





Potencial de bioestimulantes en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su acción sobre el mildiu veloso, *Peronospora belbahrii* (Peronosporales: Peronosporaceae)

Potential of biostimulants in basil (*Ocimum basilicum* L.) and their effect on downy mildew, *Peronospora belbahrii* (Peronosporales: Peronosporaceae)

Julio Ahuixtle-Ahuelican¹ , Mirella Romero-Bastidas^{1*} , Pablo Misael Arce-Amezquita¹ ,
Maurilia Rojas-Contreras¹ 

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Agronomía, km 5.5 carretera al Sur, 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor para correspondencia: miromero@uabcs.mx

Fecha de recepción:
25 de mayo de 2024

Fecha de aceptación:
16 de julio de 2025

Disponible en línea:
28 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:
Ahuixtle-Ahuelican, J., Romero-Bastidas, M., Arce-Amezquita, P. M., & Rojas-Contreras, M. (2026). Potencial de bioestimulantes en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su acción sobre el mildiu veloso, *Peronospora belbahrii* (Peronosporales: Peronosporaceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121021. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121021>

RESUMEN

El mildiu veloso en albahaca, causado por *Peronospora belbahrii*, provoca daños en el rendimiento, calidad y disponibilidad del producto en el mercado. Su control común es mediante el uso de fungicidas químicos. Sin embargo, su aplicación es limitada debido al impacto en el ambiente. El uso de bioestimulantes para incrementar el vigor de la planta podría ser una alternativa segura contra el patógeno. Este estudio evaluó el efecto de cinco bioestimulantes a base de lixiviado y humus de lombriz, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y extracto de *Sargassum* spp. sobre las características morfométricas de albahaca, así como la incidencia y severidad del mildiu veloso. Los resultados obtenidos no mostraron efectos en el incremento del crecimiento de la planta, pero sí redujeron significativamente la incidencia y severidad de *P. belbahrii*. El humus y el lixiviado de lombriz registraron mayor eficacia (60 % y 80 %, respectivamente). Se concluye que los bioestimulantes, si bien no todos incrementan el crecimiento vegetal en albahaca, sí pueden disminuir la incidencia del mildiu veloso.

PALABRAS CLAVE

Plantas aromáticas, crecimiento vegetativo, biocontrol, infección, patógeno.

ABSTRACT

Downy mildew in basil, caused by *Peronospora belbahrii*, leads to significant losses in yield, quality and market availability. Its control is commonly achieved through the use of chemical fungicides; however, their application is limited due to environmental concerns. The use of biostimulants to enhance plant vigor may represent a safer alternative for managing this pathogen. This study evaluated the effect of five biostimulants based on vermicompost leachate and humus, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* and *Sargassum* spp. extract on basil morphometric traits, as well as on the incidence and severity of downy mildew. The results showed no significant effects on plant growth; however, all treatments significantly reduced the incidence and severity of *P. belbahrii*, where humus and worm leachate were most effective (60 % and 80 % respectively). It is concluded that, although not all biostimulants enhance plant growth in basil, they can act effectively reduce the incidence of downy mildew.

KEYWORDS

Culinary herbs, vegetative growth, biocontrol, infection, pathogen.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad del Mildiu veloso en albahaca (*Ocimum basilicum* L.), provocada por *Peronospora belbahrii* (Oomicete) puede diseminarse rápidamente (Belbahri et al., 2005). Los síntomas de amarillamiento y necrosis foliar que provoca demeritan la calidad del producto, lo que genera pérdidas económicas de 100 %, tanto en invernadero como en campo (Cohen, Vaknin et al., 2013; Patel et al., 2021). En Estados Unidos, se estima que dichas pérdidas alcanzan hasta 10 millones de dólares (Wyenandt et al., 2015). Además, la restricción al uso de agroquímicos sintéticos para el control de *P. belbahrii* en la producción de albahaca orgánica agrava el problema (Johnson et al., 2021).

En este contexto, han surgido métodos ecológicamente menos dañinos que se aplican de forma preventiva y curativa para evitar la infección de éste patógeno (McGrath, 2020). Recientemente, el uso de bioestimulantes vegetales derivado de plantas, algas y microorganismos benéficos es una alternativa segura, no solo en el aumento de la productividad de los cultivos de manera ecológica, sino también para incrementar la tolerancia de la planta al estrés biótico y abiótico (Du Jardin, 2015). Aunque se ha señalado que estos métodos no poseen una acción directa contra patógenos o plagas, se ha comprobado que incrementan el vigor vegetal (Kumari et al., 2023), el cual está asociado a una rápida activación de vías de señalización, donde actúan sustancias reguladoras (fenoles, fitohormonas, polifenoles, poliaminas, fitoalexinas, etc.), las cuales modifican físicamente los tejidos y regulan genes defensivos contra patógenos (Hasley et al., 2021).

Actualmente, el gran número de estudios relacionados a comprender la eficacia y potencial de los bioestimulantes están mayormente encaminados a su

efecto sobre el crecimiento de las plantas, y poco se ha explorado sobre el estímulo de la resistencia a enfermedades. Lo anterior podría generar información útil al conocer el efecto de los productos naturales, no solo en el crecimiento y desarrollo vegetal, sino también en el incremento de la resistencia contra patógenos altamente virulentos. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de bioestimulantes en la promoción de crecimiento de albahaca y su acción sobre la enfermedad del mildiu veloso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El experimento fue llevado a cabo durante los meses de septiembre a diciembre de 2022 en un clima y ambiente semiárido (BWh). Este sitio está ubicado en La Paz, Baja California Sur, México (24°6'5.40" N y 110°19'3.82" O, 27 msnm). La vegetación es de tipo desértica (matorral sarcocaula), con suelos de textura franco arenosa. La precipitación media anual es menor a 200 mm y la temperatura promedio oscila entre 18 °C a 22 °C.

Tratamientos

Cinco tratamientos para evaluar el efecto bioestimulante fueron utilizados: 1) lixiviado líquido de vermicomposta (LX) 2) humus de lombriz sólido (HL), 3) el hongo de *Trichoderma harzianum* (TH), 4) la bacteria *Bacillus amylo-liquefaciens* (BA) (ambos donados por el cepario fúngico del Laboratorio de Fitopatología y Microbiología de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, respectivamente) y 5) extracto etanólico de la macroalga *Sargassum* spp. (proporcionado por el Laboratorio de Farmacognosia de la Universidad Autónoma de Baja California Sur). Además, al experimento se incluyó un

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos aplicados en albahaca para el control de *P. belbahrii*.

No.	Tratamiento	Nombre comercial	Concentración	*Dosis (mL L ⁻¹)
1	Lixiviado de lombriz	Lixi-uabcs®	-----	50 mL
2	Humus de lombriz	Lombri-uabcs®	-----	50 g
3	<i>Trichoderma harzianum</i>	NA	1 × 10 ⁹ UFC/mL	1 mL
4	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	NA	1 × 10 ⁹ UFC/mL	1 mL
5	Extracto de <i>Sargassum</i> spp.	NA	-----	5 mL
6	Fertilizante	T17®	(17% N-17% P- 17% K)	50 mL
7	Control	Agua	-----	--

tratamiento a base de un fertilizante sintético (T17®) y el tratamiento control que consistió únicamente en adicionar agua (Cuadro 1).

Diseño experimental

El trabajo experimental se realizó en un sitio con antecedentes de la enfermedad asociada al patógeno en cultivos de albahaca que fueron establecidos durante años anteriores. El área de la parcela experimental fue de 630 m². Para el experimento se siguió un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde cada repetición correspondió a un bloque con 25 plantas cada uno. Los siete tratamientos evaluados, se establecieron como unidades experimentales, donde cada unidad constaba de un surco de 60 m de largo y 25 cm de ancho, el cual estaba dividido en cuatro bloques (Figura 1).

Siembra y manejo de campo

Para evaluar la eficacia de los bioproductos bajo presión de la epidemia natural del mildiu vellosa, semillas de albahaca (cv. Nufar, altamente susceptible a *P. belbahrii*) fueron sembradas en charolas de unisel que contenían sustrato comercial Peat Moss Turba 2001 (PRO-MIX, San Francisco, Estados Unidos). Las charolas fueron depositadas bajo malla sombra y regadas dos veces por semana. 30 días después de la siembra, plántulas que presentaban sus dos primeras hojas verdaderas fueron trasplantadas en campo a hilera sencilla con un marco de plantación de 50 cm, manteniendo una densidad de siembra por bloque de 25 plantas y un total de 100 plantas por tratamiento.

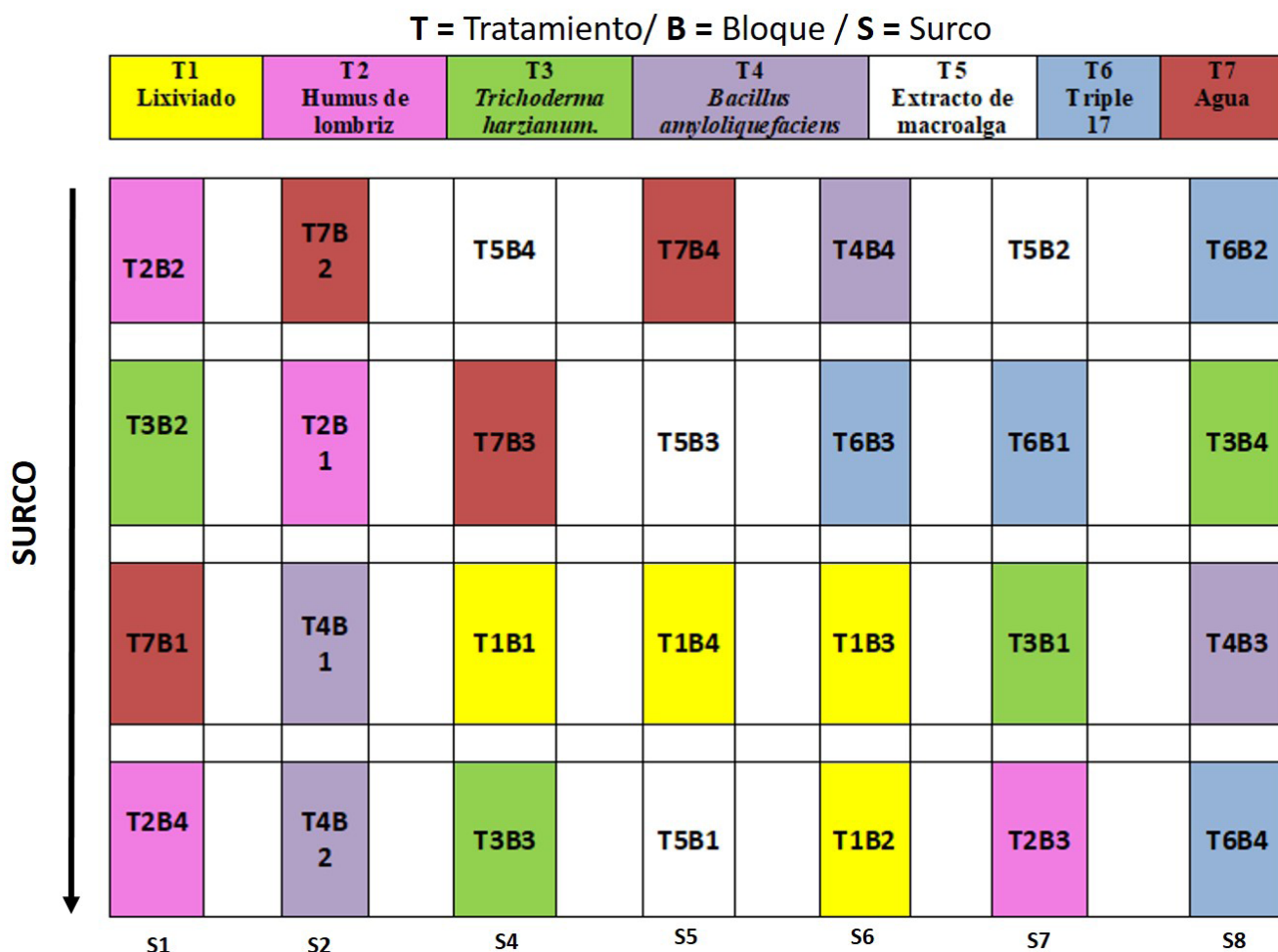


Figura 1. Diseño experimental en campo abierto para el establecimiento de albahaca.

Aplicación de los tratamientos

Tres días después del trasplante (ddt), se llevó a cabo la aplicación de los tratamientos. Los bioestimulantes a base de *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*, humus de lombriz, lixiviado de lombriz, fertilizante y el control fueron aplicados directamente sobre la base del tallo de la planta. Mientras que el extracto de *Sargassum* spp. fue asperjado foliarmente con el uso de un rociador manual hasta cubrir el follaje completamente. Las aplicaciones se llevaron a cabo por la tarde para evitar que las altas temperaturas afectaran a los bioproductos. También se evitó tener efectos de traslape de productos. La dosis de aplicación para cada uno de los tratamientos fue constante durante el desarrollo del experimento. Todos los tratamientos fueron aplicados dos veces con 30 días de intervalo entre cada aplicación (totalizando 2 aplicaciones). Las plantas se regaron tres veces por semana. La temperatura y la humedad relativa (HR) en el área de estudio se registró a través de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 (Estaciones DAVIS.ES, Valencia, España).

Evaluación del efecto de los bioestimulantes contra *Peronospora belbahrii*:

Caracterización morfológica de *Peronospora belbahrii*

Una vez que las plantas presentaron daños en el follaje, los síntomas típicos de *P. belbahrii* fueron confirmados mediante inspección en campo y examinación microscópica. Para ello, 10 hojas de albahaca con síntomas y signos del mildiu vellosos fueron colectadas en campo. Estructuras tales como esporangios y esporangióforos fueron obtenidas de los folíolos y se realizaron preparaciones semipermanentes en portaobjetos con lactofenol para determinar sus características morfológicas bajo un microscopio compuesto Labomed 10^a 125V (LABOMED®, Los Ángeles, Estados Unidos). Las micrografías se tomaron mediante análisis de *software* con una cámara AM-7023, Dino-Eye Digital (Dino-Lite, Torrance, Estados Unidos). La identificación del género se llevó a cabo según lo descrito por Thines et al. (2009).

Incidencia de la enfermedad

La evaluación de la incidencia en cada unidad experimental se realizó en intervalos de siete días a partir

de los tres días después del trasplante en campo. Esta evaluación fue realizada por un periodo de 95 días. El porcentaje de incidencia se calculó mediante el conteo del número de plantas sintomáticas que presentaban áreas cloróticas en las regiones intervenales de la hoja y esporulación de color gris en el envés, usando la ecuación propuesta por Sari et al. (2021):

$$\text{Incidencia de la enfermedad}(\%) = n \times \frac{100}{N}$$

Donde: n = número de plantas sintomáticas y N = total de plantas observadas. Los datos de incidencia se transformaron a área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), para determinar el patrón de desarrollo y aparición del hongo a través del tiempo.

Severidad

95 días después del experimento, se evaluó la severidad mediante la selección y extracción al azar de cinco plantas representativas por tratamiento, las cuales fueron obtenidas del campo y llevadas al laboratorio. En cada planta se registró el número total de hojas con esporulación con relación al número total de hojas por planta. Así como la intensidad de la esporulación en 10 hojas individuales de cada planta evaluada, utilizando la escala propuesta por Cohen, Rubin et al. (2013) con las siguientes clases: 0 = sin esporulación, 0.5 = esporulación escasa, 1 = esporulación débil, 2 = esporulación moderada y 3 = esporulación fuerte. Los datos se expresaron como porcentaje de severidad siguiendo la fórmula de Descalzo et al. (1990):

$$\text{Severidad de la enfermedad}(\%) = \left[\sum \frac{n \times v}{N \times K} \right] \times 100$$

Donde: N = es el número de hojas infectadas en cada categoría, V = es el valor numérico de cada categoría, N = es el total del número de hojas infectadas K = es el mayor grado de infección en la escala.

Morfometría: longitud y biomasa de la planta

De las cinco plantas seleccionadas por cada unidad experimental se determinaron las variables de longitud y biomasa vegetativa, determinando longitud de tallo y raíz (cm), peso fresco de tallo y raíz (g).

Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta, se llevó a cabo un ANOVA con un índice de confianza del 95 %. La diferencia entre los tratamientos se comparó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos en porcentajes de incidencia y severidad se transformaron en arcoseno antes del análisis adicional. Se calcularon los errores estándar (SE) de las medias, y los niveles de enfermedad se separaron estadísticamente siguiendo un análisis de varianza de una vía. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software GraphPad Prims 8 ink (Dotmatics, Boston, Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales durante la evaluación

Los datos de temperatura y HR se presentan en la Figura 2. En los cuatro meses de evaluación, la temperatura fue inferior a 30 °C durante las primeras horas de la mañana (8:00), y fluctuó de 30 °C a 5 °C. Mientras que la humedad relativa osciló entre 90 % y 70 %. Sin embargo, a las 12:00, ambos factores cambiaban drásticamente (temperatura máxima de 32 °C y mínima de

28 °C, HR de 90 %) durante septiembre; sin embargo, la HR disminuyó por debajo de 60 % los meses posteriores con mínimas de hasta 40 %. A las 17:00, la temperatura se mantenía superior a 33 °C, con mínima en diciembre de 27 °C, y humedad máxima de 77 % y mínima de 40 %. Las temperaturas promedio durante el experimento fueron de 30 °C en septiembre, con disminución paulatina de octubre a diciembre (de 28 °C a 20 °C). En el caso de la HR, se registró una fluctuación, la cual fue de 70 % en septiembre a 60 % en diciembre. De forma irregular, en octubre se presentó un cambio drástico de temperatura y HR, donde el calor fue cercano a los 40 °C y la humedad disminuyó hasta 40 %. Al parecer, cuando la HR se mantuvo por arriba del 60 % y con temperatura promedio que no rebasaba 35 °C, fue suficiente y detonante para la aparición repentina de *P. belbahrii*. Estos rangos fueron diferentes a los que reportan Belbahri et al. (2005), donde señalan que las condiciones ideales para la infección de este patógeno están asociadas a temperaturas de 15 °C a 27 °C y 70 % de HR. Lo que indica que este tipo de oomiceto puede cambiar constantemente su biología de infección. Esto es consistente con lo reportado por Romero-Bastidas et al. (2022), quienes señalan que es importante entender qué factores climáticos impulsan la aparición de los patógenos. Asimismo, Delgado-Baquerizo et al. (2020)

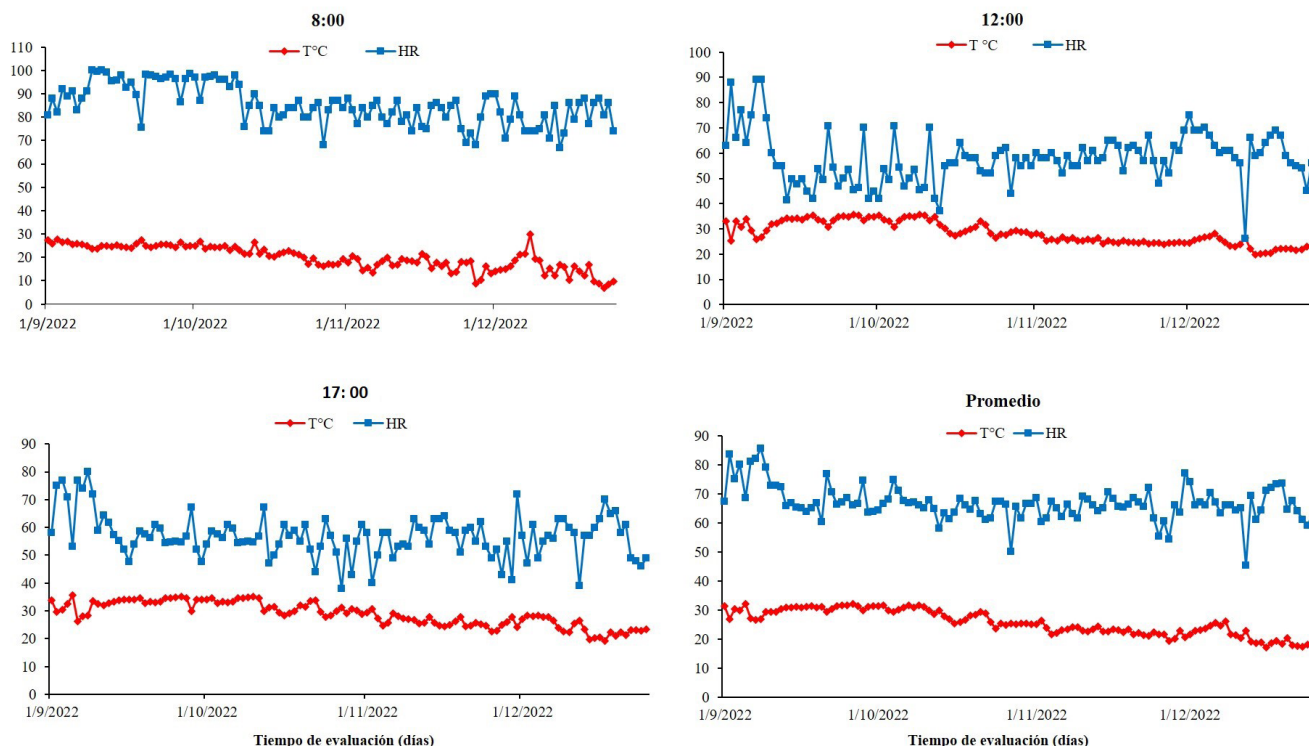


Figura 2. Temperatura y humedad relativa durante la infección de *P. belbahrii* en albahaca.

reportan que la humedad aumenta principalmente el riesgo de infección aérea por organismos como los oomicetos.

Síntomas de la enfermedad y caracterización morfológica del patógeno

Las plantas de albahaca exhibieron síntomas y signos de la infección del mildiu veloso cuando las plantas tenían 60 días de trasplantadas en campo. De las hojas colectadas con los síntomas típicos de la enfermedad, persistió la presencia tanto en la parte del envés como en el haz de hojas verdes, una esporulación de color gris al inicio que se tornaba color oscuro al final. Posteriormente se presentaban los síntomas de amarillamiento sobre las nervaduras que condujeron a desarrollar necrosis foliar (Figura 3). Wyenandt et al. (2015) han reportado que *P. belbahrii* produce generalmente esporulación en el lado abaxial de las hojas, donde aparecen esporangios color oscuro. Sin embargo, en este experimento se observó que los esporangios se produjeron en ambos lados de las hojas independientemente del tamaño o el estado de madurez de estas. Esta característica es consistente con lo reportado por Zhang et al. (2019), quienes, al evaluar el proceso de infección de *P. belbahrii* en albahaca, observaron que los esporangios de este patógeno tendieron a producirse primero en el envés de hojas jóvenes y posteriormente aparecían en la superficie adaxial. La exposición directa de los esporangios incrementa la incidencia del mildiu veloso al favorecer su dispersión, por efectos del viento, salpicadura del agua o el propio movimiento de las plantas durante su manejo en campo. La observación microscópica de *P. belbahrii* en las plantas infectadas, reveló la presencia de esporangios color

café con forma ovoide a subglobosa (Figura 3b). Los esporangioforos fueron hialinos y presentaron una estructura arborescente con tres a cinco ramificaciones. Los extremos terminales presentaron forma aguda y cada rama portaba un esporangio (Figura 3c y 3d). Mediante estas características, se determinó que la descripción fue consistente al género de *Peronospora*. Además, estos caracteres coinciden con lo descrito por Thines et al. (2009) y confirman que el patógeno bajo estudio es *P. belbahrii*.

Incidencia de *Peronospora belbahrii* en plantas de albahaca

A los 82 ddt y 95 ddt, las plantas tratadas con los bioestimulantes mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la incidencia del mildiu veloso (Figura 4a). La incidencia de la enfermedad fue menor en plantas tratadas con humus de lombriz y lixiviado. El resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares al control. El ABCPE (Figura 4b) mostró que, a partir de los 80 ddt, ocurrió la expresión de síntomas de *P. belbahrii*. Durante la primera etapa de infección y manifestación de síntomas, el tratamiento de humus registró el menor porcentaje de incidencia (6 %) (80 días después de la inoculación [ddi]); mientras que en el fertilizante la infección fue mayor (25 %), seguido del extracto de *Sargassum* spp., *T. harzianum* y *B. amyloliquefaciens* (15 %, 13 % y 11 %, respectivamente). En los tratamientos de lixiviado y control, la incidencia se vio reducida un 10 %. A los 95 ddt, la incidencia se incrementó mayormente en el tratamiento control (85 %), seguido del fertilizante (75 %). En los bioestimulantes, la incidencia fue reducida, donde el humus y *B. amyloliquefaciens* mostraron menor infección de la enfermedad (25 %), seguido del lixiviado (35 %),



Figura 3. Daño en el haz de la hoja. a) Hoja con esporulación, b) síntoma de amarillamiento intervenal y necrosis, c) conidios ovoides y d) esporangioforo ramificado.

Sargassum spp. (45 %) y *T. harzianum* (45 %). La infección continuó de forma ascendente hasta el término de la última evaluación (95 ddt), donde el humus y el lixiviado continuaron con menores porcentajes de incidencia (45 % y 80 %, respectivamente). Sin embargo, el resto de los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos al mostrar el 100 % de plantas infectadas (Figura 4a). La infección del hongo a los 80 días se asoció a la presencia de temperaturas de 30 °C y una HR de 70 %, siendo estas las condiciones ideales para que este patógeno mostrara su prevalencia en el cultivo. Caso contrario a lo reportado por Wyenandt et al. (2015), donde señalan que el patógeno necesita HR alta (al menos 85 %) o presencia de humedad sobre la hoja para infectar la planta, además de temperaturas moderadas (20 °C). Es posible que *P. belbahrii*, haya generado un tipo de adaptación a diferentes factores ambientales o existan nuevos biotipos establecidos en campo.

Los resultados mostraron que el humus redujo la incidencia de *P. belbahrii*. Sin embargo, a los 95 ddt, la incidencia de la enfermedad fue del 100 % para la mayoría de los tratamientos con los bioestimulantes. Lo anterior puede estar asociado a una baja frecuencia de aplicación. En cuanto a la respuesta del humus de lombriz y el lixiviado sobre el control de *P. belbahrii*, esta puede deberse a una alta producción y secreción de compuestos metabólicos como los ácidos jasmónico y salicílico, además de fitohormonas. Nadana et al. (2020) señalan que este tipo de sustancias están asociadas a la inducción eficaz del mecanismo de resistencia contra fitopatógenos. Por su parte, Rehman et al. (2023) señalan que el humus contiene sustancias fenólicas que hacen que los tejidos vegetales sean desagradables para algunos organismos. En tanto que Gudeta et al. (2021) reportan que el humus posee propiedades insecticidas y antifúngicas debido al líquido celómico y otros compuestos bioactivos liberados por las lombrices.

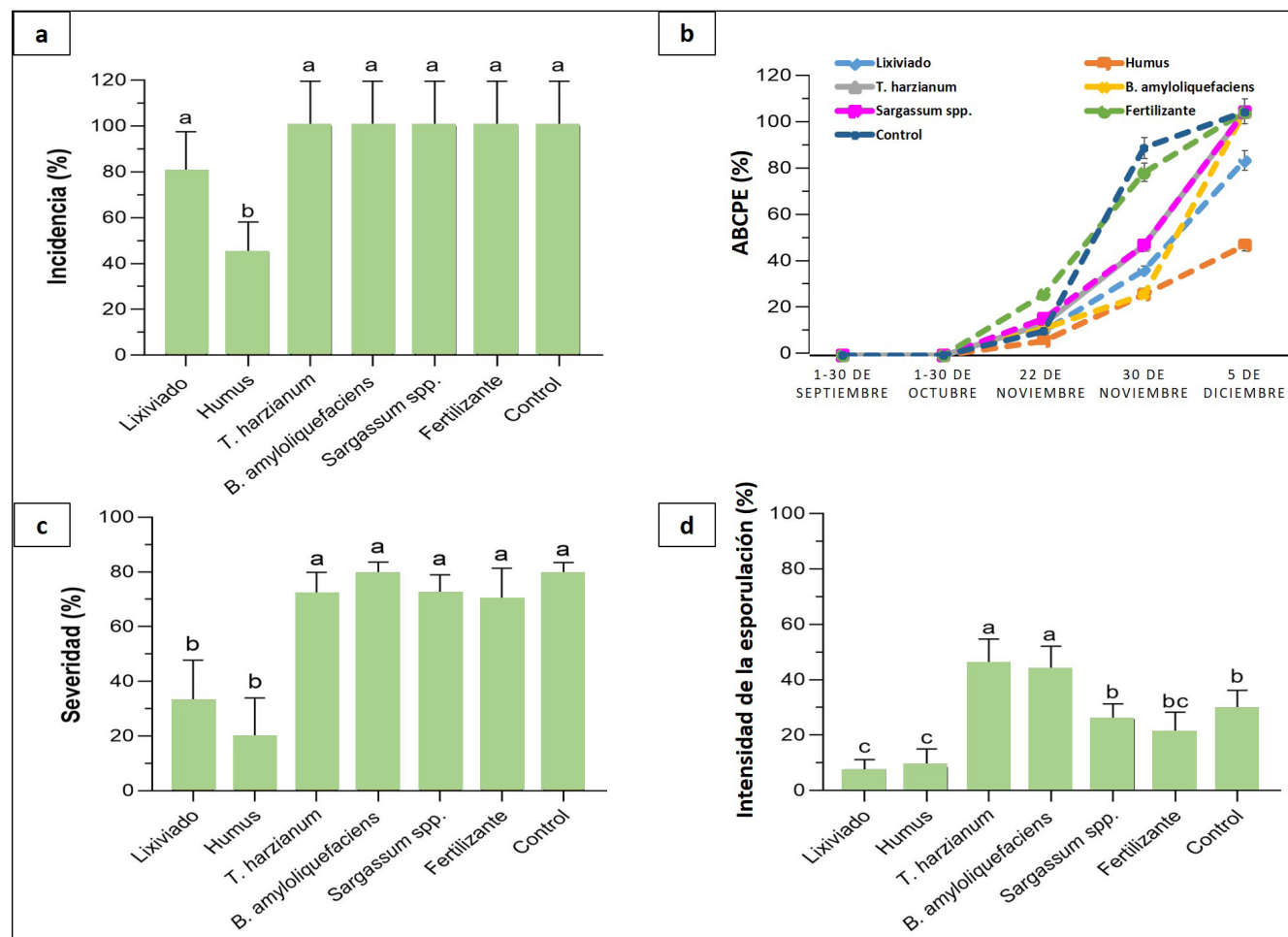


Figura 4. Efecto de bioestimulantes sobre a) incidencia, b) ABCPE, c) severidad y d) intensidad de la esporulación del mildiu vellosa en albahaca bajo condiciones de campo.

Severidad de la enfermedad

La severidad del mildiu veloso fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos con bioestimulantes (Figuras 4c, 4d y 5). A los 95 ddt, las plantas tratadas con los bioestimulantes mostraron una severidad diferencial de la enfermedad comparada con el tratamiento de fertilización, pero significativamente menor al efecto en el control. En el porcentaje del número de hojas con esporulación, se observó que a los 95 ddt, aunque la incidencia fue alta en la mayoría de los tratamientos, los bioestimulantes de lixiviado y humus presentaron el mayor efecto de control al reducir el número de hojas infectadas por el mildiu veloso, seguido del fertilizante y el extracto de *Sargassum* spp. Mientras que en los tratamientos de *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens* y el control, se registró la mayor severidad y el mayor número de hojas con esporulación (Figuras 4 y 5), lo cual indica su baja eficacia en la estimulación de resistencia a la presencia de *P. belbahrii*. Simsek-Ersahin (2011) ha confirmado a través de varios estudios el efecto supresor del humus

sobre el control de patógenos foliares y radiculares, donde su uso es cada vez más constante debido a su gran potencial para la producción y protección de cultivos en sistemas orgánicos sostenibles. Al respecto, Szczech (1999) señala una respuesta eficiente del humus sobre la inhibición de *Plasmodiophora brassicae*. Además, Szczech y Smolińska (2001) mencionaron que las plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) tratadas con humus fueron menos susceptibles a infecciones de *Phytophthora infestans* que las plantas tratadas con fertilizantes inorgánicos, además que la pérdida durante el almacenamiento por pudrición fue menor que en los controles.

Las plantas tratadas con humus y lixiviado mostraron mayor tolerancia al patógeno evaluado. Esto confirma lo reportado por Yatoo et al. (2020), quienes mencionan que tanto el humus como el lixiviado inducen resistencia biológica en las plantas contra patógenos. Por lo tanto, esta respuesta puede estar asociada a la disminución del progreso de la enfermedad del mildiu veloso en las plantas de albahaca. Esto evidencia las propiedades de los bioestimulantes a base

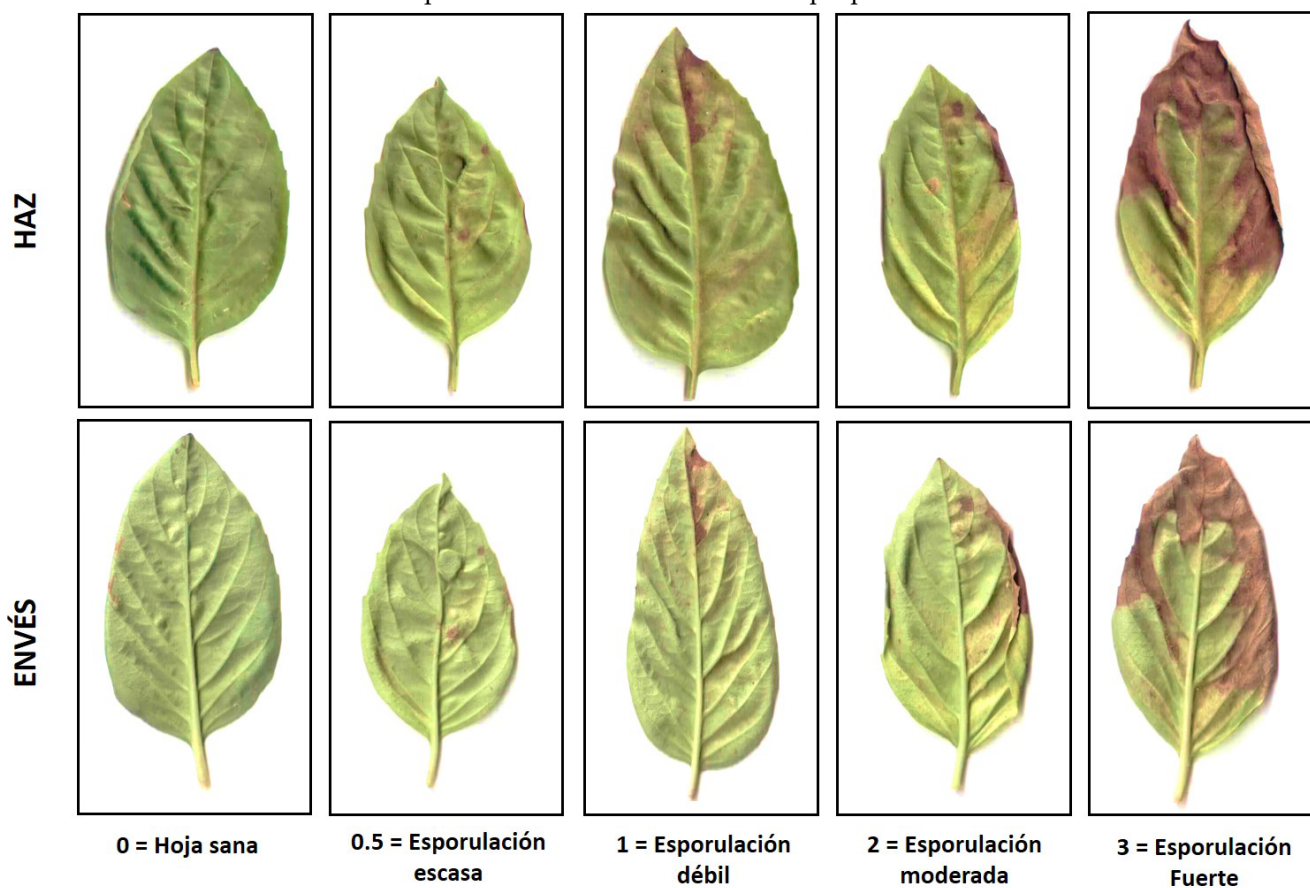


Figura 5. Síntomas de severidad de *P. belbahrii* en albahaca de acuerdo con Cohen, Rubin et al. (2013).

de humus y lixiviado para aumentar el rendimiento en la albahaca, al reducir la incidencia y severidad de las enfermedades, y mejorar la producción de albahaca bajo esquemas de manejo integrado.

Efecto de bioestimulantes en la morfometría de las plantas de albahaca

Longitud y biomasa

La aplicación de bioestimulantes mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la longitud de tallo y raíz de las plantas de albahaca, pero no en biomasa fresca, esto con respecto al control (Figuras 6a y 6b).

El tratamiento con humus, *Sargassum* spp. y el control fueron estadísticamente similares en la longitud del tallo (64 cm). Mientras que los tratamientos de lixiviado, *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens* y fertilizante, registraron una reducción en los tallos de 10 %, 9 %, 6 % y 12 %, respectivamente (Figura 6a). Una tendencia similar fue observada en la longitud de raíz de plantas tratadas con *Sargassum* spp., el control y *T. harzianum*, al mostrar el mayor valor (25 cm, 27 cm y 29 cm, respectivamente) y fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) con respecto al tratamiento de lixiviado (19 cm), humus (22 cm), *B. amyloliquefaciens* (23 cm) y el fertilizante (21 cm).

En biomasa tanto de tallo y como de raíz (Figura 6a), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos al presentar una respuesta similar. Sin embargo, con respecto al humus y *Sargassum* spp., se observó un aumento en la biomasa radicular de 60 g; mientras que una reducción se presentó en lixiviado, *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens* y fertilizante de 16 %, 20 %, 5 % y 18 %, respectivamente. Si bien ningún bioestimulante produjo efectos significativos en el crecimiento de albahaca, la mayoría de estos no afectó la biomasa de las plantas (Figura 6b).

Los resultados de la presente investigación permiten inferir que la efectividad de los bioestimulantes y su posible uso en el incremento del rendimiento del cultivo de albahaca dependerán de la frecuencia de sus aplicaciones o dosis, por lo que, a pesar de dicha respuesta en la planta, existe evidencia que demuestra los efectos positivos de este tipo de productos en el crecimiento de albahaca. Es así que se siguen considerando como una alternativa para su aplicación en dicho cultivo. Esto es consistente con lo señalado por Ali et al. (2021), quienes reportan que, en el caso de los biopro-

ductos derivados de macroalgas, se ha confirmado que poseen propiedades fitoestimuladoras que resultan en un incremento del crecimiento de la planta, así como en varios parámetros de producción en diversos cultivos importantes. Por su parte, Rehman et al. (2023) señalan que el humus, también llamado vermicompost, además de proporcionar macro y micronutrientes, contiene derivados tales como sustancias húmicas, ácidos fúlvicos, huminas y fitohormonas (auxinas, ácido giberélico y citoquininas) que estimulan el desarrollo de raíces laterales y su extensión. En el caso de los tratamientos donde se observó una reducción considerable en el crecimiento vegetativo respecto al control, se considera que los resultados también podrían estar relacionados con una posible aplicación de altas dosis, ya que existe evidencia de que mayor dosificación de algunos bioestimulantes pueden provocar una reducción en la longitud y biomasa de las plantas (Patanè et al., 2025). Al respecto, Baltazar et al. (2021) señalan que aún existen desafíos por dilucidar la naturaleza multimolecular y la composición variable de bioestimulantes disponibles comercialmente, así como sus mecanismos subyacentes.

Este estudio demuestra que los diferentes tipos de bioestimulantes influenciaron en la incidencia y severidad de *P. belbahrii*, así como en el crecimiento vegetativo del cultivo de albahaca. Obtener este tipo de conocimiento sobre la incidencia de la enfermedad y el desarrollo de las plantas en respuesta a la acción de bioestimulantes brinda una mejor comprensión de la fisiología del cultivo y la interacción con agentes patógenos. En particular, el control de patógenos de plantas mediante el uso de productos bioestimulantes mejora y optimiza el rendimiento y calidad de los cultivos, pero se debe considerar el tipo de bioproducto a utilizar, así como las dosis y la frecuencia de aplicación. Kumari et al. (2023) señalan que los bioestimulantes contienen sustancias biológicas como aminoácidos, hormonas, polisacáridos y sustancias húmicas que estimulan el metabolismo y el vigor de la planta, y que mejoran la producción, calidad y tolerancia al estrés biótico y abiótico cuando se aplican directamente o en la región rizosférica. Al respecto, De Pascale et al. (2018) indican que la hidrólisis térmica de algunos residuos vegetales es fuente rica de nitrógeno, de la cual se derivan las proteínas hidrolasas que actúan en la estimulación del crecimiento de la planta. Además, Ertani et al. (2013) reportan que este tipo de proteínas inducen el

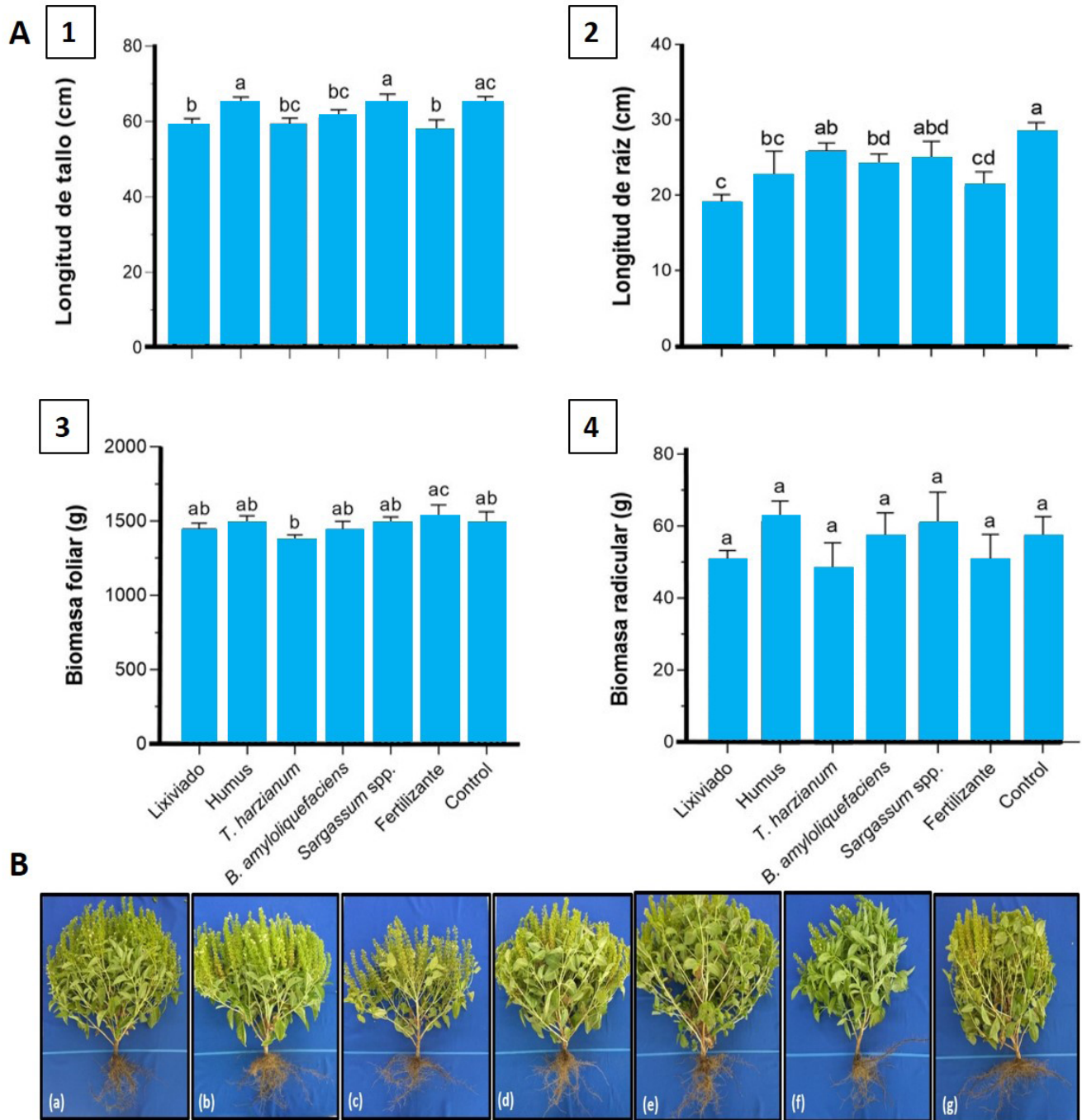


Figura 6. A) Efecto de bioestimulantes en la longitud de tallo y raíz de albahaca; las barras representan el error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas a ($p \leq 0.05$). B) Morfología de albahaca. a) Lixiviado, b) humus, c) T. harzianum, d) B. amyloliquefaciens, e) Sargassum spp., f) fertilizante y g) control.

mecanismo de defensa de la planta al incrementar la tolerancia al estrés abiótico y biótico. Bradley et al. (2022) señalan que las proteínas hidrolasas activan el sistema inmunológico de las plantas y actúan como patrones moleculares asociados a microbios o patrones moleculares que se relacionan con daños. Estas respuestas incluyen la producción de compuestos defensivos y especies reactivas de oxígeno, la deposición de polisacáridos y proteínas (lignina, callosa y glicoproteínas ricas en hidroxiprolina) que refuerzan o fortalecen las paredes celulares de las plantas y los sitios de infección, y, en algunos casos, una respuesta de muerte celular localizada (Dickman & Fluhr, 2013).

CONCLUSIONES

Los bioestimulantes tienen el potencial de inducir resistencia para el control de *P. belbahrii* en cultivo de albahaca cuando son aplicados en el tiempo y dosis apropiados. Los resultados confirmaron a *Peronospora belbahrii* como el agente causal asociado con el mildiu vellosa de albahaca, donde el humus y lixiviado redujeron la incidencia y severidad, por lo que deben ser considerados como alternativas viables para el manejo de la enfermedad. Sin embargo, los bioestimulantes no tuvieron un efecto significativo en la longitud y biomasa de las plantas de albahaca.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) que otorgó parte del financiamiento para la realización de la investigación de maestría. A la Universidad Autónoma de Baja California Sur por brindar la infraestructura necesaria para esta investigación. Al Departamento Académico de Agronomía y Posgrado por la oportunidad. A Mirella Romero-Bastidas por la presente investigación. A Pablo Misael Arce-Amezquita por su apoyo en el Laboratorio de Farmacognosia. A Maurilia Rojas-Contreras por su apoyo en el Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos. A José Saúl Hernández Rubio por su apoyo en el análisis estadístico.

LITERATURA CITADA

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K. J., Sujeeth, N., Bragança, R., & Gonçalves, B. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules*, 11(8), 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
- Belbahri, L., Calmin, G., Pawlowski, J., & Lefort, F. (2005). Phylogenetic analysis and real time PCR detection of a presumably undescribed *Peronospora* species on sweet basil and sage. *Mycology Research*, 109(11), 1276-1287. <https://doi.org/10.1017/S0953756205003928>
- Bradley, E. L., Ökmen, B., Doehlemann, G., Henrissat, B., Bradshaw, R. E., & Mesarich, C. H. (2022). Secreted glycoside hydrolase proteins as effectors and invasion patterns of plant-associated fungi and oomycetes. *Frontiers in Plant Science*, 13, 853106. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.853106>
- Cohen, Y., Rubín, A. E., Liu, X. L., Wang, W. Q., Zhang, Y. J., & Herman, D. (2013). First report on the occurrence of A2 mating type of the cucurbit downy mildew agent *Pseudoperonospora cubensis* in China. *Plant Disease*, 97(4), 559. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-12-0899-PDN>
- Cohen, Y., Vaknin, M., Ben-Naim, Y., & Rubín, A. E. (2013). Light suppresses sporulation and epidemics of *Peronospora belbahrii*. *PLoS ONE*, 8(11), e81282. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081282>
- De Pascale, S., Roupheal, Y., & Colla, G. (2018). Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticulture Science*, 82(6), 277-285. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2>
- Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano Díaz, C., Egidi, E., Wang, J.-T., Eisenhauer, N., Singh, B. K., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550-554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>
- Descalzo, R. C., Rahe, J. E., & Mauza, B. (1990). Comparative efficacy of induced resistance to selected diseases of greenhouse cucumber. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 12(1), 16-24. <https://doi.org/10.1080/07060669009501037>

- Dickman, M. B., & Fluhr, R. (2013). Centrality of host cell death in plant-microbe interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 51, 543-570. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-081211-173027>
- 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., Pizzeghello, D., Altissimo, A., & Nardi, S. (2013). Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(2), 287-295. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200020>
- Gudeta, K., Julka, J. M., Kumar, A., Bhagat, A., & Kumari, A. (2021). Vermiwash: An agent of disease and pest control in soil, a review. *Heliyon*, 7(3), e06434. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06434>
- Hasley, J. A. R., Navet, N., & Tian, M. (2021) CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of sweet basil candidate susceptibility gene ObDMR6 enhances downy mildew resistance. *PLoS ONE*, 16(6), e0253245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253245>
- Johnson, E. T., Kim, H.-S., Tian, M., Dudai, N., Tal, O., & Gonda, I. (2021). Dual transcriptional analysis of *Ocimum basilicum* and *Peronospora belbahrii* in susceptible interactions. *Plant Gene*, 29, 100350. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100350>
- Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K. K., & Kumar, A. (2023). Microbial inoculants as plant biostimulants: A review on risk status. *Life*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3390/life13010012>
- McGrath, M. T. (2020). Efficacy of conventional fungicides for downy mildew in field-grown sweet basil in the United States. *Plant Disease*, 104(11), 2967-2972. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2382-RE>
- Nadana, G. R. V., Rajesh, C., Kavitha, A., Sivakumar, P., Sridevi, G., & Palanichelvam, K. (2020). Induction of growth and defense mechanism in rice plants towards fungal pathogen by eco-friendly coelomic fluid of earthworm. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101011. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101011>
- Patanè, C. A., Pellegrino, A. A., Saito, A., Calcagno, S., Cosentino, S. L., Scandurra, A., & Cafaro, V. (2025). A study on the effect of biostimulant application on yield and quality of tomato under long-lasting water stress conditions. *Heliyon*, 11(1), e41187. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41187>
- Patel, J. S., Wyenandt, C. A., & McGrath, M. T. (2021). Effective downy mildew management in basil using resistant varieties, environment modifications, and fungicides. *Plant Health Progress*, 22, 226-234. <https://doi.org/10.1094/PHP-02-21-0041-Fi>
- Rehman, S. u., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(4), 1134. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>
- Romero-Bastidas, M., Murillo-Amador, B., Hernández-Montiel, L. G., Troyo-Diéguez, E., & Nieto-Garibay, A. (2022). Ecofisiología de *Ocimum basilicum* con termocondicionamiento y su efecto sobre *Peronospora belbahrii*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), e3491. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3491>
- Sari, A. L., Hasanuddin, L., & Lubis, L. (2021). The effectiveness of contact fungicides mancozeb in controlling potato leaf blight disease (*Phytophthora infestans* (Mont) de Barry) in Karo District in the wet month and in the laboratory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782, 042022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/4/042022>
- Simsek-Ersahin, Y. (2011). The use of vermicompost products to control plant diseases and pests. En A. Karada (Ed.), *Biology of Earthworms* (pp. 191-213). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_12
- Szczecz, M. M. (1999). Suppressiveness of vermicompost against Fusarium wilt of tomato. *Journal of Phytopathology*, 147(3), 155-161. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.147003155.x>
- Szczecz, M., & Smolińska, U. (2001). Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae*. *Journal of Phytopathology*, 149(2), 77-82. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2001.00586.x>
- Thines, M., Telle, S., Ploch, S., & Runge, F. (2009). Identity of the downy mildew pathogens of basil, coleus, and sage with implications for quarantine measures. *Mycological Research*, 113(5), 532-540. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2008.12.005>
- Wyenandt, C. A., Simon, J. E., Pyne, R. M., Homa, K., McGrath, M. T., Zhang, S., Raid, R. N., Ma, L.-J., Wick, R., Guo, L., & Madeiras, A. (2015). Basil downy mildew (*Peronospora belbahrii*): Discoveries and challenges

relative to its control. *Phytopathology*, 105(7), 885-894.
<https://doi.org/10.1094/PHTO-02-15-0032-FI>

Yatoo, A. M., Rasool, S., Ali, S., Majid, S., Rehman, M. U., Ali, M. N., Eachkoti, R., Rasool, S., Rashid, S. M., & Farooq, S. (2020). Vermicomposting: An ecofriendly approach for recycling/management of organic wastes. En K. R. Hakeem, R. A. Bhat & H. Qadri (Eds.), *Bioremediation and Biotechnology* (pp. 167-187). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_8

Zhang, G., Thompson, A., Schisler, D., & Johnson, E. T. (2019). Characterization of the infection process by *Peronospora belbahrii* on basil by scanning electron microscopy. *Heliyon*, 5(1), e01117. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01117>