *H. sabdariffa* en México, la cual exige un máximo de 10 % para cenizas totales en calidad extra.

El análisis de suelo reveló un contenido de nitrógeno de 6.18 mg/kg, lo que se considera bajo, además de una deficiencia de boro con 0.24 mg/kg según Castellanos (2000). Lo anterior, según la teoría del balance carbono-nutriente, propicia la canalización del metabolismo hacia la vía de los fenilpropanoides (Alvarado-Camarillo et al., 2021). En este sentido, la aplicación del BIOL, si bien no cubrió totalmente estas deficiencias, sí aprovechó la alta saturación de bases de Ca y Mg presentes en el suelo de Cárdenas, Tabasco, México, lo que resultó en un aumento del contenido de cenizas. Lo anterior coincide con lo reportado por Adekiya et al. (2025) y Barbosa et al. (2014), quienes observaron en *Ripariosida hermaphrodita* (L.) Weakley & D.B.Poind. y okra [*Abelmoschus esculentus* (L. Moench)] (Malvaceae) que el BIOL actúa como una fuente de nutrientes de alta disponibilidad, debido a que induce una mayor concentración de minerales en la biomasa aérea en comparación con la fertilización mineral.

Con respecto al pH, los valores oscilan entre 2.7 y 3.02. Aunque de manera descriptiva el mayor valor se registró en el tratamiento BIOL 2 % y el menor, en BIOL 3 %. Estas pequeñas variaciones no son atribuibles al régimen de fertilización, sino a la naturaleza ácida intrínseca de esta especie. Esta estabilidad fisiológica frente a la fertilización es un hallazgo de alto valor agroindustrial y medicinal; un pH inferior a 3.0 no solo preserva las propiedades organolépticas de aroma y sabor (Salinas-Moreno et al., 2012), sino que resulta crítico para garantizar la estabilidad química y bioactividad de los compuestos fenólicos, particularmente de las antocianinas. En el presente estudio, la conservación de un pH inferior a 3.0 es relevante, debido a que se ha reportado que este valor garantiza la estabilidad química de la delphinidina-3-sambubiosido, pigmento que mantiene su coloración roja intensa y su funcionalidad biológica bajo dichas condiciones de acidez (Galicia-Flores et al., 2008).

Con respecto a la acidez titulable, expresada en gramos de ácido cítrico por 100 g de materia seca, esta mostró una homogeneidad absoluta en todos los tratamientos evaluados con un valor constante de 1.14. Estos resultados indican que ni la fertilización nitrogenada sintética ni las concentraciones de BIOL alteraron la concentración de ácidos orgánicos en los cálices. Al respecto, Salinas-Moreno et al. (2012) señalan que los cálices de *H. sabdariffa* tienen una naturaleza ácida intrínseca debido a su alto contenido en ácidos oxálicos, succínico, cítrico, málico, ascórbico, entre otros.

El análisis de los compuestos fenólicos totales en la Figura 1 muestra que la aplicación del BIOL tiene un efecto positivo, dependiente de la concentración, sobre la síntesis de compuestos fenólicos ($p < 0.05$). Todos los tratamientos con BIOL mostraron concentraciones de compuestos fenólicos superiores a las obtenidas con el tratamiento con urea, independientemente del porcentaje de aplicación evaluado. El valor máximo se

Cuadro 3. Efecto de la fertilización con diferentes concentraciones de BIOL en los parámetros de los cálices de *H. sabdariffa*.

Tratamientos	sst (°Bx)	Acidez (g ácido cítrico × 100 g ms)	Cenizas (%)	pH
Urea	0.0	1.14	6.32 ^c	3.01
BIOL 0	0.0	1.14	7.44 ^b	2.98
BIOL 1 %	0.3	1.14	7.63 ^{ab}	2.98
BIOL 2 %	0.1	1.14	7.91 ^a	3.02
BIOL 3 %	0.0	1.14	6.48 ^d	2.7
BIOL 4 %	0.0	1.14	7.42 ^b	2.86

sst: Sólidos Solubles Totales. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos.

observó en el tratamiento con BIOL 4 % con 6.35 ± 0.05 mg EQ/g MS, mientras que el mínimo correspondió al tratamiento sin tratamiento con 4.77 ± 0.05 mg EQ/g MS.

Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de precursores metabólicos y microorganismos en el BIOL que activan la ruta del ácido shikímico responsable de la síntesis de fenoles (Möller & Müller, 2012). Además, varios estudios han señalado que, la alta conductividad eléctrica del BIOL puede llevar a estrés salino u osmótico que activa la vía de los fenilpropanoides como mecanismo de defensa que lleva, a su vez, a la acumulación de antioxidantes (Möller & Müller, 2012; Villagómez-Aranda, 2022). Los resultados de esta investigación son consistentes con lo reportado por Stoleru et al. (2023), quienes observaron en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) que dosis moderadas de fertilizantes orgánicos aumentan los polifenoles totales dependiendo de la especie entre un 14 % y 76 % con respecto al control, un comportamiento similar al obtenido en este estudio con el tratamiento de BIOL 4 %, donde el aumento fue del 35 %. Esta consistencia refuerza la hipótesis de que el aporte de nutrientes orgánicos y compuestos bioactivos presentes en los biofertilizantes líquidos modula positivamente la vía de los fenilpropanoides.

Sin embargo, el contenido de flavonoides (Figura 2) y la actividad antioxidante registrada (Cuadro 4) mostraron comportamiento opuesto al observado en los compuestos fenólicos, con valores máximos en el tratamiento con urea de 3.84 ± 0.04 mg EQ/g MS. De forma general, en todos los tratamientos con BIOL se observaron valores inferiores en el contenido de flavonoides sin diferencias significativas entre los niveles. Dentro de los tratamientos con BIOL, los valores más altos se obtuvieron con 4 % (3.72 ± 0.01 mg EQ/g), mientras que los más bajos se registraron con 2 % (3.68 ± 0.14 mg EQ/g MS). Se pueden observar diferencias significativas con el tratamiento con urea ($p < 0.05$; ANOVA, Tukey). Esta respuesta sugiere un desacoplamiento metabólico. Mientras que el BIOL estimula la síntesis de fenoles totales —posiblemente como respuesta a una conductividad eléctrica elevada o estrés osmótico leve (eustrés)—, la urea proporciona nitrógeno de rápida disponibilidad que parece ser más eficiente para la síntesis específica de flavonoides. Como señalan Erb & Kliebenstein (2020), existe una competencia por precursores comunes; es decir, la planta podría estar canalizando el flujo de carbono hacia ácidos fenólicos o polímeros de defensa en los tratamientos con

BIOL, limitando la ruta hacia la chalcona sintetasa (CHS), enzima clave para los flavonoides (Jaafar et al., 2012; Yang et al. 2023). Mientras que, en algunos estudios con plantas medicinales, niveles elevados de nitrógeno han reducido la acumulación de flavonoides, lo que indica un efecto no lineal (López-Morales et al., 2022). En contraste, los altos valores observados en el tratamiento sin fertilizante 3.74 mg EQ/g MS podrían explicarse por estrés nutricional inducido en la planta por deficiencias de B y S en el suelo, lo cual puede favorecer la acumulación de flavonoides como una respuesta adaptativa común frente a la escasez de micronutrientes (Treutter, 2005).

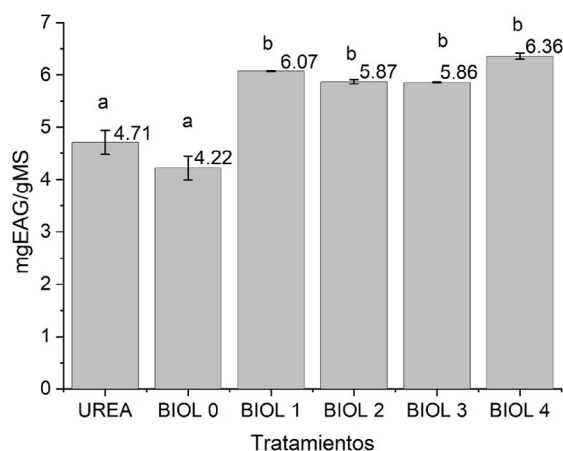


Figura 1. Efecto de diferentes tratamientos de fertilización en el contenido de fenoles totales de los cálices de *H. sabdariffa*. Los datos representan medias \pm desviación estándar de mediciones por triplicado. BIOL 0, BIOL 1, BIOL 2, BIOL 3 y BIOL 4 representan las diferentes concentraciones del biofertilizante (De 0 % a 4 %). Letras diferentes significan diferencias significativas ($p < 0.05$).

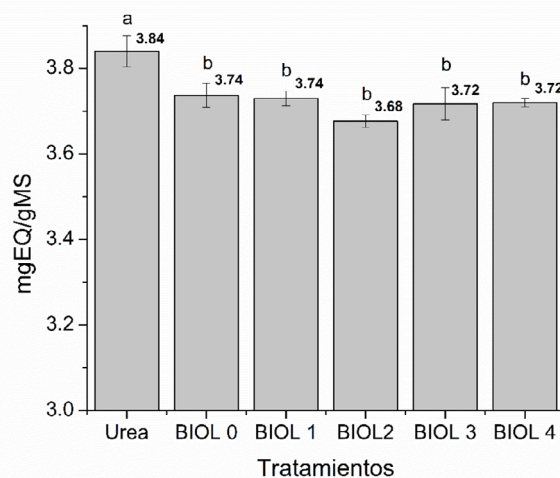


Figura 2. Efecto de los diferentes tratamientos de fertilización en el contenido de flavonoides totales de los cálices de *H. sabdariffa*. Los datos representan medias \pm desviación estándar de mediciones por triplicado. BIOL 0, BIOL 1, BIOL 2, BIOL 3 y BIOL 4 representan las diferentes concentraciones del biofertilizante (De 0 % a 4 %). Letras diferentes significan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Otro factor que puede favorecer la acumulación de un grupo de metabolito con respecto a otro es que los fertilizantes como el BIOL, que son productos fermentados, actúan como bioestimulantes complejos modulando las rutas metabólicas de forma no lineal debido a que producen microorganismos, metabolitos secundarios, hormonas y compuestos bioactivos que modulan rutas distintas de forma no lineal. Lo anterior puede promover la acumulación de ciertos fenoles antioxidantes sin necesariamente estimular la síntesis de flavonoides (Ma et al., 2024). Este comportamiento se ha observado en plantas superiores con hidrolizados orgánicos, donde la activación de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) no se distribuye equitativamente hacia todas las subrutinas de los fenilpropanoides (Xu & Geelen, 2018). Además, los microorganismos anaerobios presentes en el BIOL, como bacterias ácido lácticas y levaduras, no solo consumen sustratos, sino que sintetizan y liberan compuestos fenólicos y precursores metabólicos que la planta absorbe directamente (Montero-Castro et al., 2024).

Actividad antioxidante

El Cuadro 4 muestra los resultados de la actividad antioxidante entre los diferentes tratamientos de fertilización y su relación con el color observado en las hojas de *H. sabdariffa*. Se puede observar que el tratamiento con urea mostró los valores más altos de actividad antioxidante con 1.97 ± 0.09 mol de trolox/100 g ms, seguido del tratamiento con el BIOL al 1 %. El resto de los tratamientos presentaron valores mínimos ($p < 0.05$). Estos resultados concuerdan con los reportados por Norhayati et al. (2019), quienes observaron que el

tratamiento con fertilizante orgánico a base de excreta de vaca tratado en alta concentración (es decir, 160mt/ha), aumentó el crecimiento y rendimiento de la planta de *H. sabdariffa*, pero no tuvo efecto en la actividad antioxidante.

En cuanto a la caracterización del color, el rango de luminosidad (L^*) varió de 1.56 a 3.04. Los valores más altos se observaron en BIOL 2 % y 4 % (3.04), por lo que las muestras son más claras. Mientras que el BIOL 1 % presentó la mayor opacidad (1.56). Los tratamientos con BIOL muestran una mayor variabilidad en luminosidad, lo que podría deberse a diferencias en la concentración de antocianinas y humedad del cáliz, ya que colores más oscuros suelen asociarse a mayor presencia de pigmentos fenólicos. La combinación de una alta actividad antioxidante en la urea con valores de a^* y b^* cercanos al origen sugiere una mayor estabilidad de los pigmentos nativos bajo fertilización nitrogenada convencional, en contraste con la variabilidad cromática inducida por el BIOL. Al contrario, la fertilización orgánica provocó mayor variación del color entre tratamientos y disminución de la actividad antioxidante, como ha sido sugerido por Salinas-Moreno et al. (2012).

Con respecto a los valores del ángulo de matiz (h°) en este estudio, estos oscilaron entre 59.9° y 125.3° , lo cual muestra una modificación del perfil cromático desde tonos naranja-rojizos hacia el espectro amarillo-verdoso. Este fenómeno, diferente de los ángulos cercanos a 0° reportados para cálices de *H. sabdariffa* de alta calidad antocianínica, puede atribuirse a la interacción entre el régimen de fertilización y la estabilidad química de los pigmentos. El desplazamiento hacia ángulos superiores a 90° en los tratamientos con urea (125.3°) y BIOL 4 % (124.6°) sugiere una degradación o

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos con BIOL en la actividad antioxidante y color de los cálices secos de *H. sabdariffa*.

Tratamiento	Actividad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox/g ms}$)	Color					Color de referencia
		L^*	A^*	B^*	Croma C^*	Ángulo de matiz h°	
Urea	19.7 ± 0.9^a	2.51	-1.17	1.65	2.02	125.3°	Verde amarillento (oliva)
BIOL 0	5.4 ± 1.2^b	2.52	1.60	2.76	3.19	59.9°	Naranja-rojizo
BIOL 1	10.4 ± 3.2^b	1.56	-2.52	6.98	7.42	109.8°	Amarillo-verdoso
BIOL 2	0.8 ± 0.07^b	3.04	0.71	5.75	5.79	83.0°	Amarillo
BIOL 3	0.3 ± 1.0^b	2.22	-1.43	4.51	4.73	107.6°	Amarillo verdoso
BIOL 4	1.6 ± 0.11^b	3.04	-2.60	3.76	4.57	124.6°	Verde-amarillento

$p < 0.001$. Letras diferentes significan diferencias significativas.

transformación de las antocianinas nativas (como la delphinidina-3-sambubiósido) hacia chalconas o formas químicas incoloras/amarillentas. Este proceso se presenta cuando existe una alta concentración de otros polifenoles que actúan como copigmentos. Asimismo, la prevalencia de tonos amarillentos en la fertilización a mayores porcentajes de BIOL podría estar asociada a una mayor síntesis de flavonoles como la quercetina o hibiscetina, los cuales presentan coloraciones amarillas y cuya ruta metabólica parece haber sido favorecida sobre la síntesis de antocianinas rojas en las condiciones edafoclimáticas de Tabasco. Esta interpretación se alinea con la baja actividad antioxidante observada en los tratamientos con ángulos de matiz más altos, indicando que el viraje hacia el verde-amarillo coincide con una pérdida de la funcionalidad biológica de los pigmentos originales (Salinas-Moreno et al., 2012).

El análisis de la correlación de Pearson mostró relaciones significativas altas entre las variables físico-químicas. Se observó una correlación fuerte y negativa entre el contenido de fenoles totales y flavonoides totales ($r = -0.704$; $p < 0.01$), lo anterior sugiere un seccionamiento metabólico donde la aplicación de BIOL prioriza la síntesis de ácidos fenólicos simples u otros derivados, comprometiendo la vía específica de los flavonoides. Dicha divergencia puede explicarse por la competencia de precursores comunes en la ruta de los fenilpropanoides; pues al canalizar recursos hacia moléculas de defensa o estructurales (como ligninas), el flujo hacia la ruta de la chalcona sintetasa se ve res-

tringido (Valdez-López et al., 2019). Esta interpretación se refuerza al observar que la actividad antioxidante presentó una correlación positiva estrecha con los flavonoides ($r = 0.811$; $p < 0.001$), lo cual indica que estos últimos son los principales responsables del potencial nutraceutico del cáliz. En *H. sabdariffa*, se han caracterizado antocianinas como delphinidin-3-glucósido y cianidin-3-sambubiósido, además de flavonoides como la gopipetina, hibiscetina y ácido protocatéico. Los mismos han sido relacionados con la actividad antioxidante, además que con los responsables del color rojo de los cálices, los cuales ofrecen protección contra la radiación solar a las plantas (Da-Costa-Rocha et al., 2014).

Los resultados obtenidos difieren de lo registrado por Veremeichik et al. (2024), quienes reportaron que la fertilización biológica y orgánica de *Ocimum basilicum* L. tuvo un impacto positivo significativo en la acidez, el contenido de fitonutrientes (contenido fenólico total, licopeno, β -caroteno), la actividad antioxidante y la composición fitoquímica (ácido clorogénico, ácido *p*-cumárico, quercetina e isoquercetina). Solo en el caso del contenido mineral, el tratamiento químico presentó mejores resultados en comparación con los fertilizantes orgánicos y biológicos. Dicha divergencia puede atribuirse a la especificidad del órgano de interés. A diferencia de la albahaca, donde se evalúa el tejido foliar, es decir, el metabolismo vegetativo, en *H. sabdariffa* el estudio se centra en el cáliz que es el tejido reproductivo y de fructificación, donde la demanda

Cuadro 5. Correlación entre el contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en el estudio.

		Correlaciones			
	Tratamientos	Flavonoides totales	A. A	Fenoles Totales	
Tratamientos	Correlación de Pearson	1	-0.640**	-0.793**	0.808**
	Sig. (bilateral)		0.004	0.000	0.000
Flavonoides totales	Correlación de Pearson	-0.640**	1	0.811**	-0.704**
	Sig. (bilateral)	0.004		0.000	0.001
A.A	Correlación de Pearson	-0.793**	0.811**	1	-0.641**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.004
Fenoles totales	Correlación de Pearson	0.808**	-0.704**	-0.641**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.001	0.004	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral). A.A: Actividad antioxidante.

de nitrógeno inorgánico para la síntesis de pigmentos es más crítica y puntual. Además, la marcada deficiencia de boro en el suelo de Cárdenas, Tabasco, pudo actuar como un factor limitante que el BIOL no logró compensar totalmente en términos de actividad antioxidante, a pesar de su éxito en la acumulación de fenoles totales y minerales, sugiriendo que la eficacia del BIOL está estrechamente ligada a las características del suelo y a la fenología de la especie bajo estudio, como documentó Mossa et al. (2024).

Los resultados de este estudio tienen aplicaciones directas para el manejo del cultivo en regiones con suelos ácidos y lixiviados, como la Chontalpa tabasqueña. Se identifica como aspecto relevante la eficiencia a dosis bajas del BIOL, lo que es muy importante para el productor local debido a la reducción de costos al optimizar el empleo de insumos orgánicos. Además, puede constituir una estrategia de rescate fitoquímico que garantice un producto comercialmente viable bajo un esquema de agricultura orgánica. Como recomendación general, se sugiere un manejo complementario con microelementos, específicamente boro vía foliar, que permita desbloquear la ruta biosintética de fenilpropanoides.

CONCLUSIONES

La fertilización orgánica con BIOL en concentraciones del 1 % al 4 % no modifica las propiedades fisicoquímicas básicas de los cálices de *H. sabdariffa* como el pH, acidez y sólidos solubles, por lo que se preserva la identidad sensorial de esta especie. En tanto que sí aumenta significativamente el contenido de cenizas y fenoles en comparación con la fertilización sintética con urea, siendo la dosis de 4 % la más efectiva para potenciar la acumulación de fenoles totales. Por otro lado, se observó un comportamiento divergente en el metabolismo secundario, es decir que el BIOL favorece la síntesis de fenoles totales, además que la urea resultó más eficiente para la acumulación de flavonoides y la actividad antioxidante, sugiriendo una competencia por precursores en la ruta de los fenilpropanoides bajo las condiciones edafoclimáticas evaluadas. El uso de BIOL al 2 % representa una alternativa sustentable para mejorar la densidad mineral de los cálices en suelos con deficiencias de nitrógeno, aunque se recomienda la

suplementación foliar con boro para optimizar la ruta biosintética de antioxidantes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Popular de la Chontalpa y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca de maestría núm. 1316956 y al proyecto PRODECTI-2023 01/132 Implementación de tecnologías solares y uso de biomasa para alcanzar una agricultura sostenible en comunidades locales.

LITERATURA CITADA

- Adekiya, A. O., Dahunsi, S. O., Adedokun, O. D., Agbede, T. M., Oche, P.-J. A., & Ogunbode, T. O. (2025). Optimizing soil fertility and crop productivity using biodigestate, poultry manure, and NPK integration. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 12, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2025.100192>
- Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., Cepeda-Dovala, J. M., Rubí-Arriaga, M., & Pineda-Pineda, J. (2021). Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), e0071001. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071001>
- Akther, F., Abdul Alim, M., Akter Nasrin, N., Khan, M., Noel Gomes, D., Suhan, M., Islam, M., & Begum, R. (2023). Effects of different drying methods on the proximate composition, antioxidant activity, and phytochemical content of *Hibiscus sabdariffa* L. calyx. *Food Chemistry Advances*, 3, 100553. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100553>
- ASTM International. (2024). *ASTM E1755-24. Standard Test Method for Ash in Biomass*. <https://doi.org/10.1520/E1755-24>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Barbosa, D. B. P., Nabel, M., & Jablonowski, N. D. (2014). Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. *Energy Procedia*, 59, 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.357>

- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa* L. - A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165, 424-443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002>
- El-Kinany, R. G., Salama, Y. E., Rozan, M. A., Bayomy, H. M., & Nassar, A. M. K. (2020). Impacts of humic acid, indole butyric acid (IBA) and arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*) as growth promoters on yield and phytochemical characteristics of *Hibiscus sabdariffa* (Roselle). *Alexandria Science Exchange Journal*, 41(1), 29-41. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2020.73036>
- Erb, M., & Kliebenstein, D. J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: The blurred functional trichotomy. *Plant Physiology*, 184(1), 39-52. <https://doi.org/10.1104/pp.20.00433>
- Fosado Quiroz, R. E., Castro Rosas, J., & Gómez Aldapa, C. A. (2021). Producción, composición y usos de la jamaica. *Universitarios Potosinos*, 263(18), 20-25.
- Fonseca, E. P., Valeri, S. V., Migliorança, E., Nicolao, N. A., & Couto C. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26(4), 515-523. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>
- Galicia-Flores, L. A., Salinas-Moreno, Y., Espinoza-García, B. M., & Sánchez-Feria, C. (2008). Caracterización físico-química y actividad antioxidante de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) nacional e importada. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2), 121-129.
- Hopkins, A. L., Lamm, M. G., Funk, J. L., & Ritenbaugh, C. (2013). *Hibiscus sabdariffa* L. in the treatment of hypertension and hyperlipidemia: A comprehensive review of animal and human studies. *Fitoterapia*, 85, 84-94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.01.003>
- Jaafar, H. Z. E., Ibrahim, M. H., & Karimi, E. (2012). Phenolics and flavonoids compounds, phenylalanine ammonia lyase and antioxidant activity responses to elevated CO₂ in *Labisia pumila* (Myrisinaceae). *Molecules*, 17(6), 6331-6347. <https://doi.org/10.3390/molecules17066331>
- Jankauskienė, J., Laužikė, K., & Kaupaitė, S. (2024). The use of anaerobic digestate for greenhouse horticulture. *Agronomy*, 14(10), 2437. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102437>
- Liu, B., & Zhu, Y. (2007). Extraction of flavonoids from flavonoid-rich parts in tartary buckwheat and identification of the main flavonoids. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 584-587. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.001>
- López-Morales, M. L., Leos-Escobedo, L., Alfaro-Hernández, L., & Morales-Morales, A. E. (2022). Impacto de abonos orgánicos asociados con micorrizas sobre rendimiento y calidad nutracéutica del pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 785-798. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2868>
- Ma, D., Guo, Y., Ali, I., Lin, J., Xu, Y., & Yang, M. (2024). Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 215, 108960. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108960>
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242-257. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>
- Montaño Arango, O., Corona Armenta, J. R., Ortega Reyes, A. O., & Garnica González, J. (2024). La flor de jamaica como producto estratégico para la salud humana en el contexto de México. *Inter Disciplina*, 12(33), 117-142. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2024.33.88242>
- Montero-Castro, K., Montero-Zamora, J., Chaves Phillips, M., Orozco-Ortiz, C., & Araya-Valverde, E. (2024). Caracterización de bacterias ácido-lácticas aisladas de bioinsumos tipo bioles con capacidad productora de compuestos indólicos. *UNED Research Journal*, 16, e5160. <https://doi.org/10.22458/urj.v16i1.5160>
- Mossa, M. M., Gebrekidan, D., Mesele, E., & Kasegn, M. M. (2024). Effectiveness of different bio-fertilizers on growth, yield, and yield attributing characters of faba bean (*Vicia fabae* L.). *Discover Agriculture*, 2, 129. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00153-9>
- Norhayati, Y., Ng, W. H., & Dzemi, M. A. (2019). Effects of organic fertilizers on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) on bris soil. *Malaysian Applied Biology*, 48(1), 177-184.
- Ntinas, G. K., Bantis, F., Koukounaras, A., & Kougiaris, P. G. (2021). Exploitation of liquid digestate as the sole nutrient source for floating hydroponic cultivation of baby lettuce (*Lactuca sativa*) in Greenhouses. *Energies*, 14(21), 7199. <https://doi.org/10.3390/en14217199>
- Pacheco-Coello, F., Ramírez-Azuaje, D., Pinto-Catari, I., Peraza-Marrero, M., & Orosco-Vargas, C. (2019). Comparación de compuestos fenólicos totales en

- Hibiscus sabdariffa* L. Venezuela. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(3), 521-527. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n3.84956>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023, 12 de septiembre). *Chile, cebolla y jitomate, el tricolor de las fiestas patrias: agricultura*. SADER. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/chile-cebolla-y-jitomate-el-tricolor-de-las-fiestas-patrias-agricultura>
- Salinas-Moreno, Y., Zúñiga-Hernández, A. R. E., Jiménez-De la Torre, L. B., Serrano-Altamirano, V., & Sánchez-Feria, C. (2012). Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3), 395-407. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.08.038>
- Secretaría de Economía. (2010). NMX-FF-115-SCFI-2010, Productos agrícolas destinados para consumo humano - flor (cáliz) de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) - especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*, 12 de agosto de 2010. <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-ff-115-scfi-2010/>
- Stoleru, V., Mangalagiu, I., Amăriucăi-Mantu, D., Teliban, G.-C., Cojocar, A., Rusu, O.-R., Burducea, M., Mihalache, G., Rosca, M., Caruso, G., Sekara, A., & Jităreanu, G. (2023). Enhancing the nutritional value of sweet pepper through sustainable fertilization management. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1264999. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1264999>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates.
- Treutter, D. (2005). Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biology*, 7(6), 581-591. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873009>
- Valdez-López, E. N., Ramírez-Moctezuma, E., Sevilla Cervantes, L. J., & Suárez-Diéguez, T. (2019). Cuantificación del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante in-vitro en extractos de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 8(15), 174-179. <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i15.4813>
- Veremeichik, G. N., Grigorochuk, V. P., Subbotin, E. P., Kozhanov, S. O., Tikhonova, O. A., Brodovskaya, E. V., Silantieva, S. A., Subbotina, N. I., Yaroshenko, Y. L., Kulchin, Y. N., & Bulgakov, V. P. (2024). The improvement in the growth and biosynthesis of polyphenols in *Ocimum basilicum* L. plants through simultaneous modulation of light conditions and soil supplementation. *Horticulturae*, 10(12), 1295. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121295>
- Villagómez-Aranda, A. L., Feregrino-Pérez, A. A., García-Ortega, L. F., González-Chavira, M. M., Torres-Pacheco, I., & Guevara-González, R. G. (2022). Activating stress memory: eustressors as potential tools for plant breeding. *Plant Cell Reports*, 41, 1481-1498. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02858-x>
- Villarreal-Ibarra, E. C., Cadenas-González, M. T., Méndez-Morales, F., Bolio-López, G. I., Hernández-Villegas, M. M., Rivera-Torres, N. E., Almenares-López, D., & Rivas Morales, C. (2023). Validación del potencial antioxidante de *Citrus aurantium* en Tabasco, México. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 35(1), 248-259. <https://doi.org/10.33975/riuv.vol35n1.1157>
- World Health Organization. (2007). *WHO Guidelines on Good Manufacturing Practices (GMP) for herbal medicines*. WHO.
- Wu, H., Hao, H., Lei, H., Ge, Y., Shi, H., & Song, Y. (2021). Farm size, risk aversion and overuse of fertilizer: The heterogeneity of large-scale and small-scale wheat farmers in Northern China. *Land*, 10(2), 111. <https://doi.org/10.3390/land10020111>
- Xu, S., Li, J., Baldwin, E. A., Plotto, A., Roskopf, E., Hong, J. C., & Bai, J. (2018). Electronic tongue discrimination of four tomato cultivars harvested at six maturities and exposed to blanching and refrigeration treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 136, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.004>
- Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1567. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01567>
- Yang, Y., Li, L., Wang, X., Yang, B., Ma, W., Jin, H., & Li, Y. (2023). Distinct nitrogen forms shape flavonoid biosynthesis and gene-metabolite networks in *Erigeron breviscapus*. *Agronomy*, 15(3), 755. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030755>