Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

EVALUACIÓN DE EXTRACTOS VEGETALES UTILIZADOS COMO BIOESTIMULANTES EN FRIJOL (PHASEOLUS VULGRIS L.)

EVALUATION OF PLANT EXTRACTS USED AS BIOSTIMULANTS IN COMMON BEAN (PHASEOLUS VULGARIS L.)

Cipriano Fuentes Verduzco
Universidad Autónoma de Sinaloa

Carlos Patricio Sauceda Acosta
Universidad Autónoma de Sinaloa

Jesús del Rosario Ruelas Islas
Universidad Autónoma de Sinaloa

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4.25953

Evaluación de extractos vegetales utilizados como bioestimulantes en frijol (*Phaseolus vulgris* L.)

Cipriano Fuentes Verduzco[1]
ciprianofuentes@favf.mx
https://orcid.org/0000-0003-3593-7170
Universidad Autónoma de Sinaloa - Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte

Carlos Patricio Sauceda Acosta
saucedap@uas.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-7031-5898
Universidad Autónoma de Sinaloa - Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte

Jesús del Rosario Ruelas Islas
chuyitaruelas@favf.mx
https://orcid.org/0000-0002-8833-6929
Universidad Autónoma de Sinaloa - Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte

RESUMEN

La búsqueda de alternativas sostenibles en la agricultura ha impulsado el estudio de bioestimulantes de origen vegetal como alternativas viables para mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El presente trabajo evaluó el efecto de extractos fermentados de hojas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) y cáscaras de plátano (Musa paradisiaca L.) sobre la germinación y el desarrollo vegetativo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). El trabajo se condujo bajo un arreglo de bloques completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Las semillas fueron tratadas con los extractos y sembradas en condiciones controladas, evaluándose variables de germinación, crecimiento, biomasa y contenido de clorofila. Los resultados indicaron que ambos extractos mejoraron significativamente la germinación en comparación con el testigo, (germinación en: Moringa 96%, Plátano: 97.33%, Testigo: 88.67%). El extracto de plátano favoreció significativamente el crecimiento radicular (19.33 cm), así como el volumen de raíz (11 mL) y el contenido de clorofila total (0.99 mg). Por su parte, el extracto de moringa promovió un mayor peso fresco y seco de tallo. Los datos obtenidos evidencian el potencial de los extractos vegetales fermentados como bioestimulantes, destacando efectos diferenciados según el tipo de extracto y variable evaluada.

Palabras clave: biomasa; clorofila; germinación

[1] Autor principal
Correspondencia: ciprianofuentes@favf.mx

Evaluation of plant extracts used as biostimulants in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

ABSTRACT

The search for sustainable alternatives in agriculture has driven the study of plant-based biostimulants as viable options for improving crop growth and development. This study evaluated the effect of fermented extracts of moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves and banana (Musa paradisiaca L.) peels on the germination and vegetative development of common bean (Phaseolus vulgaris L.). The experiment was conducted using a completely randomized block design with three treatments and three replicates. Seeds were treated with the extracts and sown under controlled conditions, and germination, growth, biomass, and chlorophyll content were evaluated. The results indicated that both extracts significantly improved germination compared to the control (germination rates: Moringa: 96%, Banana: 97.33%, Control: 88.67%). Banana extract significantly enhanced root growth (19.33 cm), root volume (11 mL), and total chlorophyll content (0.99 mg). Moringa extract, on the other hand, promoted greater fresh and dry stem weight. The data obtained demonstrate the potential of fermented plant extracts as biostimulants, highlighting differentiated effects depending on the type of extract and the variable evaluated.

Key Words: biomass; chlorophyll; germination

Artículo recibido 20 julio 2026
Aceptado para publicación: 20 agosto 2026

INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea enfrenta grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad, el cambio climático y la degradación del medio ambiente. Ante ello, en la agricultura han surgido diversas estrategias agroecológicas enfocadas en reducir el uso de agroquímicos y promover alternativas más amigables con el entorno. Una de estas estrategias es el uso de bioestimulantes vegetales, los cuales se han convertido en una herramienta clave dentro de la agricultura sostenible.

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) ha demostrado un alto potencial como bioestimulantes debido a su rico contenido en fitohormonas naturales, especialmente citoquininas y auxinas, así como aminoácidos, vitaminas y minerales que promueven el crecimiento vegetal y mejoran la calidad de los cultivos (Rady *et al*., 2013). Por su parte, el plátano (*Musa Paradisiaca*) y sus subproductos agroindustriales contienen compuestos bioactivos como auxinas (ácido indolacético), citoquininas, triptófano y elevadas concentraciones de potasio, los cuales estimulan procesos fisiológicos clave como la división celular, el desarrollo radicular y la síntesis de proteínas (Meena *et al*., 2019; Maitra *et al*., 2022).

Su aplicación no solo mejora e incrementa el rendimiento de los cultivos, sino que también fortalece su tolerancia frente a distintos tipos de estrés, particularmente estrés abiótico como la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas (Abd El-Mageed *et al*., 2017), sin generar efectos negativos en los ecosistemas agrícolas, contribuyendo así a una producción agrícola más resiliente y ecológicamente sostenible (Rouphael & Colla, 2020).

En México y a nivel mundial, el uso de extractos vegetales como bioestimulantes va en aumento debido a sus múltiples beneficios en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos productos naturales, obtenidos a partir de diferentes órganos vegetales como hojas, raíces o semillas, contienen compuestos bioactivos que actúan sobre el metabolismo vegetal, promoviendo el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y la resistencia frente a factores abióticos y bióticos (Du Jardin, 2015; Bulgari *et al.,* 2019).

La eficacia de estos extractos radica en su compleja matriz fitoquímica que actúa a muy bajas concentraciones como moduladora de procesos fisiológicos. Estos "compuestos bioactivos" son una sinergia de múltiples familias de moléculas, que incluyen: a) fitohormonas y precursores (auxinas, giberelinas, citoquininas), b) compuestos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos) que actúan como antioxidantes, c) aminoácidos, péptidos y minerales específicos como el potasio (K) y el calcio (Ca),

fundamentales en la osmorregulación y la señalización celular. Su efecto bioestimulante surge de la interacción sinérgica de estos componentes, que activan rutas de señalización en la planta, optimizando su metabolismo (Du Jardin, 2015).

Con diversas investigaciones se han documentado el impacto positivo de los extractos de Moringa, plátano, en la fisiología vegetal. Según Calvo *et al.* (2014) y Rouphael & Colla (2020), los bioestimulantes mejoran el rendimiento de los cultivos y fortalecen la capacidad de las plantas para adaptarse a condiciones adversas. Su aplicación es una práctica orgánica de bajo costo, accesible para pequeños y medianos productores, con los principios de la agroecología promovidos por organismos como la FAO (2018). Diversos estudios señalan que los bioestimulantes influyen en el desarrollo vegetativo, al actuar directamente sobre el sistema radicular y en general sobre la fisiología de los cultivos de acuerdo con y Ertani *et al.* (2013), estos productos pueden considerarse una forma complementaria de fertilización, favorece el desarrollo del cultivo en todas sus etapas.

El uso de los bioestimulantes es una alternativa prometedora al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos, contribuyendo a una agricultura más limpia y eficiente (Yakhin *et al*., 2017; Soppelsa *et al.,* 2018). La necesidad de aplicar de prácticas agrícolas sostenibles ha motivado investigaciones orientadas a comprender los mecanismos de acción de los bioestimulantes, su eficacia comparativa y el desarrollo de formulaciones comerciales más eficientes (Rouphael *et al.,* 2017; Ahmad *et al.,* 2017; Xu & Geelen, 2018).

A pesar del consenso sobre sus beneficios, un desafío científico clave es la variabilidad y especificidad de la respuesta. El perfil fitoquímico de un bioestimulante vegetal no es universal; varía según la especie de origen, el órgano utilizado y el método de extracción (Yakhin *et al*., 2017). Por ejemplo, un extracto de hoja (como *Moringa*) puede ser rico en citoquininas, promoviendo el desarrollo del vástago, mientras que un extracto de residuo frutal fermentado (como cáscara de plátano) puede ser rico en auxinas y potasio, promoviendo la rizogénesis. Por lo tanto, no todos los extractos son funcionalmente equivalentes y existe una brecha de conocimiento en cómo estos perfiles distintos se traducen en efectos fisiológicos comparativos y en la modulación específica del balance raíz/vástago.

Un establecimiento deficiente en esta etapa temprana, particularmente un sistema radicular pobre, define negativamente el potencial de rendimiento final del cultivo. En condiciones de producción comercial,

especialmente en suelos compactados o bajo estrés hídrico, la raíz del frijol tiende a presentar un crecimiento superficial y una limitada exploración del perfil del suelo, lo que restringe la absorción de fósforo y agua (Beebe *et al.,* 2013). Esta debilidad estructural temprana impide que la planta soporte la demanda de biomasa durante la floración y el llenado de vaina.

Por lo anterior, y dada la necesidad de caracterizar los efectos específicos de diferentes fuentes de bioestimulantes, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de extractos vegetales de moringa y plátano sobre la germinación y el desarrollo vegetativo temprano del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Lo anterior con el propósito de aportar evidencia científica que permita diseñar estrategias de manejo diferenciado, donde el uso de estos extractos sirva como una herramienta tecnológica accesible para mitigar los efectos del estrés ambiental y optimizar el vigor inicial del cultivo en sistemas de agricultura sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en el ciclo otoño – invierno 2023-2024, en las instalaciones del laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, perteneciente a la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), ubicada en el municipio de Juan José Ríos, Sinaloa, México.

Material vegetal

Se utilizó semilla de frijol variedad "Reyna", para las pruebas de germinación y establecimiento del ensayo en macetas.

Preparación de los extractos vegetales (bioestimulantes)

La preparación de los extractos se basó en la publicación de Foidl *et al.* (2001), así como en el manual de agricultura orgánica de Restrepo & Pinheiro (2009)

Se recolectó 1 kg de hojas frescas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) y 1 kg de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*). Cada material se colocó por separado en cubetas de 20 L, añadiendo 10 L de agua de lluvia a cada una. Los recipientes se cubrieron y se equiparon con trampas de aire (válvulas *airlock*) para facilitar un proceso de fermentación. Las mezclas se agitaron manualmente una vez al día.

Transcurridos 10 días de fermentación, los contenidos fueron filtrados (colados) para separar la fracción líquida (extracto fermentado) de la biomasa sólida residual. Los extractos líquidos resultantes se

almacenaron en recipientes herméticos, en un lugar oscuro sin que les diera de la luz y fresco para su posterior utilización en los ensayos.

Ensayo de germinación y crecimiento de radícula

Se realizó una prueba de germinación bajo condiciones controladas para evaluar el efecto de los extractos. Se establecieron tres tratamientos: T1) Extracto de Moringa, T2) Extracto de Plátano, y T3) Testigo (agua destilada) y tres repeticiones por tratamiento, utilizando un diseño de bloques completos al azar.

Se utilizaron 100 semillas por réplica para cada tratamiento. Las semillas se sumergieron durante 10 minutos en la solución correspondiente (extracto de moringa, naranja, plátano y agua destilada), al terminar los 10 minutos se colocaron sobre servilletas de papel humedecidas con la solución de cada extracto utilizado. Las unidades se incubaron en una cámara de germinación marca Novatech, (modelo CA-550) a temperatura controlada de 25 °C y una humedad relativa del 80%.

El conteo de semillas germinadas (emergencia de radícula) se inició al tercer día y se continuó cada 72 horas se calculó el porcentaje de germinación y se midió la longitud de radícula (cm) de las plántulas.

Ensayo en macetas y desarrollo vegetativo

El ensayo vegetativo se estableció en bolsas de polietileno (20 x 30 cm), utilizando una bolsa por repetición, utilizando arena de río previamente lavada como sustrato estéril, se utilizó solo arena con la finalidad de que no interfiriera ningún nutriente en los resultados. A los 15 días después de la germinación (DDG), se inició la aplicación foliar de los extractos (Moringa, Plátano) con una dosis del 100 por ciento, y el testigo (agua), mediante aspersión. Las aplicaciones se realizaron cada tres días, continuando hasta el inicio de la etapa de floración.

Variables morfométricas y fisiológicas

Al finalizar el periodo de aplicación (inicio de floración), se tomaron las siguientes mediciones:

Altura de planta (cm): Se midió con una cinta métrica desde el cuello de la planta hasta el ápice foliar.

Diámetro de tallo (mm): Se midió en la base del tallo utilizando un vernier digital (marca Truper®).

Contenido de clorofila: Se cuantificó siguiendo la metodología espectrofotométrica de Arnon (1949). Se tomaron 0.2 g de tejido foliar fresco por repetición, macerándolos con acetona al 80% (v/v). El extracto filtrado se analizó en un espectrofotómetro visible (CGOLDENWALL, modelo 721) a

longitudes de onda de 663 nm (Clorofila a) y 645 nm (Clorofila b). Se realizaron lecturas por triplicado para cada repetición y se calcularon las concentraciones de Clorofila "a", "b" y Total.

Variables de biomasa y volumen radicular

Para la evaluación de biomasa, las plantas se seccionaron en sus componentes aéreos (hojas y tallos) y subterráneos (raíz).

Peso fresco (PF) y seco (PS): Las hojas y tallos se pesaron por separado en una balanza analítica (marca Sartorius) para obtener el peso fresco en gramos (g). Inmediatamente después, el material se colocó en bolsas de papel estraza perforadas y se introdujo en una estufa de secado con ventilación forzada (marca ECOSHEL) a 70 °C durante 72 horas, o hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, se registró el peso seco.

Volumen de raíz (mL): Se determinó mediante el método de desplazamiento de agua. Se utilizó una probeta graduada con un volumen conocido de agua destilada; se introdujo la raíz (previamente lavada y limpia) y el volumen de agua desplazado se registró como el volumen de la raíz en mililitros.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA). Se evaluaron tres tratamientos (T1: Moringa, T2: Plátano, T3: Testigo), y cada tratamiento contó con tres repeticiones cada unidad experimental contaba con tres plantas, las cuales se midieron.

Los datos obtenidos para cada variable fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). Para aquellas variables donde se detectaron diferencias estadísticas significativas, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Germinación y crecimiento radicular

La aplicación de los extractos vegetales de moringa y plátano fermentado tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) sobre las variables de germinación y longitud de raíz en plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad "Reyna".

El análisis de medias (tabla 1) revela que el tratamiento con extracto de plátano fermentado alcanzó el mayor porcentaje de germinación (97.33%), mostrando una diferencia estadística superior al tratamiento testigo (88.67%). Por su parte, el extracto de moringa (96 %) arrojó un valor intermedio que no presentó

diferencias significativas ni con el tratamiento de plátano ni con el testigo (Duncan, α = 0.05). La variabilidad en esta variable fue baja, como lo indica el coeficiente de variación (CV) de 4.15%.

El efecto más notable de los tratamientos se observó en la variable de longitud de raíz (tabla 1). El extracto de plátano fermentado indujo una elongación radicular significativamente mayor (19.33 cm) en comparación con el resto de los tratamientos. Este valor representa un incremento superior 19.33 cm (más del doble) con respecto a la longitud registrada en el tratamiento testigo (6.33 cm).

En contraste, el extracto de moringa (6.17 cm) no mostró ningún efecto bioestimulante sobre esta variable, arrojando un resultado estadísticamente igual al del testigo. Esta variable presentó una dispersión de datos considerablemente mayor, con un CV de 27.61%, en comparación con la variable de germinación con un CV de 4.15%.

Tabla 1. Efecto de extractos vegetales sobre la germinación (%) y longitud de raíz (cm) en frijol variedad "Reyna".

Extractos vegetales	Germinación (%)	Largo raíz (cm)
Moringa	96 ± 1.15^{ab}	6.17 ± 0.83^{b}
Plátano	97.33 ± 0.33^{a}	19.33 ± 0.67^{a}
Testigo	88.67 ± 3.7^{b}	6.33 ± 2.73^{b}
CV (%)	4.15	27.61

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Duncan $P > 0.05$).

Biomasa aérea y volumen radicular

El análisis de varianza de los datos de biomasa y volumen radicular (tabla 2) reveló efectos estadísticamente significativos de los extractos vegetales, aunque estos efectos fueron específicos para diferentes órganos de la planta.

Se encontraron diferencias altamente significativas (p=0.0025) en la acumulación de biomasa del tallo, tanto en peso fresco (PFT) como en peso seco (PST). El tratamiento con extracto de moringa indujo la mayor acumulación de biomasa en el tallo, registrando 4.07 g de PFT y 0.74 g de PST. Estos valores fueron estadísticamente superiores (Duncan, $P > 0.05$) a los obtenidos con el extracto de plátano (2.58 g PFT; 0.47 g PST) y el tratamiento testigo (2.14 g PFT; 0.44 g PST). Es notable que el extracto de plátano y el testigo no mostraron diferencias significativas entre sí para estos dos parámetros.

En contraste, las variables de peso fresco y peso seco de hojas no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre ninguno de los tratamientos. Cabe destacar la alta variabilidad observada en estas mediciones foliares, reflejada en coeficientes de variación (CV) superiores al 44%.

En cuanto el volumen de raíz también mostró una respuesta diferencial significativa a los tratamientos. El extracto de cáscaras de plátano fue el que promovió el mayor desarrollo radicular, alcanzando un volumen de 11 mL. Este valor fue estadísticamente superior al tratamiento testigo, que solo registró 2.67 mL (tabla 2). El extracto de moringa, con 8 mL, arrojó un valor intermedio que no fue estadísticamente diferente ni del tratamiento de plátano ni del testigo. Similar a las variables foliares, el volumen de raíz presentó una alta dispersión de datos (tabla 2) (CV = 52.62%).

Tabla 2: efecto de extractos vegetales en el contenido de biomasa.

Extractos vegetales	Peso fresco(g) tallo	Peso seco (g) tallo	Peso fresco (g) hojas	Peso seco (g) hojas	Volumen raíz (mL)
Moringa	4.07 ±0.38 [a]	0.74 ±0.60 [a]	1.45 ±0.60 [a]	0.22± 0.07 [a]	8.00 ± 3.46 [ab]
Plátano	2.58 ±0.09[b]	0.47± 0.01[b]	1.71 ±0.15 [a]	0.27 ± 0.02[a]	11.00 ± 1.00 [a]
Testigo	2.14 ±0.10[b]	0.44 0.02[b]	1.80 ±0.58 [a]	0.27 ±0.09[a]	2.67± 1.20 [b]
CV (%)	13.72	12.24	51.16	44.94	52.62

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Duncan $P > 0.05$).

Contenido de clorofila

El análisis del contenido de clorofila en el tejido foliar reveló efectos estadísticamente significativos de los tratamientos (tabla 3). Se observaron diferencias significativas en las concentraciones de clorofila "a" y clorofila total, mientras que la clorofila "b" no mostró variación estadística.

Para la clorofila "a", el extracto de moringa (0.52 mg) y el tratamiento testigo (0.48 mg) conformaron el grupo estadístico superior (a). Ambos tratamientos registraron concentraciones significativamente

mayores que las obtenidas con el extracto de plátano (0.36 mg), que mostró el valor más bajo (b), comparado con el testigo este es significativamente diferente al extracto de plátano en el contenido de clorofila “a”.

Este mismo patrón de respuesta se observó en la Clorofila total. Los tratamientos de moringa (0.99 mg) y testigo (0.90 mg) fueron estadísticamente iguales entre sí (a) y superiores al tratamiento con plátano (0.79 mg, b).

En cuanto a la Clorofila "b", el análisis estadístico no detectó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ninguno de los tratamientos aplicados (Moringa 0.46 mg, Plátano 0.42 mg y Testigo 0.41 mg).

La confiabilidad de estos datos se ve respaldada por los bajos coeficientes de variación (CV) obtenidos para la Clorofila "a" (8.63%) y la Clorofila "b" (10.19%).

Tabla 3. Efecto de extractos vegetales en el contenido de clorofila en hojas de frijol.

Extractos vegetales	Clorofila “a” (mg)	Clorofila “b” (mg)	Clorofila total (mg)
Moringa	0.52 ± 0.3a	0.46± 0.01 a	0.99± 0.02 a
Plátano	0.36 ±0.01b	0.42 ± 0.03 a	0.79± 0.04b
Testigo	0.48 ±0.04a	0.41 ± 0.02a	0.900.05 a
CV (%)	8.63	10.19	11.20

(Medias con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan $P < 0.05$)

Resulta particularmente interesante el hecho de que el tratamiento con plátano, a pesar de su éxito radicular, registrara los niveles más bajos de Clorofila "a" y total (0.36 mg y 0.79 mg, respectivamente), incluso por debajo del testigo. Este fenómeno podría explicarse como un efecto de "dilución de nutrientes" o una "redistribución de recursos". Es posible que la inducción de un sistema radicular tan extenso y metabólicamente demandante en las primeras etapas de la plántula haya generado un "efecto sumidero" prioritario, desviando recursos (como nitrógeno y magnesio, componentes clave de la clorofila) hacia la raíz en detrimento del desarrollo foliar inmediato. Esto sugiere que, si bien el plátano es un excelente promotor del establecimiento radicular, su aplicación podría requerir un complemento nutricional para sostener el desarrollo aéreo simultáneo.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio revelan que los extractos vegetales de moringa y plátano fermentado actúan como bioestimulantes, pero con modos de acción fisiológicos marcadamente diferenciales y específicos sobre los órganos de las plántulas de frijol. En general, los hallazgos son consistentes con la literatura que atribuye a los extractos vegetales la capacidad de activar rutas fisiológicas clave para el crecimiento (Du Jardin, 2015; Calvo *et al*., 2014). Sin embargo, la divergencia en sus efectos, el plátano promueve el sistema radicular mientras que el extracto de hojas de moringa promueve el área foliar, esto sugiere perfiles fitoquímicos distintos que modulan el balance hormonal de la planta.

El hallazgo más significativo del estudio fue el potente efecto rizogénico del extracto de plátano fermentado. Este tratamiento no solo mejoró el porcentaje de germinación (97.33%, Tabla 1), sino que indujo un crecimiento de la raíz primaria (19.33 cm) y un volumen radicular (11 mL) que triplicaron y cuadruplicaron, respectivamente, a los del grupo testigo (Tablas 1 y 2). Este efecto dual sobre la elongación y el volumen sugiere una estimulación integral del sistema radicular. Esto se puede deber a que los residuos de plátano, especialmente tras un proceso de fermentación, son ricos en precursores de auxinas (como el triptófano) y en auxinas sintetizadas por la microbiota del fermento, además de compuestos fenólicos y una alta concentración de potasio (Yakhin *et al*., 2017; Maitra *et al.,* 2022). Las auxinas son la principal hormona implicada en la diferenciación del meristemo apical de la raíz y la elongación celular, mientras que el potasio es fundamental para mantener la turgencia celular que impulsa dicha elongación. Por lo tanto, es altamente probable que el extracto de plátano haya proporcionado una señal hormonal auxínica que, potenciada por la disponibilidad de potasio, resultó en el masivo desarrollo radicular observado.

El extracto de moringa se manifestó claramente en la parte área promoviendo la mayor acumulación de peso fresco (4.07 g) y seco (0.74 g) del tallo (tabla 2). Este comportamiento es un indicador clásico del balance hormonal Auxina/Citoquinina. Los extractos de moringa son mundialmente reconocidos por su alto contenido de zeatina, una citoquinina de alta actividad biológica (Rady *et al,* 2013). Fisiológicamente, las citoquininas promueven la división celular (citocinesis) y el desarrollo de yemas axilares y el vástago (callogénesis), a menudo inhibiendo el crecimiento de la raíz primaria (Rouphael

& Colla, 2020). Los resultados de este estudio son un claro reflejo de este principio, el extracto de moringa es rico en citoquininas y favoreció la biomasa del tallo.

Esta especialización fisiológica también se extendió al aparato fotosintético. Las plantas tratadas con moringa mostraron resultados estadísticamente iguales al testigo, con concentraciones de Clorofila "a" (0.52 mg) y Clorofila total (0.99 mg) (tabla 3). Este incremento en pigmentos, correlacionado con el aumento en la biomasa del tallo, sugiere una mayor eficiencia fotosintética o un mejor estado fisiológico de la parte aérea. Las citoquininas no solo están implicadas en la biosíntesis de pigmentos, sino que también son conocidas por su "efecto antisenescencia" (retraso del envejecimiento foliar), lo que puede contribuir a mantener una maquinaria fotosintética más robusta (Bulgari *et al*., 2019). Este hallazgo concuerda con lo descrito por Arnon (1949), quien señaló la sensibilidad de los niveles de clorofila a la aplicación de compuestos bioactivos.

El análisis de los pigmentos fotosintéticos mostró datos que contrastan entre sí. El tratamiento con moringa (*Moringa oleífera*) mantuvo niveles de clorofila “a”, “b” y total estadísticamente iguales al testigo, pero estos son superiores en valores absolutos (0.99 mg de clorofila total). Este comportamiento sugiere que la moringa actúa como un bioestimulantes que preserva la integridad del aparato fotosintético. Según Rady & Mohamed (2015), el extracto de hoja de moringa es rico en zeatina, una citoquina natural que retrasa la senescencia foliar y estimula la biosíntesis de clorofila al incrementar la disponibilidad de precursores metabólicos.

Por otra parte, el extracto de plátano (*Musa paradisiaca*) mostro una disminución significativa en la concentración de clorofila “a” (0.36 mg) y clorofila total (0.79 mg) en comparación con el testigo y la moringa.

Esto sugiere que, si bien el plátano es un excelente promotor del establecimiento radicular, su aplicación podría requerir un complemento nutricional para sostener el desarrollo aéreo simultáneo.

Finalmente, la ausencia de diferencias significativas en la biomasa foliar (peso fresco y seco de hojas) entre todos los tratamientos (tabla 2) merece atención. Segundo, y más probable, que el tiempo de evaluación fue insuficiente para que los efectos primarios (en raíz y tallo) se tradujeran en una acumulación diferencial de biomasa foliar (Ertani *et al.,* 2013). Es plausible que los efectos de los

extractos sobre la arquitectura de la planta (balance raíz/vástago) y la eficiencia fotosintética (clorofila) se manifiesten en el rendimiento foliar en etapas fenológicas posteriores (Rouphael *et al.,* 2017).

En conclusión, los extractos de moringa y plátano fermentado no son intercambiables; actúan como herramientas bioestimulantes especializadas. El extracto de plátano se perfila como un potente agente rizogénico, ideal para las etapas de germinación y establecimiento del cultivo, mientras que el extracto de moringa actúa como un promotor del crecimiento vegetativo aéreo, mejorando la biomasa del tallo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian el efecto positivo de los extractos vegetales fermentados de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) y cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.) sobre la germinación y el desarrollo vegetativo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Con el trabajo realizado se puede concluir que los extractos fermentados de *Moringa oleifera* y *Musa paradisiaca* poseen propiedades bioestimulantes diferenciadas que optimizan etapas específicas del desarrollo temprano en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Ambos extractos vegetales mejoraron significativamente la capacidad de germinación en comparación al testigo, se destaca el extracto de plátano con un mayor por ciento (97.33%), realzando al extracto de plátano como un tratamiento en presiembra para establecer el establecimiento del cultivo.

Por otra parte, el extracto de plátano mostro ser un potente inductor de raíces, al incrementar la longitud de raíz primaria y por lo tanto el volumen de la radicular respecto al testigo. Mostrando ser una alternativa eficaz en la exploración del suelo y absorción de agua.

El extracto de moringa mostró un potencial logrando incrementar el peso fresco y seco del tallo en comparación con el plátano y el testigo. Esto indica su potencial para fortalecer la estructura de soporte de la planta.

En cuanto a la respuesta de pigmentación y fisiológica el extracto de plátano mostro una reducción significativa en el contenido de clorofila “a” y total en comparación al testigo y moringa, esto indica una partición de los recursos priorizando el sistema radicular.

Finalmente, no se observaron efectos significativos en la altura de planta, diámetro de tallo ni biomasa en esta etapa fenológica, determinando que los bioestimulantes utilizados son específicos extracto de plátano para raíz y extracto de moringa para tallo en establecimiento temprano. Los extractos evaluados

no son intercambiables el de plátano es para el establecimiento radicular y el de moringa mejora la robustez del tallo, ofreciendo herramientas biotecnológicas de bajo costo para una agricultura de transición agroecológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Mageed, T. A., Semida, W. M., Mohamed, G. F., & Rady, M. M. (2017). Combined effect of foliar-applied salicylic acid and deficit irrigation on physiological–anatomical responses, and yield of squash plants under saline soil. *South African Journal of Botany*, 106, 8-16. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.005

Ahmad, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Alam, P., Ahanger, M. A., & Alamri, S. A. (2017). Jasmonic acid alleviates negative impacts of cadmium stress by modifying osmolytes and antioxidants in faba bean (*Vicia faba* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(13), 1889–1899. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1313406

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Beebe, S. E., Rao, I. M., Blair, M. W., & Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4, 35. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035

Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, *9*(6), 306. https://doi.org/10.3390/agronomy9060306

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021

Ertani, A., Cavani, L., Pizzeghello, D., Brandellero, E., Altissimo, A., Ciavatta, C., & Nardi, S. (2009). Biostimulant activity of two protein hydrolysates in the growth and nitrogen metabolism of

maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 237-244. https://doi.org/10.1002/jpln.200800174

FAO. (2018). *The 10 elements of agroecology: Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf

Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001). The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In L. J. Fuglie (Ed.), *The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa* (pp. 45-76). CTA Publication.

Maitra, S., Brestic, M., Bhadra, P., Shankar, T., Praharaj, S., Palai, J. B., ... & Hossain, A. (2022). Bioinoculants—Natural biological resources for sustainable plant production. *Microorganisms*, 10(1), 51. https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051

Meena, M., Divyanshu, K., Kumar, S., Swapnil, P., Zehra, A., Shukla, V., ... & Upadhyay, R. S. (2019). Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, 3(12), e00467. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02952

Rady, M. M., & Mohamed, G. F. (2015). Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and Moringa leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 193, 105-113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003

Rady, M. M., Varma, C. B., & Howladar, S. M. (2013). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in Moringa leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 162, 63-70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.046

Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2009). *Abonos orgánicos fermentados: Experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil* (2ª ed.). CEDECO.

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040

Rouphael, Y., Colla, G., Giordano, M., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., & De Pascale, S. (2017). Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth,

leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, 226, 353-360. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.007

Soppelsa, S., Kelderer, M., Casera, C., Baur, P., & Matteazzi, A. (2018). Use of Biostimulants for Organic Apple Production: Effects on Tree Growth, Yield, and Fruit Quality at Harvest and During Storage *frontier in Plant Science*, 9, 1–17. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01342

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