

Uso de bioinsumos vegetales en sistemas agrícolas: efecto de *Plantago lanceolata* sobre el establecimiento de cultivos básicos

Use of plant bioinputs in agricultural systems: effect of *Plantago lanceolata* on the establishment of staple crops

Claudia Itzel Romo-Serrano ^a, Antonio de Jesus Cenobio-Galindo ^a, Ana Karen Zaldivar-Ortega ^a, Edgar Omar Rueda-Puente ^b, Eliazar Aquino-Torres ^a, Iridiam Hernández-Soto ^{a*}

Abstract:

Bean (*Phaseolus vulgaris*) and pumpkin (*Cucurbita pepo*) cultivation is vital for food security; however, it requires sustainable alternatives to synthetic fertilizers. The objective of this study was to evaluate the biostimulant effect of aqueous extracts of plantain (*Plantago lanceolata*) on germination and initial vegetative development of both species in Tulancingo de Bravo. A completely randomized design was used with five treatments: a control, a chemical (GIBIOTIC), and three extract concentrations (1%, 2%, and 3% w/v). The results showed that the *P. lanceolata* extract acts in a dose-dependent manner. In beans, the 1% and 3% doses significantly exceeded the chemical control in the germination rate from the third day onwards. In pumpkin, the 1% concentration increased stem diameter (1.13 times) and root length (1.10 times) compared to the control, whereas the higher dose (3%) inhibited aerial biomass. The 1% aqueous extract of *P. lanceolata* is an effective biostimulant that improves initial vigor and root architecture, representing an agroecological alternative with low environmental impact for regional producers.

Keywords:

Plant growth, Weeds, Agroecological, Sustainability, Organic agriculture.

Resumen:

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y de calabaza (*Cucurbita pepo*) es vital para la seguridad alimentaria; sin embargo, requiere alternativas sostenibles a los fertilizantes sintéticos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto bioestimulante de los extractos acuosos de llantén menor (*Plantago lanceolata*) sobre la germinación y el desarrollo vegetativo inicial de ambas especies en Tulancingo de Bravo. Se empleó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos: un testigo, un químico (GIBIOTIC) y tres concentraciones del extracto (1%, 2% y 3% p/v). Los resultados mostraron que el extracto de *P. lanceolata* actúa de forma dependiente de la dosis. En frijol, las dosis de 1% y 3% superaron significativamente al control químico en la tasa de germinación desde el tercer día. En calabaza, la concentración del 1% incrementó el diámetro del tallo (1,13 veces) y la longitud radicular (1,10 veces) respecto al testigo, mientras que dosis superiores (3%) mostraron efectos inhibitorios sobre la biomasa aérea. Se concluye que el extracto acuoso de *P. lanceolata* al 1% actúa como un bioestimulante eficaz para mejorar el vigor inicial y la arquitectura radicular, lo que representa una alternativa agroecológica y de bajo impacto ambiental para los productores regionales.

Palabras Clave:

Crecimiento vegetal, arvenses, agroecológico, sustentabilidad, agricultura orgánica

^a Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad Km 1 Rancho Universitario, Tulancingo 43600, Hidalgo, México. ro425377@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-6404-4331>; antonio_cenobio@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-3098-0487>, ana_saldivar@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-0436-8473>, eaquino@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1787-6570>

^b Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Boulevard Luis Encinas y Rosales s/n, Colonia Centro, Hermosillo 83000, Sonora, México. edgar.rueda@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9724-0558>

^{a*} Autor de correspondencia: iridiam_hernandez@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-0307-1651>

1. Introducción

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y de calabaza (*Cucurbita pepo*) constituye un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y la economía de las zonas rurales, además de representar especies clave en la alimentación nacional y en la agrobiodiversidad [1]. Estas especies forman parte de una tradición agrícola que sustenta a numerosas familias; sin embargo, actualmente enfrentan desafíos productivos asociados a la degradación del suelo y a los efectos del cambio climático [2]. Ante la necesidad de adoptar modelos de producción más sostenibles, los bioproductos agrícolas han surgido como una alternativa biotecnológica capaz de reducir el uso de fertilizantes sintéticos. Dichos compuestos pueden modificar los procesos fisiológicos de las plantas, favoreciendo la absorción de nutrientes y aumentando la tolerancia al estrés abiótico y biótico. Entre las fuentes naturales con mayor potencial, destacan los derivados de extractos vegetales procedentes de especies silvestres, debido a su baja huella ambiental y a su amplia disponibilidad [3].

Dentro de estas especies, el llantén menor (*Plantago lanceolata*), una herbácea distribuida globalmente, presenta un perfil bioquímico rico en compuestos bioactivos, entre ellos polifenoles, iridoides y polisacáridos [4]. Diversos estudios señalan que estos metabolitos secundarios no solo poseen aplicaciones medicinales, sino que también actúan como fitohormonas naturales capaces de estimular la germinación y el crecimiento radicular [5]. La aplicación de derivados de esta especie en cultivos básicos, como el frijol y la calabaza, representa una oportunidad para fortalecer la agricultura sustentable. Además, permite evaluar el impacto del extracto de *Plantago lanceolata* en estas especies, aprovechando recursos locales para mejorar el vigor de las plántulas y la resiliencia de los sistemas agrícolas regionales, en concordancia con las tendencias actuales de producción orgánica y de economía circular. En este contexto, la presente investigación tuvo como finalidad determinar las dosis óptimas de aplicación de un bioproducto elaborado a base de llantén menor en los cultivos de *Cucurbita pepo* y *Phaseolus vulgaris*. Mediante este análisis, se buscó validar su eficacia en la germinación y en el

desarrollo radicular inicial, aportando evidencia que respalde su uso como alternativa agroecológica viable para los productores.

2. Materiales y métodos

2.1 Ubicación del experimento

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, en un invernadero con cubierta de polietileno. La fase de germinación se realizó en condiciones de incubación, utilizando 10 charolas de polietileno de 200 cavidades cada una. Se sembraron un total de 500 semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y 500 de calabaza (*Cucurbita pepo*), adquiridas en una tienda comercial de agroquímicos, de la marca Hortaflor®, las cuales se mantuvieron en oscuridad total a una temperatura constante entre 18 y 22 °C.

2.2 Obtención y preparación del bioproducto

Se recolectaron ejemplares de llantén menor (*Plantago lanceolata*) en su etapa vegetativa, en las parcelas experimentales del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP). El material vegetal se sometió a un proceso de secado inicial a temperatura ambiente durante 24 horas, seguido de un secado en estufa a 50 °C durante 72 horas. Una vez deshidratado, el follaje se fragmentó en trozos menores de 3 cm y se procesó mediante licuación en agua (aprox. 10 s) para obtener un extracto al 15% p/v, evitando la pulverización total del material. La mezcla resultante se mantuvo en reposo durante 48 horas en recipientes de vidrio herméticos. Posteriormente, se filtró a través de papel de filtro n.º 5 para separar la fase sólida, y se recuperó y se almacenó el sobrenadante (fase líquida filtrada) a 3 °C en refrigeración, que se utilizó como solución madre. Esta decisión se fundamenta en que, en extractos acuosos, los compuestos bioactivos de interés (principalmente metabolitos secundarios hidrosolubles, como compuestos fenólicos, flavonoides, polisacáridos, aminoácidos libres y ácidos orgánicos) se solubilizan preferentemente en la fase líquida, mientras que la fracción sólida residual está compuesta mayoritariamente por material estructural no extraído [6,7]. A partir de esta solución madre, se prepararon diluciones al 1,0%, 1,5% y 2,0% p/v, determinándose en cada una el pH

y la conductividad eléctrica. Como tratamiento de control, se utilizó agua destilada y, en todas las aplicaciones, se añadió un adhesivo natural (QP 500) para optimizar la fijación foliar.

2.3 Establecimiento del cultivo, manejo del sustrato aplicación de tratamientos

Para el inicio de la fase experimental, se elaboró una mezcla homogénea de sustrato compuesta por perlita (30%), peat moss (30%), turba (30%) y humus de lombriz (10%), según las proporciones recomendadas por [8]. Este sustrato se distribuyó en 10 charolas de germinación de polietileno y se hidrató con agua común hasta alcanzar una humedad uniforme, sin saturación. Las charolas se etiquetaron para identificar cinco tratamientos: un testigo (sin aplicación), un control químico (GIBIOTIC®) y tres concentraciones de extracto vegetal (1%, 2% y 3%).

Tras la siembra, se realizó un monitoreo diario de la emergencia. La emergencia de plántulas es el proceso mediante el cual las plantas jóvenes, o plántulas, aparecen en la superficie del suelo tras la germinación [9]. El trasplante se realizó a los 10 días en el frijol y a los 12 días en la calabaza, considerando que las plántulas contarán con sus 3-4 primeras hojas verdaderas y una altura de 15 a 20 cm [10]. Para esta etapa, se preparó un sustrato de crecimiento con tierra de jardín comercial (50%), abono orgánico (20%), perlita (15%) y aserrín (15%), siguiendo las recomendaciones de [8], con algunas modificaciones. Se seleccionaron al azar 50 plántulas de cada cultivo (10 por tratamiento) y se trasladaron a 100 bolsas de polietileno de 4 L, previamente llenadas con la mezcla homogeneizada. Las unidades experimentales se distribuyeron aleatoriamente en el área. Una vez finalizado el trasplante, se aplicó un riego manual inicial abundante (1 L de agua por planta) con agua destinada. Semanalmente, las plantas se regaron durante tres días, aplicando 500 mL de agua por planta y ajustando el volumen de riego según las condiciones de temperatura ambiental. El riego se realizó manualmente. Durante el periodo experimental, se registraron una temperatura promedio de 22 °C y una humedad relativa promedio de 54 %. En la parte de nutrición, se utilizó una solución nutritiva Steiner ajustada a cada etapa

fenológica del cultivo: 25% para el desarrollo vegetativo y 50% para la floración [11].

Las dosis de los tratamientos se aplicaron por aspersión foliar, dos veces por semana, a una dosis de 5 mL por planta. Para el tratamiento químico, se siguieron las especificaciones del producto GIBIOTIC®, disolviendo 1.2% p/v en frijol y 2.4% p/v en calabaza, de acuerdo con la metodología propuesta por [12].

2.4 Variables de estudio

Se utilizó el diseño completamente al azar. Se emplearon 3 aplicaciones durante la germinación y 6 tras el trasplante. A cada charola se le evaluaron, desde el día 1 después de la siembra, los parámetros de germinación, entre ellos el porcentaje de germinación (%). Posteriormente, 90 días después de la siembra, se evaluó el crecimiento de las plántulas: altura de la plántula (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, peso fresco aéreo y radicular (g), y longitud de la raíz (cm).

2.5 Análisis estadístico

Los resultados de los parámetros fueron evaluados mediante un análisis de varianza y una prueba de medias LSD (Diferencia Mínima Significativa) de Fisher ($\alpha \geq 0,05$). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron con el software Infostat 2020.

3. Resultados

3.1 Cultivo de frijol

Los resultados para la variable de germinación indicaron que, en el cultivo de frijol (Figura 1), durante los primeros dos días no hubo germinación; al día 3, el tratamiento con llantén al 2% presentó una germinación 2,70 veces mayor que la del tratamiento control y 0,8 veces superior a la del tratamiento GIBIOTIC. Al día 4, el tratamiento con llantén al 1% mostró una germinación 3,40 veces mayor que la del control y 2,20 veces superior a la del tratamiento GIBIOTIC. Para el día 5, la concentración al 3% incrementó la germinación en 0,4 veces respecto al tratamiento de control y en 0,24 veces respecto a GIBIOTIC®. En el día 6, el

tratamiento con llantén al 1% mostró un incremento de 0,55 veces respecto al control y una germinación 3,33 veces mayor que con el tratamiento GIBIOTIC. En el día 7, el tratamiento con llantén al 1% presentó una germinación 3 veces superior a la del tratamiento de control y 16 veces mayor que la del tratamiento GIBIOTIC. Finalmente, el día 8, el tratamiento con llantén al 1% mostró una germinación 2,50 veces mayor que la del control y 5,50 veces superior a la de GIBIOTIC®.

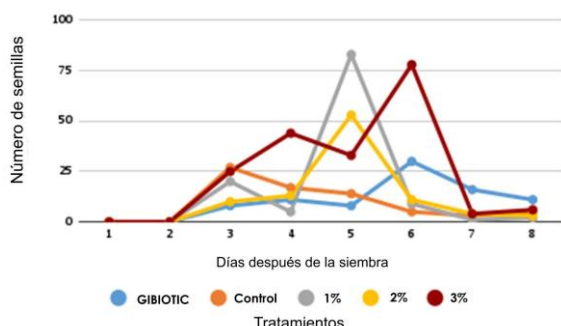


Figura 1. Germinación de semillas de frijol bajo diferentes tratamientos durante el periodo de evaluación. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta.

Para la variable altura de la planta (Figura 2), el tratamiento con llantén al 1% presentó una altura 1,10 veces mayor que la del control, mientras que el tratamiento al 2% redujo la altura en 0,10 veces. El tratamiento al 3% mostró una altura 1,06 veces mayor que la del control. En comparación con el tratamiento GIBIOTIC®, las concentraciones de llantén al 1%, 2% y 3% mostraron reducciones de 0,25, 0,32 y 0,28 veces, respectivamente.

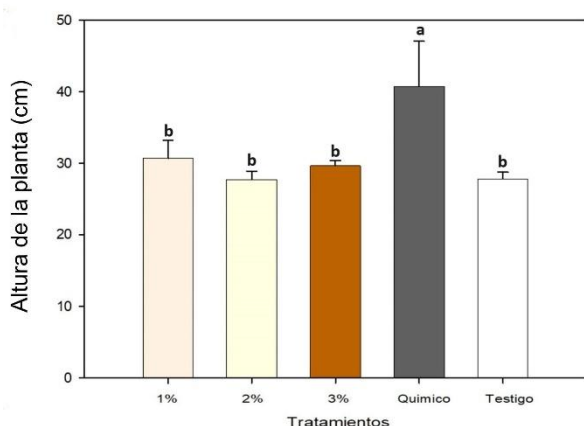


Figura 2. Altura de la planta en el cultivo de frijol tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin

aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

Para la variable diámetro del tallo (Figura 3), el tratamiento con llantén al 1% presentó un diámetro 1 vez mayor que el del control, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% redujeron el diámetro en 0,3 veces respecto al del control. En comparación con GIBIOTIC®, las concentraciones de llantén al 1%, 2% y 3% presentaron diámetros 1,19, 1,11 y 1,10 veces mayores, respectivamente.

Para la variable número de hojas (Figura 4), el tratamiento con llantén al 1% presentó un número de hojas 1,04 veces mayor que el del control, mientras que la concentración al 2% mostró una disminución de 0,20 veces y la concentración al 3%

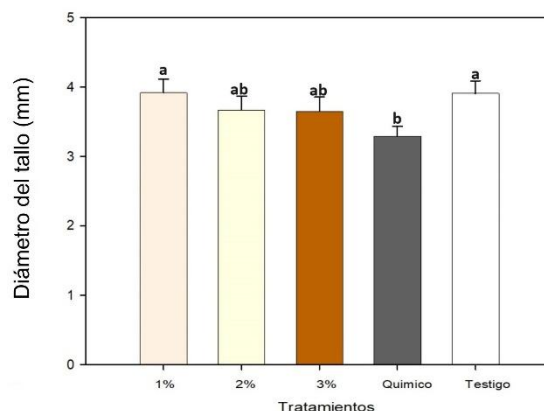


Figura 3. Diámetro del tallo en plantas de frijol tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$

presentó un número de hojas 1,10 veces mayor que el del control. Para el tratamiento con GIBIOTIC®, las concentraciones del 1%, 2% y 3% mostraron un número de hojas 1,36, 1,20 y 1,44 veces mayor, respectivamente.

Para la variable peso fresco aéreo (Figura 5), el tratamiento con llantén al 1% presentó una reducción de 0,26 veces respecto al control, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% mostraron disminuciones del 0,90% y 0,26 veces, respectivamente, en el mismo sentido. En contraste, el tratamiento con GIBIOTIC® incrementó el peso

fresco aéreo en 1,40, 1,72 y 1,40 veces en las concentraciones de 1%, 2% y 3%, respectivamente.

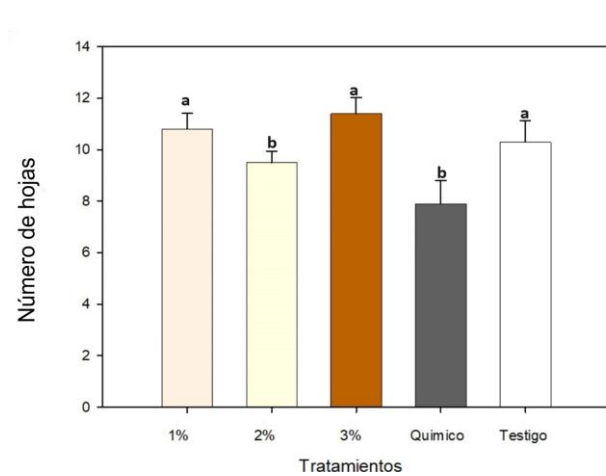


Figura 4. Número de hojas en plantas de frijol tras la aplicación de diferentes tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

de 1,16 veces en la concentración del 1% y de 1,46 veces en las concentraciones del 2% y del 3% respecto a GIBIOTIC®.

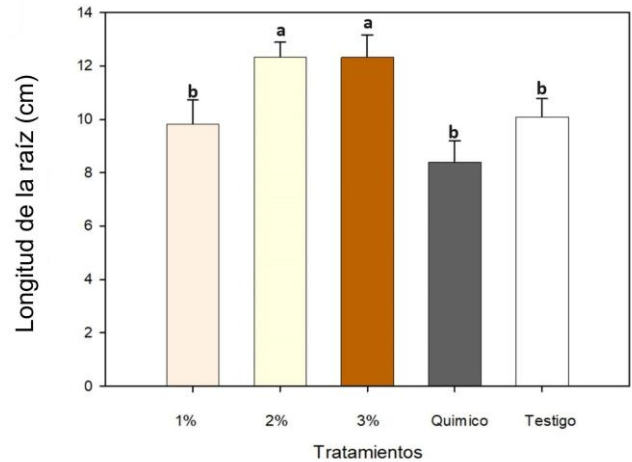


Figura 6. Longitud de raíz en plantas de frijol tras la aplicación de diferentes tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

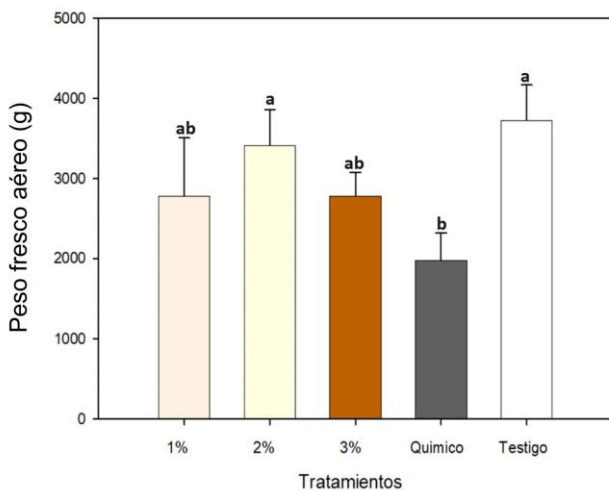


Figura 5. Peso fresco aéreo en plantas de frijol tras la aplicación de diferentes tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

Para la variable longitud de la raíz (Figura 6), el tratamiento con llantén al 1% mostró una disminución de 0,70 veces respecto al control, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% fueron 1,22 veces mayores. En cuanto al tratamiento con GIBIOTIC, se observaron aumentos

Finalmente, para la variable peso fresco de la raíz (Figura 7), el tratamiento con llantén al 1% mostró una reducción de 0,85 veces respecto al control, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% presentaron incrementos de 1,40 y 1,34 veces, respectivamente. Se observó una disminución de 0,30 veces en la concentración del 1%, mientras que las concentraciones del 2% y del 3% mostraron incrementos de 1,53 y 1,46 veces, respectivamente, respecto a GIBIOTIC®.

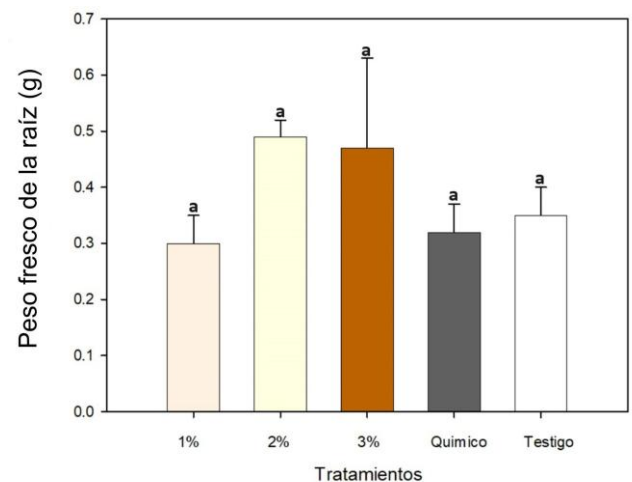


Figura 7. Peso fresco de la raíz en plantas de frijol tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin

aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

3.2 Cultivo de calabaza

En la variable de germinación del cultivo de calabaza (Figura 8), no se registró germinación durante los primeros 3 días. A partir del día 4, el tratamiento con llantén al 3% presentó una germinación 3 veces mayor que la del control y 4 veces superior a la de GIBIOTIC®. En el día 5, el tratamiento al 2% presentó aumentos de 0,60 veces respecto al control y de 3,40 veces respecto a GIBIOTIC®. Para el día 6, el tratamiento con llantén al 2% presentó una germinación 2,40 veces mayor que la del control y 3,60 veces mayor que la del tratamiento con GIBIOTIC®. En el día 7, el tratamiento con llantén al 3% mostró una germinación 1,50 veces mayor que la del control y 1,75 veces superior a la de GIBIOTIC®. En el día 8, el tratamiento con llantén al 1% registró una germinación 5,50 veces mayor que la del control y 5 veces superior a la de GIBIOTIC®. El día 9 no se observó germinación en los tratamientos de control ni en GIBIOTIC. Para el día 10, tampoco se registró germinación en el tratamiento de control; sin embargo, el llantén al 1% mostró un incremento de 1,00 veces respecto al tratamiento con GIBIOTIC. Finalmente, en los días 11 y 12 no se observó germinación en el tratamiento de control, mientras que el tratamiento con llantén al 3% mostró una germinación 0,50 veces menor que la del tratamiento GIBIOTIC.

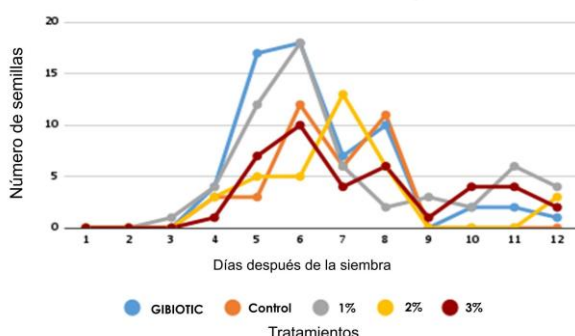


Figura 8. Germinación de semillas de calabaza bajo diferentes tratamientos durante el periodo de evaluación. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta.

Para la variable altura de la planta (Figura 9), el tratamiento con llantén al 1% presentó una disminución del 11% respecto al control, mientras que la concentración al 2% mostró una altura 1.13 veces mayor y la concentración al 3% una disminución de 0.33 veces con respecto al control, el llantén al 1% presentó una altura 1.04 veces mayor, mientras que la concentración al 2% mostró una altura 1.32 veces superior, mientras que la concentración al 3% redujo 0.22 veces en comparación con el tratamiento GIBIOTIC®.

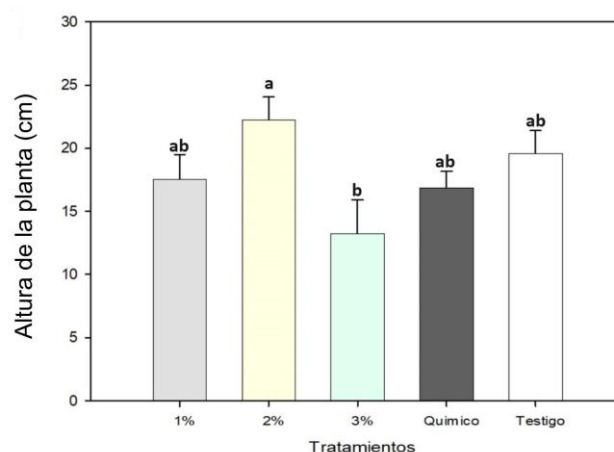


Figura 9. Altura de la planta en el cultivo de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

Para la variable diámetro del tallo (Figura 10), el tratamiento con llantén al 1% incrementó dicha variable en 1.13 veces respecto al control, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% mostraron reducciones de 0.20 y 0.10 veces, respectivamente. El llantén al 1% mostró un diámetro 1,14 veces mayor, mientras que las concentraciones al 2% y al 3% registraron disminuciones de 0,10 veces cada una, en comparación con el tratamiento GIBIOTIC®.

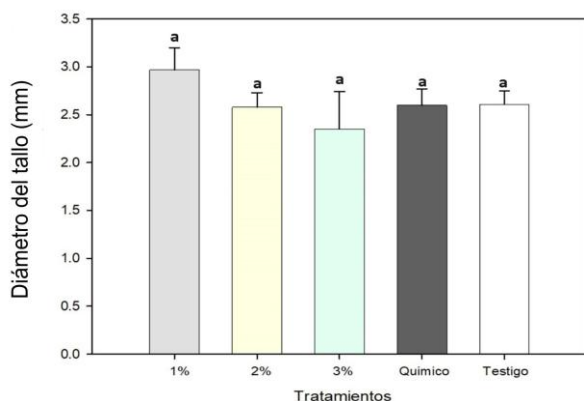


Figura 10. Diámetro del tallo en el cultivo de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

Para la variable número de hojas (Figura 11), el tratamiento con llantén al 1% presentó una disminución de 0,13 veces respecto al control; al 2%, un incremento de 1,14 veces; y al 3%, una disminución de 0,39 veces. La concentración al 1% registró una reducción de 0,7 veces, mientras que la concentración al 2% mostró un incremento de 1,21 veces y la concentración al 3% presentó una disminución de 0,35 veces en comparación con el tratamiento GIBIOTIC®.

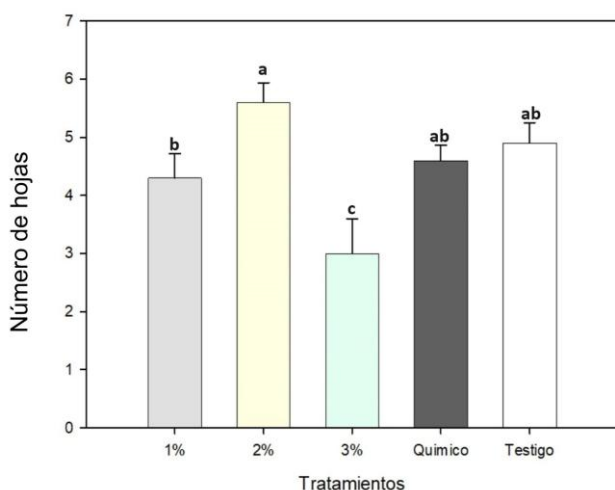


Figura 11. Número de hojas en el cultivo de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

En cuanto al peso fresco aéreo (Figura 12), la aplicación de llantén al 1% redujo esta variable en

0,38 veces respecto al tratamiento de control; de forma similar, la concentración al 2% redujo esta variable en 0,80 veces, mientras que al 3% se redujo en 0,54 veces respecto al tratamiento de control. Por otro lado, bajo el tratamiento con GIBIOTIC®, el de llantén al 1% mostró un aumento de 1.13 veces, y el de llantén al 2% mostró un incremento de 1.68 veces; sin embargo, al 3% se observó una disminución de 0.17 veces en el mismo sentido de comparación.

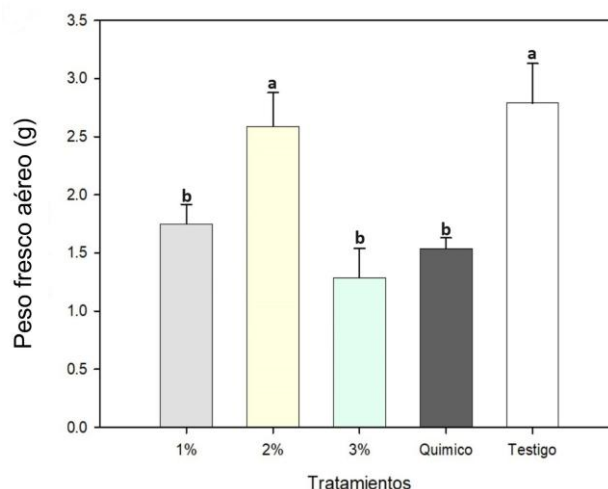


Figura 12. Peso fresco aéreo en el cultivo de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

Respecto a la longitud de la raíz (Figura 13), la dosis de llantén al 1% favoreció un incremento de 1,10 veces respecto al control; de manera semejante, la concentración al 2% registró un incremento de 1,06 veces, mientras que al 3% se observó una disminución de 0,31 veces respecto al control. En contraste, con la aplicación de GIBIOTIC®, las tres concentraciones presentaron reducciones de 0,13, 0,12 y 0,8 veces, respectivamente.

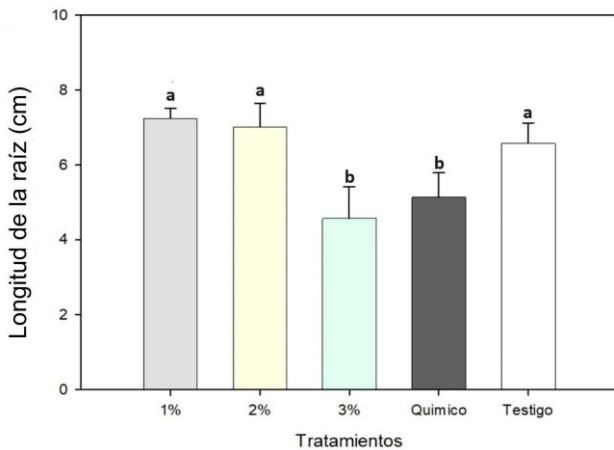


Figura 13. Longitud de la raíz en plantas de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

En relación con el peso fresco de la raíz (Figura 14), las concentraciones de llantén al 1%, 2% y 3% ocasionaron disminuciones de 0,45, 0,17 y 0,34 veces respecto al control, respectivamente. Por su parte, con la aplicación de GIBIOTIC®, la concentración al 1% mostró una reducción de 0,24 veces, mientras que al 2% se registró un incremento de 1,15 veces y al 3% una disminución de 0,80 veces, en el mismo sentido de comparación.

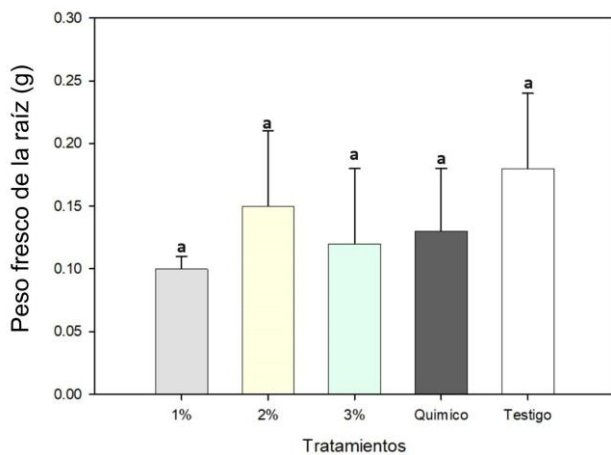


Figura 7. Peso fresco de la raíz en plantas de calabaza tras la aplicación de distintos tratamientos. GIBIOTIC: producto químico; Control: sin aplicaciones adicionales; 1, 2 y 3%: tres concentraciones de extracto vegetal a una dosis de 5 mL por planta. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas de Fisher ($\alpha \geq 0,05$), $n = 10$.

4. Discusión

El presente estudio evaluó el impacto de un bioproducto a base de extracto acuoso de *Plantago lanceolata* (llantén menor) sobre la germinación y el desarrollo inicial de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y de calabaza (*Cucurbita pepo*). Los resultados evidencian que la respuesta biológica dependió tanto de la concentración del extracto como de la especie evaluada y del momento fenológico. En frijol, las concentraciones de 1% y 3% favorecieron significativamente la germinación en comparación con el tratamiento químico (GIBIOTIC®), lo que sugiere que el extracto puede actuar como bioestimulante en las fases tempranas del desarrollo. Sin embargo, el efecto sobre el crecimiento vegetativo mostró un comportamiento diferencial: aunque el extracto promovió incrementos respecto al control, el tratamiento químico resultó más eficiente para estimular la elongación del tallo. Esto indica que el extracto de *P. lanceolata* podría favorecer un crecimiento menos acelerado, pero potencialmente más equilibrado. En este sentido, el incremento del diámetro del tallo y de algunas variables radiculares, particularmente a la concentración intermedia del 2% y, en algunos casos, también del 3%, sugiere una redistribución más armónica de los recursos entre el crecimiento aéreo y el radicular. La estimulación del sistema radicular a determinadas concentraciones podría mejorar la capacidad de absorción de agua y nutrientes, lo cual resulta clave en las primeras etapas de establecimiento del cultivo.

En calabaza, la respuesta dependió más de la concentración. La concentración intermedia del 2% mostró mayor eficiencia para promover la germinación temprana y el crecimiento vegetativo, mientras que concentraciones más altas tendieron a reducir algunas variables morfológicas. Este comportamiento sugiere un posible efecto dosis-dependiente, común en bioestimulantes vegetales, en el que concentraciones moderadas optimizan la respuesta fisiológica, mientras que concentraciones elevadas pueden producir efectos inhibitorios parciales. La actividad biológica observada puede explicarse por la compleja composición química de *P. lanceolata*, que incluye compuestos fenólicos, flavonoides, mucílagos, iridoides y terpenoides.

Estudios fitoquímicos han identificado metabolitos como luteolina, apigenina, quercetina, aucubina y catalpol, asociados a la actividad antioxidante y a la modulación de procesos hormonales vegetales [13]. Estos compuestos podrían influir en la regulación del equilibrio entre auxina y citoquinina, promoviendo la división y la expansión celulares, así como la reducción del estrés oxidativo durante la germinación y el establecimiento inicial [14]. La actividad antioxidante atribuida a los compuestos fenólicos podría haber contribuido a una mayor estabilidad metabólica en etapas tempranas, favoreciendo la formación de hojas, el engrosamiento del tallo y el desarrollo radicular en tratamientos específicos. Este tipo de respuesta ha sido reportado en otros estudios con extractos vegetales ricos en metabolitos secundarios, en los que la mejora del estado redox celular se traduce en un mayor vigor inicial [15]. Es importante destacar que, aunque el tratamiento químico promovió una mayor elongación en ciertas variables, el extracto de *P. lanceolata* tendió a inducir un crecimiento más equilibrado, lo que se reflejó en una arquitectura vegetal más robusta. Este patrón es relevante desde el punto de vista agronómico, ya que un desarrollo equilibrado puede conferir una mayor resistencia mecánica y un mejor establecimiento en campo. Finalmente, la literatura científica respalda estos hallazgos: investigaciones previas han demostrado [16] que los extractos acuosos de *P. lanceolata* pueden inhibir la germinación de algunas especies en función de la dosis aplicada, lo que evidencia un efecto alelopático dependiente de la concentración. De manera complementaria, estudios con otros extractos vegetales muestran que los metabolitos secundarios pueden modular la germinación y el crecimiento radicular según la especie y la concentración aplicadas [17]. En conjunto, estos hallazgos indican que el extracto de *P. lanceolata* puede actuar como bioestimulante o modulador del crecimiento, según la dosis y el contexto fisiológico de la planta receptora.

5. Conclusiones

El extracto acuoso de *Plantago lanceolata* mostró efectos significativos sobre la germinación y el desarrollo inicial del frijol y de la calabaza, con respuestas dependientes de la concentración y de la especie evaluada. En frijol, las dosis de 1% y 3%

promovieron la germinación y el crecimiento vegetativo, mientras que en calabaza las concentraciones intermedias favorecieron un desarrollo más equilibrado, lo que evidencia un efecto dosis-dependiente. Aunque el tratamiento químico indujo una mayor elongación, el extracto vegetal promovió una arquitectura más robusta y funcional. En conjunto, estos resultados respaldan el potencial de *P. lanceolata* como bioproducto sostenible y de bajo impacto ambiental para mejorar el establecimiento inicial de cultivos hortícolas y reducir la dependencia de insumos sintéticos.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Dra. Iridiam Hernández Soto por su valiosa orientación, apoyo académico y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia, compromiso y disposición fueron fundamentales para la realización y la culminación de este trabajo.

Referencias

- [1] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama agroalimentario 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2023. Acceso: 30 de noviembre de 2025. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- [2] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Estado de Hidalgo. Diagnóstico del sector agropecuario del estado de Hidalgo. Gobierno del Estado de Hidalgo 2022.
- [3] Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 2014; 383: 3–41.
- [4] Zubair M, Nybom H, Lindholm C, Rumpunen K. Major polyphenols in aerial organs of greater plantain (*Plantago major* L.), and effects of drying temperature on polyphenol contents in the leaves. *Sci Hortic* 2011; 128: 523–529.
- [5] Ruzzi M, Aroca R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Sci Hortic* 2015; 196: 124–134.
- [6] Cheng Y, Xue F, Yu S, Du S, Yang Y. Subcritical water extraction of natural products. *Molecules*. 2021;26(13):4004.
- [7] Stalikas CD. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *J Sep Sci*. 2007;30(18):3268–3295.
- [8] Roldán GQ, Soto CM. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agron Mesoam*. 2005;16(2):171–183.
- [9] Lamichhane JR, Messéan A, Ricci P. Research and innovation priorities as defined by the Ecophyto plan to address current crop protection transformation challenges in France. *Adv Agron*. 2019;154:81–152.
- [10] Gío-Trujillo JA, Alvarado-López CJ, Pacheco-López NA, Cristóbal-Alejo J, Reyes-Ramírez A, Candelero-de la Cruz J. Relación entre la colonización micorrízica y las propiedades del suelo en un cultivo de calabaza. *Cienc Suelo*, 2023; 1: 12-21.
- [11] Rangel Lucio JA, Cervantes Ortiz F, García-Rodríguez JG. (2022). Efectos de la concentración de la solución nutritiva Steiner y del sustrato de crecimiento sobre la calidad de la semilla de tomate. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3).

- [12] Hernández del Valle G, Hernández González O, Guridi Izquierdo F, Arbelo Fortes N. Influencia de la siembra directa y las aplicaciones foliares de extracto líquido de vermicompost en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev Cienc Técn Agropecu*. 2012;21(2).
- [13] Budzianowska A, Totoń E, Romaniuk-Drapała A, Kikowska M, Budzianowski JC. Cytotoxic effect of phenylethanoid glycosides isolated from *Plantago lanceolata* L. *Life* 2023; 13(2): 556. 86-90.
- [14] Zubair M, Nybom H, Lindholm C, Rumpunen K. Major polyphenols in aerial organs of greater plantain (*Plantago major* L.), and effects of drying temperature on polyphenol contents in the leaves. *Sci Hortic* 2011; 128: 523–529.
- [15] Laanet PR, Bragina O, Jöul P, Vaher M. *Plantago major* and *Plantago lanceolata* exhibit antioxidant and *Borrelia burgdorferi* inhibiting activities. *Int J Mol Sci* 2024; 25(13): 7112.
- [16] Yaraş O, Yilmazer N. In vitro allelopathic potential of leaf water extracts of *Plantago lanceolata* and *Plantago major* on the germination of some crops. *J Adv Res Nat Appl Sci* 2024; 10(1): 150–160.
- [17] Rys M et al. Phytotoxic effects of selected herbal extracts on germination and early growth of white mustard and oilseed rape. *Agronomy* 2022; 12(1): 110.