



ISSN 2215-2202

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>



Artículo científico

Preparados agrohomeopáticos para modular *Plasmodiophora brassicae* en coliflor y repollo bajo condiciones de invernadero

Daniela Rodríguez-García^{1/*}, Marena Chavarría-Vega²

*Autora para correspondencia. Correo electrónico: daniela.rodriguez@ucr.ac.cr

¹Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Microbiología Agrícola, Área de Control Biológico, San José, Costa Rica. 

²Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Microbiología Agrícola, Área de Control Biológico, San José, Costa Rica. 

DOI: <https://doi.org/10.15517/jea9ed78>

Recibido el 05 de noviembre del 2025; Aceptado el 17 de diciembre del 2025

Resumen

Introducción. La hernia de las crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae*, constituye una de las enfermedades más limitantes en la producción de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y repollo (*B. oleracea* var. *capitata*), debido a la persistencia del patógeno en el suelo y a la severidad en los síntomas radiculares. **Objetivo.** Este estudio evaluó el efecto de preparados agrohomeopáticos sobre el crecimiento vegetal y la severidad de la enfermedad bajo condiciones de invernadero. **Materiales y métodos.** Se estableció un diseño completamente aleatorio, con 14 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento ($n = 10$), con una planta por maceta como unidad experimental. Se consideró tres productos agrohomeopáticos (*Arsenicum album*, *Sulphur* y *Phosphorus*), dos frecuencias de aplicación (cada 7 y 15 días) y dos tipos de suelo (esterilizado y no esterilizado), todos inoculados con *P. brassicae*. Se evaluó la longitud foliar y radical, peso fresco foliar y radical, peso seco foliar y severidad mediante escala ordinal. **Resultados.** Los resultados demostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos en todas las variables. El tratamiento con *Sulphur* aplicado cada siete días en suelo estéril presentó los mayores valores de crecimiento, con incrementos entre 98 y 116% en longitud foliar y reducciones superiores al 70% en la probabilidad de pertenecer a las categorías de severidad más altas respecto al control.

Conclusión. En general, los preparados evaluados demostraron capacidad para estimular el crecimiento vegetal y disminuir la expresión sintomática de la enfermedad bajo condiciones controladas, lo que sugiere su potencial como herramienta complementaria en sistemas de producción agrícola sostenible.

Palabras clave: agrohomeopatía; hernia de las crucíferas; *Sulphur*; *Arsenicum album*; *Phosphorus*.

Research article

Abstract

Agrohomeopathic preparations for the modulation of *Plasmodiophora brassicae* in cauliflower and cabbage under greenhouse conditions

Introduction. Clubroot, caused by *Plasmodiophora brassicae*, is one of the most limiting diseases affecting cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) and cabbage (*B. oleracea* var. *capitata*), due to the pathogen's long-term soil persistence and the severity of root symptoms. **Objective.** The objective of this study was to evaluate agrohomeopathic preparations on plant growth and disease severity under greenhouse conditions. **Materials and methods.** A completely randomized design was established with 14 treatments and 10 replicates per treatment, including three agrohomeopathic products (*Arsenicum album*, *Sulphur*, and *Phosphorus*), two application frequencies (every 7 and 15 days), and two soil conditions (sterilized and non-sterilized), all inoculated with *P. brassicae*. **Results.** Evaluated variables included leaf and root length, fresh leaf and root weight, leaf dry weight, and disease severity using an ordinal scale. Significant differences ($p \leq 0.05$) were observed among treatments for all variables. Weekly application of *Sulphur* in sterile soil resulted in the highest growth responses, with increases between 98 and 116% in leaf length and reductions exceeding 70% in the probability of belonging to the highest severity categories compared to the control. **Conclusions.** Overall, the evaluated preparations demonstrated the ability to enhance vegetative growth and reduce symptom expression under controlled conditions, suggesting their potential as complementary tools within sustainable agricultural production systems.

Keywords: agrohomeopathy; clubroot; *Sulphur*; *Arsenicum album*; *Phosphorus*.

Introducción

La hernia de las crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae*, es una de las enfermedades más persistentes y económicamente relevantes en cultivos de la familia Brassicaceae. Este patógeno del suelo induce hipertrofia radicular, alteración en la absorción de nutrientes y reducción significativa del rendimiento, especialmente en cultivos como coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y repollo (*B. oleracea* var. *capitata*) (Suwabe et al., 2006; Pulido et al., 2014). La capacidad del patógeno para sobrevivir en forma de esporas de resistencia durante varios años dificulta su control mediante estrategias convencionales y limita la efectividad de prácticas culturales o químicas tradicionales.

El manejo de *P. brassicae* se ha basado principalmente en rotación de cultivos, encalado del suelo y uso de variedades tolerantes. Sin embargo, estas estrategias no siempre resultan suficientes en condiciones de alta presión del patógeno (Vargas et al., 2022). En este contexto, la búsqueda de alternativas sostenibles ha cobrado relevancia, especialmente aquellas orientadas a fortalecer la respuesta fisiológica de la planta frente a la infección.

La agrohomeopatía ha sido propuesta como una herramienta emergente dentro de sistemas agrícolas de bajo impacto ambiental. Diversos estudios han reportado efectos de preparados dinamizados sobre parámetros fisiológicos y fitopatológicos en plantas sometidas a estrés biótico y abiótico (Betti et al., 2009; Lösch et al., 2021). En modelos vegetales experimentales, se ha observado que ciertas diluciones pueden modificar la respuesta de crecimiento, modular la expresión sintomática y contribuir a la regulación homeostática del organismo vegetal (Betti et al., 2003; Shah-Rossi et al., 2009). No obstante, la reproducibilidad y el alcance agronómico de estos efectos aún son objeto de debate científico.

El papel del suelo en la dinámica de la enfermedad es determinante, ya que la microbiota edáfica puede influir en la severidad de la infección, pues favorece o limita la proliferación del patógeno (Khalid et al., 2022). La comparación entre suelo esterilizado y no esterilizado permite explorar, bajo condiciones controladas, la posible interacción entre los preparados agrohomeopáticos y los microorganismos presentes en el sistema. Este enfoque contribuye a comprender si la respuesta observada es atribuible exclusivamente a la planta o si está mediada por interacciones microbiológicas, dado que la supresión biológica de la hernia depende en gran medida de la comunidad microbiana del suelo (Suwabe et al., 2006; Khalid et al., 2022).

Considerando la necesidad de alternativas complementarias en el manejo de *P. brassicae* y el interés creciente en tecnologías agrícolas sostenibles, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de preparados agrohomeopáticos (*Arsenicum album*, *Sulphur* y *Phosphorus*) sobre el crecimiento vegetal y la severidad de la enfermedad en coliflor y repollo bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Ubicación. El ensayo se realizó en el invernadero del Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR), en San Pedro de Montes de Oca, en julio de 2020. Durante el período experimental, las condiciones climáticas externas presentaron temperaturas entre 17,9 y 25,1 °C, con un promedio de precipitación de 242,0 mm. Dentro del invernadero, se registraron temperaturas entre 28 y 30 °C, con una humedad relativa mantenida entre 75 y 80%.

Material vegetal. Para los ensayos, se utilizaron plántulas de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y repollo (*B. oleracea* var. *capitata*). Dichos ensayos se realizaron de forma independiente para cada especie, utilizando el mismo diseño experimental y las mismas condiciones de invernadero. De esta manera, cada cultivo constituyó un experimento separado con su propio conjunto de tratamientos y repeticiones.

Inoculación con *Plasmodiophora brassicae*. Las raíces enfermas recolectadas en campo fueron lavadas y maceradas en agua destilada esterilizada para obtener una suspensión de esporas, que se ajustó a una concentración de 1×10^7 esporas mL⁻¹. Se aplicaron 5 mL de la suspensión directamente en la zona radicular al momento del trasplante.

Preparación de los preparados agrohomeopáticos. Los productos utilizados correspondieron a diluciones centesimales hahnemannianas (30CH). Este enfoque implica diluciones sucesivas de 1:100. Su selección se basó en antecedentes experimentales reportados en experimentos vegetales (Betti et al., 2009). Las aplicaciones se realizaron vía riego directo al sustrato según la frecuencia establecida en cada tratamiento.

Las diluciones utilizadas (a una potencia de 30CH) corresponden a preparaciones centesimales hahnemannianas obtenidas mediante diluciones sucesivas de 1:100 con dinamización mecánica entre cada etapa. Esta potencia implica una dilución teórica de 10^{-60} respecto a la sustancia original y supera ampliamente el número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$). En consecuencia, desde el punto de vista fisicoquímico, no se espera la presencia de moléculas detectables del compuesto inicial en la solución final. Bajo estas condiciones, los preparados no constituyen una fuente de exposición toxicológica directa al elemento de origen, sino estímulos dinamizados empleados conforme a protocolos experimentales reportados en modelos vegetales (Betti et al., 2009).

Diseño experimental. Se estableció un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial $3 \times 2 \times 2$ más dos controles, para un total de 14 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento para cada especie.

Los factores evaluados fueron:

- Producto agrohomeopático (Producto): *Arsenicum album*, *Sulphur* y *Phosphorus*
- Frecuencia de aplicación (Frecuencia): cada 7 días y cada 15 días
- Tipo de suelo (Suelo): esterilizado y no esterilizado

Se incluyeron dos tratamientos control:

- Suelo esterilizado inoculado
- Suelo no esterilizado inoculado

Cada unidad experimental consistió en una planta individual cultivada en una maceta, considerada de manera independiente para cada especie evaluada (coliflor o repollo).

Se incluyeron dos tratamientos control correspondientes a suelo estéril y no estéril inoculados sin aplicación de preparados agrohomeopáticos, para un total de 14 tratamientos (**Tabla 1**). El diseño experimental fue completamente al azar, con 10 repeticiones por tratamiento; cada maceta con una planta constituyó una unidad experimental.

Las aplicaciones se realizaron mediante riego dirigido al sustrato (drench), con una bomba manual, aplicando 20 mL de la solución alrededor de la base de cada planta. La primera se efectuó el día del trasplante y las posteriores se realizaron conforme a la frecuencia asignada (cada 7 o 15 días).

Tabla 1. Tratamientos aplicados con su respectivo código utilizado en figuras y análisis.**Table 1.** Treatments applied with corresponding codes used in figures and analyses.

Código	Color	Tipo de suelo	Producto agrohomeopático	Potencia	Frecuencia de aplicación	Descripción del tratamiento
T1	●	Estéril	<i>Arsenicum album</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo estéril + <i>Arsenicum</i> cada 7 días + raíces infectadas
T2	●	Estéril	<i>Arsenicum album</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo estéril + <i>Arsenicum</i> cada 15 días + raíces infectadas
T3	●	No estéril	<i>Arsenicum album</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo no estéril + <i>Arsenicum</i> cada 7 días + raíces infectadas
T4	●	No estéril	<i>Arsenicum album</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo no estéril + <i>Arsenicum</i> cada 15 días + raíces infectadas
T5	●	Estéril	<i>Sulphur</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo estéril + <i>Sulphur</i> cada 7 días + raíces infectadas
T6	●	Estéril	<i>Sulphur</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo estéril + <i>Sulphur</i> cada 15 días + raíces infectadas
T7	●	No estéril	<i>Sulphur</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo no estéril + <i>Sulphur</i> cada 7 días + raíces infectadas
T8	●	No estéril	<i>Sulphur</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo no estéril + <i>Sulphur</i> cada 15 días + raíces infectadas
T9	●	Estéril	<i>Phosphorus</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo estéril + <i>Phosphorus</i> cada 7 días + raíces infectadas
T10	●	Estéril	<i>Phosphorus</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo estéril + <i>Phosphorus</i> cada 15 días + raíces infectadas
T11	●	No estéril	<i>Phosphorus</i>	30CH	Cada 7 días	Suelo no estéril + <i>Phosphorus</i> cada 7 días + raíces infectadas
T12	●	No estéril	<i>Phosphorus</i>	30CH	Cada 15 días	Suelo no estéril + <i>Phosphorus</i> cada 15 días + raíces infectadas
T13	●	Estéril	Control	—	—	Suelo estéril + raíces infectadas
T14	●	No estéril	Control	—	—	Suelo no estéril + raíces infectadas

Variables evaluadas. A los 60 días después de la siembra se evaluaron las siguientes variables:

- Longitud foliar (cm)
- Longitud radical (cm)
- Peso fresco foliar (g)
- Peso fresco radical (g)
- Peso seco foliar (g), después de secado a 70 °C hasta peso constante
- Severidad de la enfermedad

Evaluación de severidad. La severidad de la enfermedad se evaluó mediante la escala ordinal previamente desarrollada por Rodríguez-García et al. (2025), la cual clasifica el grado de afectación del sistema radical en seis categorías (0–5), donde 0 corresponde a raíces sanas y 5 a la pérdida total del sistema radical. Esta escala fue validada en condiciones de invernadero bajo infección controlada con *Plasmodiophora brassicae* (**Tabla 2**).

A diferencia de un índice porcentual continuo de severidad, la variable fue tratada como respuesta ordinal categórica y se analizó mediante regresión logística acumulativa, estimando probabilidades por categoría de daño en función del tratamiento aplicado.

Tabla 2. Escala de severidad utilizada para evaluar los síntomas de la enfermedad causada por *Plasmodiophora brassicae* (Rodríguez-García et al., 2025).

Table 2. Severity scale for evaluating disease symptoms caused by *Plasmodiophora brassicae* (Rodríguez-García et al., 2025).

Escala	Grado de enfermedad
0	Ningún síntoma
1	Daño moderado en raíces laterales
2	Daño <25% en raíces laterales
3	Daño <50% en el sistema radical
4	Daño >50% en el sistema radical
5	Daño al 100% (Total del sistema radical)

Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas, se aplicó un análisis de varianza factorial bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + P_j + F_k + (SP)_{ij} + (SF)_{ik} + (PF)_{jk} + (SPF)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = valor observado de la variable respuesta

μ = media general

S_i = efecto del tipo de suelo

P_j = efecto del producto agrohomeopático

F_k = efecto de la frecuencia de aplicación

$(SP)_{ij}$ = interacción suelo $\times$ producto

$(SF)_{ik}$ = interacción suelo $\times$ frecuencia

$(PF)_{jk}$ = interacción producto $\times$ frecuencia

$(SPF)_{ijk}$ = interacción triple suelo $\times$ producto $\times$ frecuencia

ε_{ijkl} = error experimental asociado a la observación

Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), las medias se compararon mediante la prueba Honestly significant difference de Tukey (HSD-Tukey).

Para la variable severidad, se ajustó un modelo de regresión logística ordinal, estimando la probabilidad de pertenecer a cada categoría de la escala en función del tratamiento aplicado.

Todos los análisis se realizaron con el software R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023).

Resultados

El análisis de varianza factorial (Suelo $\times$ Producto $\times$ Frecuencia) evidenció efecto significativo del tipo de suelo en todas las variables evaluadas ($p < 0,001$). Asimismo, se detectó una interacción altamente significativa Producto $\times$ Frecuencia ($p < 0,001$), lo que indica que la respuesta dependió de la combinación entre preparado agrohomeopático y periodicidad de aplicación. La interacción de los tres factores (Suelo $\times$ Producto $\times$ Frecuencia) también mostró efecto significativo en las variables de crecimiento y biomasa ($p < 0,05$), lo que sugiere que la magnitud de la respuesta estuvo modulada por el contexto edáfico bajo condiciones de invernadero (**Tabla 3**).

Tabla 3. Valores de p del análisis de varianza factorial (Suelo $\times$ Producto $\times$ Frecuencia) para las variables evaluadas bajo condiciones de invernadero.

Table 3. p -values from the factorial analysis of variance (Soil $\times$ Product $\times$ Frequency) for the variables evaluated under greenhouse conditions.

Factor	Variable				
	Longitud foliar	Longitud de raíz	Peso fresco foliar	Peso fresco de raíz	Peso seco foliar
Suelo (S)	$3,03 \times 10^{-15}$	$2,51 \times 10^{-4}$	$2,51 \times 10^{-10}$	$3,24 \times 10^{-7}$	$7,45 \times 10^{-7}$
Producto (P)	ns	ns	ns	ns	ns
Frecuencia (F)	ns	ns	ns	ns	ns
S $\times$ P	ns	ns	ns	ns	ns
S $\times$ F	ns	ns	ns	ns	ns
P $\times$ F	$5,60 \times 10^{-40}$	$2,39 \times 10^{-20}$	$2,18 \times 10^{-44}$	$5,84 \times 10^{-16}$	$8,48 \times 10^{-23}$
S $\times$ P $\times$ F	$1,62 \times 10^{-21}$	$9,48 \times 10^{-8}$	$8,30 \times 10^{-3}$	$3,32 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-2}$

ns: sin diferencias significativas

Longitud foliar

El análisis de varianza factorial (Suelo $\times$ Producto $\times$ Frecuencia) evidenció efecto significativo del tipo de suelo ($p < 0,001$) y una interacción altamente significativa Producto $\times$ Frecuencia ($p < 0,001$), así como interacción triple significativa ($p < 0,05$) para la longitud foliar (**Tabla 3**), indicando que la respuesta dependió simultáneamente del contexto edáfico, el preparado aplicado y la periodicidad de aplicación (**Figura 1 y 2**).

En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días en el suelo estéril (T5) registró la mayor media para esta variable con $78,44 \pm 1,73$ cm, mientras que el tratamiento control en suelo estéril (T13) presentó un valor de $36,27 \pm 0,68$ cm, lo que representa un incremento aproximado del 116%. El tratamiento *Sulphur* aplicado cada 15 días (T6) alcanzó $62,54 \pm 1,70$ cm, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días (T9) registró $58,52 \pm 3,23$ cm. Los tratamientos con *Arsenicum album* mostraron valores entre $33,56 \pm 0,83$ cm (T2) y $44,93 \pm 1,23$ cm (T3), sin superar consistentemente a los tratamientos con *Sulphur* aplicado en suelo esterilizado.

En repollo, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días en suelo estéril (T5) presentó $42,04 \pm 1,28$ cm, frente a $21,27 \pm 1,86$ cm del tratamiento control en suelo esterilizado (T13), equivalente a un incremento aproximado del 98%.

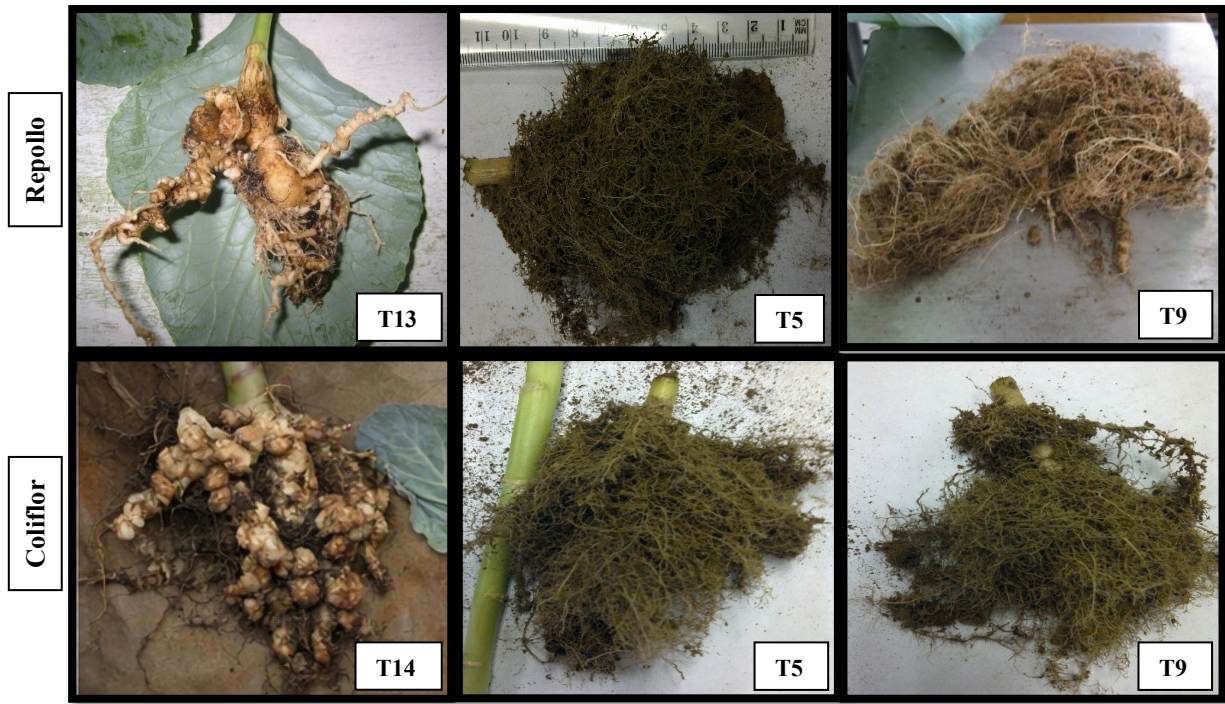


Figura 1. Comparación visual del sistema radical en plantas de repollo (fila superior) y coliflor (fila inferior) correspondientes a los tratamientos T5 y T9, en contraste con los tratamientos testigo T13–T14, bajo condiciones controladas de invernadero.

Figure 1. Visual comparison of the root system in cabbage plants (upper row) and cauliflower plants (lower row) corresponding to treatments T5 and T9, in contrast with the control treatments T13–T14, under controlled greenhouse conditions.

El tratamiento *Sulphur* cada 15 días (T6) registró $39,95 \pm 2,21$ cm, mientras que *Phosphorus* cada 7 días (T9) presentó $35,52 \pm 3,35$ cm. Las diferencias entre tratamientos fueron confirmadas mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), evidenciando grupos estadísticamente diferenciados (**Figura 1**).

Longitud radical

El análisis de varianza factorial evidenció efecto significativo del tipo de suelo ($p < 0,001$) y una interacción significativa Producto $\times$ Frecuencia ($p < 0,001$) para la longitud radical (**Tabla 3**).

En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días en un suelo esterilizado (T5) presentó la mayor media con $22,28 \pm 0,26$ cm, en comparación con $13,46 \pm 0,29$ cm del control estéril (T13), lo que representa un incremento aproximado del 65%. El tratamiento *Sulphur* aplicado cada 15 días (T6) registró $18,36 \pm 1,07$ cm, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días (T9) alcanzó $16,67 \pm 0,56$ cm (**Figura 2 y 3**).

En repollo, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días (T5) registró $28,53 \pm 0,52$ cm, frente a $9,88 \pm 0,28$ cm obtenido en el control en suelo esterilizado, lo que equivale a un incremento aproximado del 189%. *Sulphur* aplicado cada 15 días presentó $26,35 \pm 1,36$ cm, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días alcanzó $22,19 \pm 0,75$ cm. Las diferencias ($\alpha = 0,05$) fueron confirmadas mediante prueba de Tukey (**Figuras 2 y 3**).

Biomasa fresca foliar

Para el peso fresco foliar, se detectaron efectos significativos del suelo y de la interacción Producto $\times$ Frecuencia (**Tabla 2**; $p < 0,001$). En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días (T5) registró $190,66 \pm 2,92$ g, mientras que el control en suelo esterilizado presentó $100,19 \pm 1,77$ g, equivalente a un incremento del 90%. El tratamiento *Sulphur* aplicado cada 15 días alcanzó $177,44 \pm 3,02$ g, y *Phosphorus* aplicado cada 7 días $155,35 \pm 9,58$ g (**Figura 4**).

En repollo, *Sulphur* aplicado cada 7 días presentó $211,66 \pm 3,40$ g, frente a $105,79 \pm 0,64$ g del tratamiento control, representando un incremento aproximado del 100%. *Sulphur* aplicado cada 15 días registró $202,54 \pm 2,96$ g, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días alcanzó $201,25 \pm 1,86$ g (**Figura 2**).

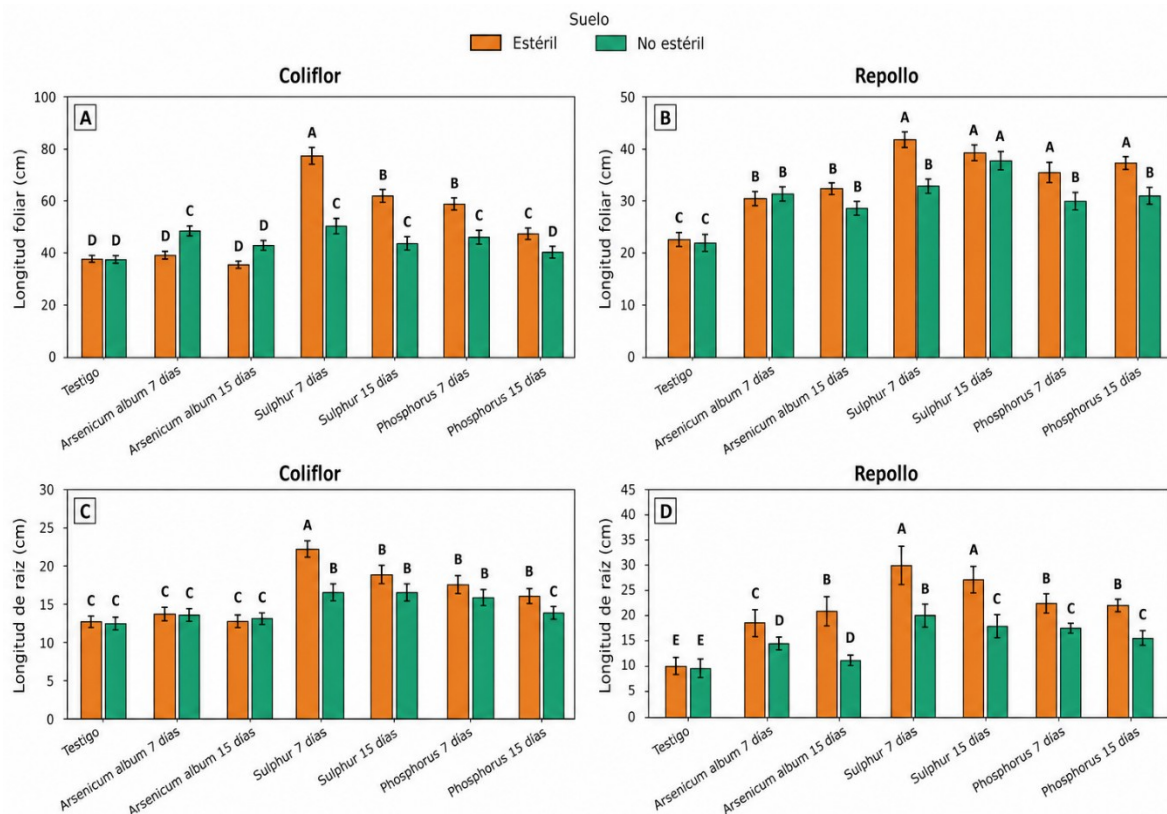


Figura 2. Efecto de los tratamientos agrohomoepáticos sobre la longitud foliar y la longitud de raíz en plantas de coliflor y repollo infectadas con *Plasmodiophora brassicae* bajo condiciones de invernadero. Panel A: longitud foliar en coliflor; Panel B: longitud foliar en repollo; Panel C: longitud de raíz en coliflor; Panel D: longitud de raíz en repollo. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Barras naranjas corresponden a suelo estéril y barras verdes a suelo no estéril. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figure 2. Effect of agrohomoepathic treatments on leaf and root length of cauliflower and cabbage plants infected with *Plasmodiophora brassicae* under greenhouse conditions. Panel A: leaf length in cauliflower; Panel B: leaf length in cabbage; Panel C: root length in cauliflower; Panel D: root length in cabbage. Bars represent mean values $\pm$ standard error. Orange bars indicate sterile soil, and green bars indicate non-sterile soil. Means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$).

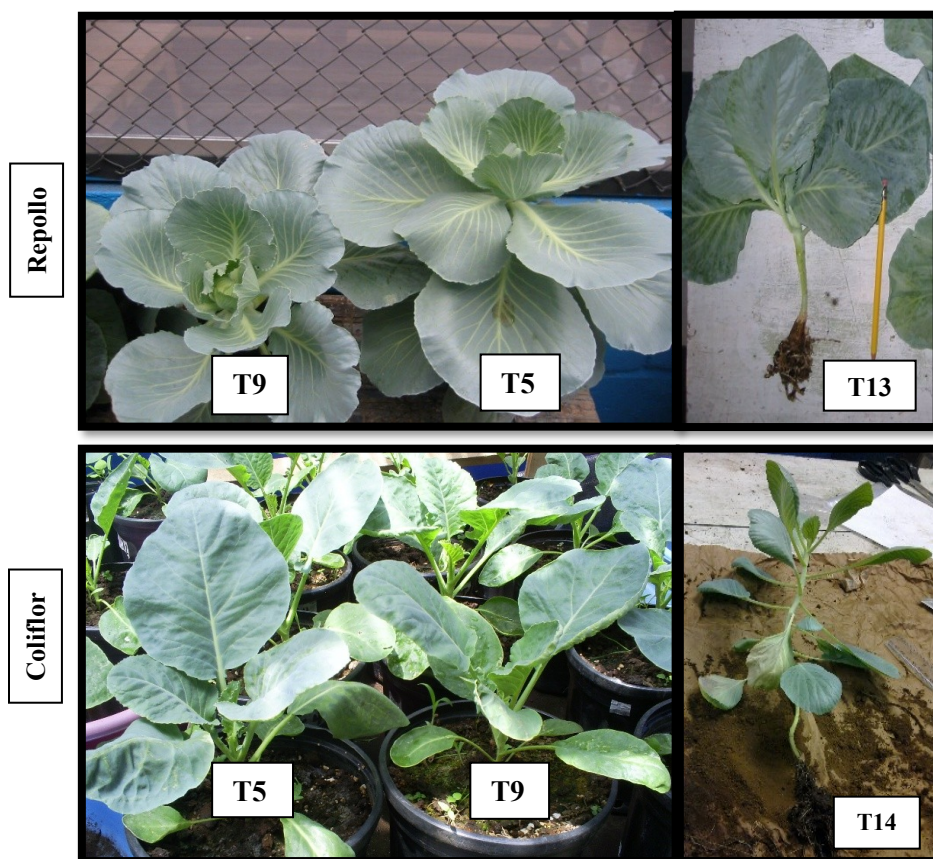


Figura 3. Comparación visual de la parte aérea en repollo (fila superior) y coliflor (fila inferior) bajo condiciones controladas de invernadero. Se muestran los tratamientos T5 y T9 en contraste con los tratamientos testigo T13 (suelo estéril) y T14 (suelo no estéril).

Figure 3. Visual comparison of the aerial part in cabbage (upper row) and cauliflower (lower row) under controlled greenhouse conditions. Treatments T5 and T9 are shown in contrast with the control treatments T13 (sterile soil) and T14 (non-sterile soil).

Biomasa fresco radical

En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días (T5) presentó $25,83 \pm 1,71$ g, frente a $12,78 \pm 0,82$ g del tratamiento control aplicado en un suelo estéril ($\approx 102\%$ de incremento). *Sulphur* aplicado cada 15 días alcanzó $21,70 \pm 0,97$ g, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días registró $18,71 \pm 0,35$ g (Figura 4).

En repollo, *Sulphur* aplicado cada 7 días presentó $40,83 \pm 2,78$ g, comparado con $26,58 \pm 1,41$ g del control. *Sulphur* aplicado cada 15 días registró $38,70 \pm 1,55$ g, y *Phosphorus* aplicado cada 7 días $37,61 \pm 0,55$ g (Figura 4).

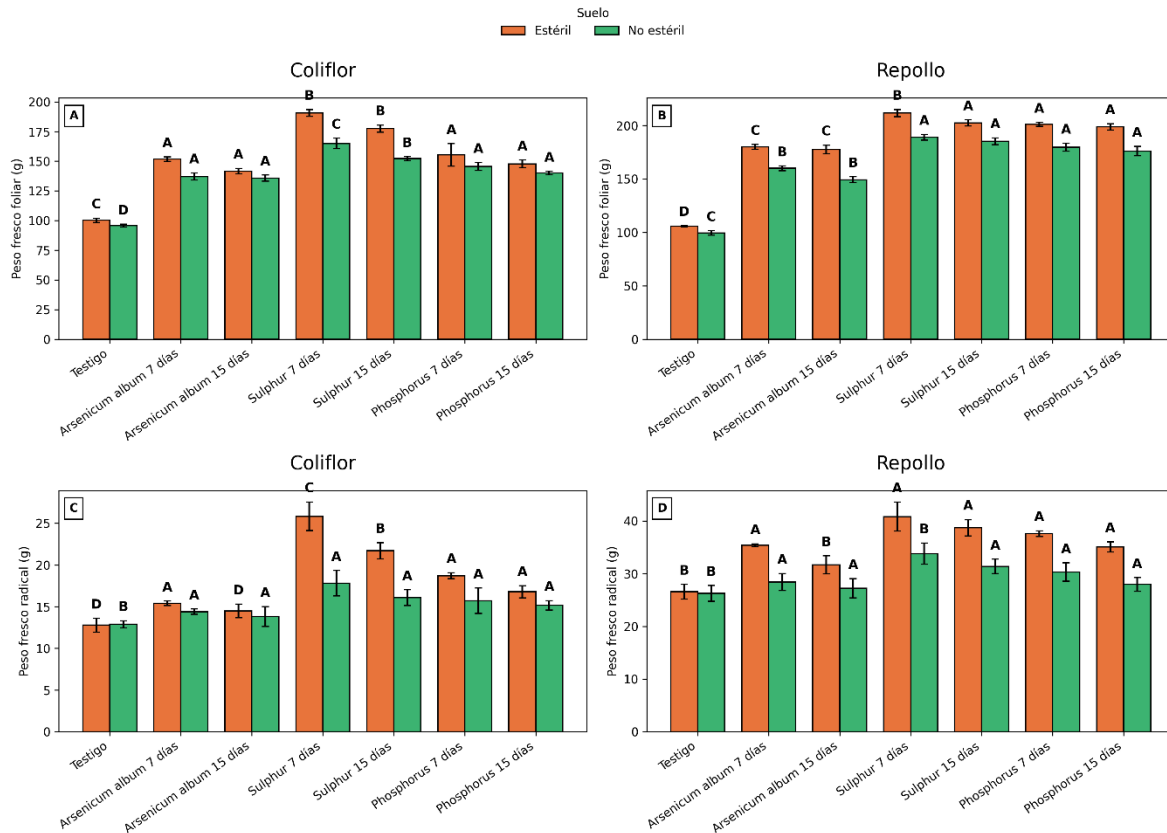


Figura 4. Efecto de tratamientos agrohomeopáticos sobre el peso fresco foliar y radical en plantas de coliflor (A, C) y repollo (B, D) infectadas con *Plasmodiophora brassicae* bajo condiciones de invernadero. San Pedro, Costa Rica, 2020. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Barras naranjas corresponden a suelo estéril y barras verdes a suelo no estéril. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figure 4. Effect of agrohhomeopathic treatments on leaf and root fresh weight in cauliflower (A, C) and cabbage (B, D) plants infected with *Plasmodiophora brassicae* under greenhouse conditions. San Pedro, Costa Rica, 2020. Bars represent mean values $\pm$ standard error. Orange bars correspond to sterile soil and green bars to non-sterile soil. Means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$).

Biomasa seca foliar

El peso seco foliar demostró diferencias significativas ($p < 0,001$). En coliflor, *Sulphur* aplicado cada 7 días registró $20,83 \pm 2,20$ g, mientras que el tratamiento control presentó $8,22 \pm 0,38$ g, lo que representa un incremento del 153%. *Sulphur* aplicado cada 15 días alcanzó $18,14 \pm 0,95$ g, y *Phosphorus* aplicado cada 7 días $16,71 \pm 0,63$ g (Figura 5).

En repollo, *Sulphur* aplicado cada 7 días registró $31,63 \pm 1,52$ g, frente a $16,22 \pm 0,60$ g del tratamiento control (un 95% superior). El tratamiento *Sulphur* aplicado cada 15 días presentó un valor de $30,14 \pm 1,44$ g, mientras que *Phosphorus* aplicado cada 7 días alcanzó $29,71 \pm 0,95$ g (Figura 5).

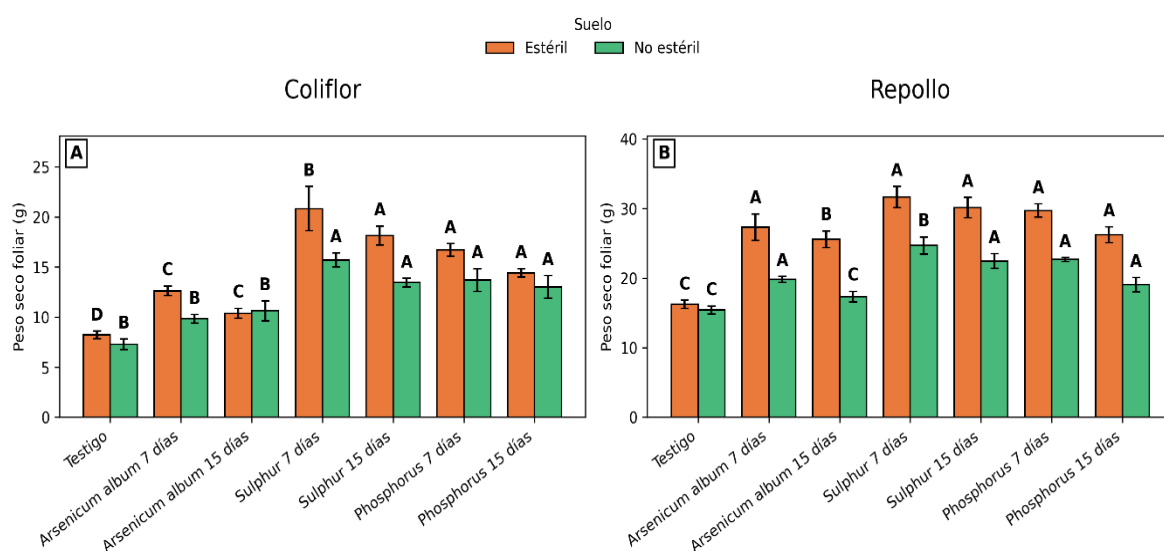


Figura 5. Efecto de los tratamientos agrohhomeopáticos sobre el peso seco foliar (PSF) en plantas de coliflor (A) y repollo (B) infectadas con *Plasmodiophora brassicae* bajo condiciones de invernadero. San Pedro, Costa Rica, 2020. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). PSF = peso seco foliar (g).

Figure 5. Effect of agrohhomeopathic treatments on leaf dry weight (LDW) in cauliflower (A) and cabbage (B) plants infected with *Plasmodiophora brassicae* under greenhouse conditions. San Pedro, Costa Rica, 2020. Bars represent mean $\pm$ standard error. Means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test ($p \leq 0.05$). LDW = leaf dry weight (g).

Severidad de la enfermedad

El análisis de severidad evidenció diferencias en la distribución de las categorías de la escala de severidad entre tratamientos, cultivos y tipos de suelo (**Figura 6**). En coliflor, tanto en suelo estéril como en suelo no estéril, los tratamientos con *Sulphur*, particularmente cuando se aplicó cada 7 días, presentaron una mayor proporción de plantas en las categorías de menor severidad (0 - 3). En contraste, los tratamientos testigo mostraron una concentración predominante de plantas en la categoría de severidad 5, asociada al mayor nivel de daño ocasionado por *Plasmodiophora brassicae*. Los tratamientos con *Arsenicum album* y *Phosphorus* presentaron distribuciones intermedias, con proporciones variables de plantas en categorías de severidad moderada y alta.

En repollo, se observó una tendencia similar. Los tratamientos con *Sulphur*, especialmente bajo aplicaciones cada 7 días, registraron una mayor proporción de plantas en categorías de baja severidad, mientras que los tratamientos testigo concentraron la mayor proporción de individuos en la categoría 5. En general, los resultados sugieren que los tratamientos con *Sulphur* favorecieron una reducción de la severidad de la enfermedad en comparación con los controles, independientemente del tipo de suelo evaluado.

Discusión

El presente estudio demuestra que la respuesta vegetal frente a *Plasmodiophora brassicae* no fue consistente, sino dependiente de la interacción entre tipo de suelo, preparado agrohomeopático y frecuencia de aplicación, tal como evidenció la significancia estadística de la interacción Producto $\times$ Frecuencia y de la interacción triple (Suelo $\times$ Producto $\times$ Frecuencia). Este hallazgo es fundamental, ya que indica que el efecto observado no puede atribuirse únicamente al producto aplicado, sino al contexto experimental en el que se desarrolla la planta. En este sentido, los preparados dinamizados actuaron como moduladores, cuya expresión dependió del entorno edáfico y de la periodicidad del estímulo.

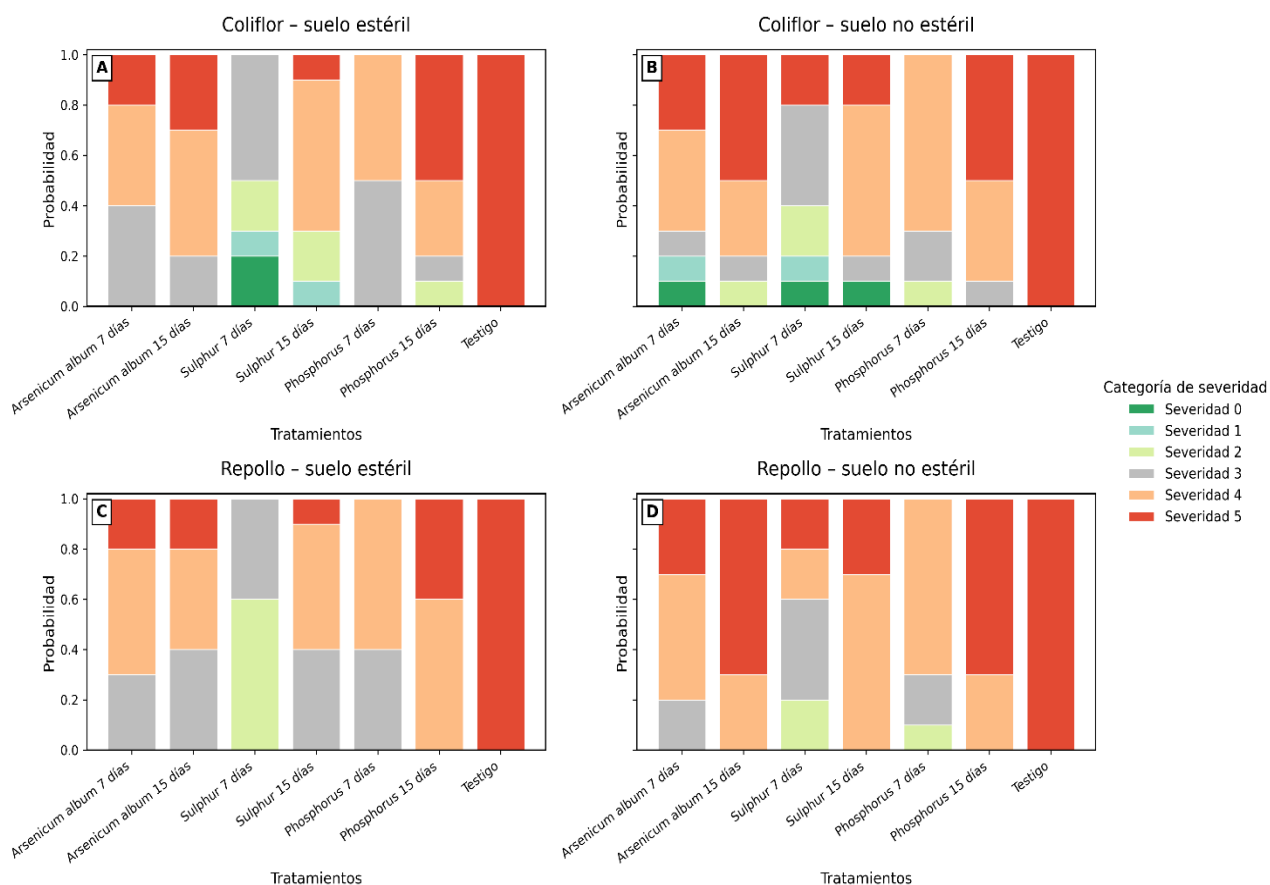


Figura 6. Probabilidad de pertenecer a cada categoría de la escala de severidad (0–5) en plantas de coliflor y repollo tratadas con preparados agrohomeopáticos para el control de *Plasmodiophora brassicae* bajo condiciones de invernadero. Panel A: coliflor en suelo estéril; Panel B: coliflor en suelo no estéril; Panel C: repollo en suelo estéril; Panel D: repollo en suelo no estéril. Las barras apiladas representan las probabilidades estimadas para cada categoría de severidad en función de los tratamientos *Arsenicum album* (7 y 15 días), *Sulphur* (7 y 15 días), *Phosphorus* (7 y 15 días) y el tratamiento testigo. San Pedro, Costa Rica, 2020.

Figure 6. Probability of belonging to each disease severity category (0–5) in cauliflower and cabbage plants treated with agrohhomeopathic preparations for the control of *Plasmodiophora brassicae* under greenhouse conditions. Panel A: cauliflower in sterile soil; Panel B: cauliflower in non-sterile soil; Panel C: cabbage in sterile soil; Panel D: cabbage in non-sterile soil. Stacked bars represent the estimated probabilities for each severity category according to treatments consisting of *Arsenicum album* (7 and 15 days), *Sulphur* (7 and 15 days), *Phosphorus* (7 and 15 days), and untreated control. San Pedro, Costa Rica, 2020.

Efecto de los preparados en la longitud foliar en plantas Brassicáceas

La longitud foliar fue una de las variables más sensibles al tratamiento. En coliflor, el incremento de $78,44 \pm 1,73$ cm con *Sulphur* aplicado cada 7 días en suelo estéril, frente a $36,27 \pm 0,68$ cm del control representa un aumento del 116%, magnitud que difícilmente puede atribuirse a variación aleatoria, considerando la consistencia del error estándar. Un patrón similar se observó en repollo, donde el mismo tratamiento ($42,04 \pm 1,28$ cm) casi duplicó la longitud foliar respecto al tratamiento control ($21,27 \pm 1,86$ cm).

Estos resultados son coherentes con estudios previos en modelos vegetales en los que preparados dinamizados han inducido modificaciones significativas en parámetros de crecimiento (Majewsky et al., 2009). Asimismo, revisiones de investigación básica en agrohomeopatía señalan que las plantas constituyen uno de los principales sistemas experimentales para evaluar los efectos biológicos de preparaciones altamente diluidas, con reportes de respuestas específicas asociadas a determinadas potencias (Van Wijk & Albrecht, 2007). De manera similar, estudios con reguladores de crecimiento vegetal preparados mediante procesos de dilución y succusión. Este último término es definido como una agitación mecánica vigorosa utilizada durante la preparación de diluciones homeopáticas, sugieren que dicho procedimiento podría actuar como un mecanismo de activación física de las soluciones (Kokornaczyk et al., 2020).

En el presente trabajo, la respuesta fue dependiente de la frecuencia de aplicación, ya que los tratamientos cada 15 días mostraron incrementos menores, lo que sugiere que la estimulación podría requerir una señal periódica para sostenerse fisiológicamente. Este comportamiento es compatible con reportes que describen diferencias estructurales detectables entre muestras succusionadas y no succusionadas (Kokornaczyk et al., 2020).

El efecto más marcado en suelo estéril indica que la microbiota edáfica podría modular la magnitud de la respuesta, posiblemente mediante interacciones rizosféricas. Sin embargo, la persistencia del incremento en suelo no estéril demuestra que el estímulo también opera en sistemas biológicamente activos, lo cual es consistente con el enfoque agrohomeopático de fortalecimiento integral del cultivo (Tichavsky, 2007).

Efecto de los preparados en la longitud de radical en plantas *Brasicáceas*

El sistema radical mostró respuestas aún más pronunciadas, especialmente en repollo, donde *Sulphur* aplicado cada 7 días alcanzó $28,53 \pm 0,52$ cm frente a $9,88 \pm 0,28$ cm del control, lo que representa un incremento cercano al 189%. Esta magnitud sugiere que la modulación inducida no solo favoreció elongación superficial, sino exploración radicular efectiva bajo presión patogénica.

La literatura ha documentado que ciertos preparados dinamizados pueden influir en el crecimiento radical y en la regulación del balance hormonal (Shah-Rossi et al., 2009). Aunque en este estudio no se evaluaron marcadores hormonales, la coherencia entre aumento de longitud y aumento de biomasa radical refuerza la hipótesis de que el efecto observado no fue meramente morfológico, sino funcional. La interacción significativa Producto $\times$ Frecuencia indica que la respuesta radical no dependió únicamente del tipo de preparado, sino de la periodicidad del estímulo, lo cual aporta evidencia experimental sobre la importancia del manejo temporal en agrohomeopatía.

Biomasa fresca foliar y fresca radical en plantas *Brasicáceas*: efecto de los preparados

El peso fresco foliar constituyó una de las variables con mayor consistencia estadística en ambas especies, evidenciando efectos significativos del producto y de la interacción Producto $\times$ Frecuencia ($p < 0,001$). En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días alcanzó $190,66 \pm 2,92$ g frente a $100,19 \pm 1,77$ g del control en suelo estéril, lo que representa un incremento aproximado del 90%. En repollo, el mismo tratamiento registró $211,66 \pm 3,40$ g frente a $105,79 \pm 0,64$ g del control, duplicando prácticamente la biomasa fresca aérea. Estos valores no solo superan el control, sino que presentan errores estándar bajos y consistentes, lo cual refuerza la estabilidad del efecto observado.

La magnitud de estos incrementos es comparable a lo reportado por Abasolo-Pacheco et al. (2020), quienes observaron incrementos significativos en peso fresco de tomate tratados con preparados dinamizados, así como por Betti et al. (2003), quienes describen en modelos vegetales una mejora sostenida del rendimiento bajo estímulos homeopáticos.

En este estudio, el efecto fue claramente dependiente de la frecuencia, ya que la aplicación cada 15 días mostró aumentos menores, lo que sugiere que la periodicidad del estímulo constituye un factor determinante en la expresión fisiológica de la respuesta.

El incremento en biomasa fresca foliar podría estar asociado a una mejora en la eficiencia fotosintética o en la redistribución de asimilados hacia tejidos aéreos funcionales. Diversos autores han planteado que las diluciones altas pueden modular respuestas relacionadas con equilibrio hídrico, regulación estomática y reducción de daño oxidativo (Fisher, 2009; Jäger et al., 2011). Aunque en el presente trabajo no se midieron parámetros fisiológicos directos, la coherencia entre aumento de longitud foliar y biomasa fresca sugiere que el efecto no se limita a elongación estructural, sino que involucra acumulación real de tejido metabólicamente activo.

En cuanto a la biomasa fresca radical, los resultados refuerzan esta interpretación. En coliflor, *Sulphur* aplicado cada 7 días registró $25,83 \pm 1,71$ g frente a $12,78 \pm 0,82$ g del control, mientras que en repollo alcanzó $40,83 \pm 2,78$ g comparado con $26,58 \pm 1,41$ g del testigo. Estos incrementos, que oscilan entre 55 y 102%, según especie y suelo, indican no solo elongación radicular, sino acumulación efectiva de tejido funcional.

La literatura sugiere que ciertos preparados dinamizados pueden influir en procesos metabólicos vinculados con la síntesis de compuestos orgánicos y transporte de nutrientes (Avello et al., 2009; Shah-Rossi et al., 2009). Asimismo, Shah-Rossi et al. (2009) describen respuestas fisiológicas en modelos vegetales bajo estrés que podrían estar asociadas con mecanismos de regulación adaptativa. En este contexto, la respuesta radical observada podría interpretarse como una modulación del sistema de absorción bajo presión patogénica, más que como un simple efecto de crecimiento.

Es relevante señalar que los tratamientos mostraron respuestas tanto en suelo estéril como no estéril, aunque con magnitudes variables. Esto sugiere que el efecto no depende exclusivamente de la ausencia de microbiota, sino que puede expresarse incluso en presencia de comunidades microbianas activas. Sin embargo, la posible interacción entre preparados agrohomeopáticos y microbiota edáfica constituye una línea de investigación pendiente, especialmente considerando que el suelo es un sistema biológicamente complejo donde múltiples señales químicas y biológicas interactúan simultáneamente.

En conjunto, los resultados de biomasa fresca aérea y radical muestran coherencia interna con las variables de longitud y con la reducción de severidad observada. Esta convergencia estadística y biológica refuerza la hipótesis de que determinados preparados, particularmente *Sulphur* aplicado cada 7 días, pueden modular la respuesta fisiológica de la planta frente a *Plasmodiophora brassicae*, sin evidenciar efectos adversos ni alteraciones morfológicas atípicas.

Preparados y su efecto en la biomasa seca foliar en plantas de *Brassica*

El peso seco foliar permitió estimar la acumulación real de materia orgánica estructural, descartando que los incrementos observados en peso fresco se debieran exclusivamente a variaciones en contenido hídrico. En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días registró $20,83 \pm 2,20$ g frente a $8,22 \pm 0,38$ g del control en suelo esterilizado, lo que representa un incremento aproximado del 153%. En repollo, el mismo tratamiento alcanzó $31,63 \pm 1,52$ g comparado con $16,22 \pm 0,60$ g del control ($\approx 95\%$ superior).

Estos resultados indican que una proporción sustancial de la biomasa fresca adicional se consolidó como tejido estructural estable. La coherencia entre incremento en longitud foliar, biomasa fresca y biomasa seca sugiere una mejora integrada en la eficiencia fisiológica y en la acumulación de asimilados, más que un simple efecto transitorio de hidratación celular.

Hallazgos similares han sido reportados por Abasolo-Pacheco et al. (2020), quienes observaron incrementos en peso seco en tomate bajo tratamientos homeopáticos, así como por Betti et al. (2003), quienes describen en modelos fitopatológicos vegetales una mejora sostenida en la acumulación de biomasa tras la aplicación de diluciones dinamizadas. En ambos casos, la respuesta fue dependiente del contexto experimental y de la repetición del estímulo, lo que coincide con lo observado en el presente estudio.

Es relevante destacar que los tratamientos aplicados cada 15 días mostraron incrementos menores o cercanos al control, lo cual refuerza la importancia de la frecuencia como factor determinante. Este comportamiento sugiere que el estímulo podría tener una duración fisiológica limitada dentro del sistema vegetal, lo que hace necesarias aplicaciones periódicas para sostener su efecto. Este patrón ha sido descrito en modelos experimentales donde la respuesta inducida por diluciones altas tiende a atenuarse si no se mantiene la señal moduladora (Jäger et al., 2011).

En términos agronómicos, la acumulación de biomasa seca constituye un indicador relevante de rendimiento potencial y resiliencia estructural frente al estrés patogénico, por lo que estos resultados aportan evidencia cuantitativa sobre el posible valor práctico de los preparados evaluados.

Severidad de la enfermedad en *Brassica* y el uso de preparados

El análisis de severidad mediante regresión logística ordinal permitió estimar la probabilidad de pertenecer a cada categoría de la escala (0 - 5), proporcionando una evaluación más robusta que el uso de promedios simples de puntuación. Este enfoque estadístico resulta particularmente pertinente cuando la variable respuesta es ordinal y no continua. El uso de regresión logística ordinal permitió evitar la pérdida de información inherente a la transformación de escalas categóricas en índices continuos.

En coliflor, el tratamiento *Sulphur* aplicado cada 7 días mostró una reducción superior al 70% en la probabilidad de pertenecer a las categorías 4 y 5 de severidad en comparación con el control. En repollo, la reducción alcanzó valores cercanos al 80%, evidenciando un patrón consistente entre especies (**Figura 5A y B**). Además, la probabilidad de ubicarse en categorías leves (0–2) fue significativamente mayor bajo este tratamiento, lo que indica una modulación efectiva de la expresión sintomática.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Betti et al. (2009), quienes describen en modelos vegetales que ciertas diluciones dinamizadas pueden influir en la expresión de síntomas bajo estrés fitopatológico, así como con Shah-Rossi et al. (2009), quienes documentan respuestas moduladoras frente a estresores bióticos y abióticos en sistemas vegetales. En ambos estudios, se plantea que el efecto podría estar relacionado con mecanismos de regulación homeostática o activación de respuestas adaptativas, más que con una acción directa sobre el patógeno.

Es importante señalar que en el presente trabajo no se evaluó la carga patogénica ni la expresión molecular de genes de defensa, por lo que no puede afirmarse que el preparado actúe directamente sobre *Plasmodiophora brassicae*. Más bien, los resultados sugieren una modulación de la respuesta del hospedero, manifestada en menor expresión de síntomas y mayor integridad del sistema radical. Asimismo, la persistencia del efecto tanto en suelo estéril como no estéril sugiere que la reducción de severidad no depende exclusivamente de la ausencia de microbiota, aunque el entorno edáfico sí moduló la magnitud de la respuesta en algunas interacciones. Esta observación abre la posibilidad de que el sistema suelo–planta–preparado funcione como una unidad integrada donde múltiples factores influyen simultáneamente.

Desde una perspectiva aplicada, la reducción significativa de severidad observada en este ensayo constituye uno de los resultados más relevantes, ya que la mitigación de síntomas bajo condiciones de infección controlada representa un criterio directo de eficacia agronómica. Sin embargo, será necesario validar estos resultados bajo condiciones de campo para confirmar su estabilidad en sistemas agrícolas abiertos y con variabilidad ambiental.

Limitaciones metodológicas, aplicaciones prácticas y perspectivas futuras

Si bien los resultados obtenidos evidencian efectos estadísticamente significativos de los preparados agrohomeopáticos sobre variables de crecimiento, biomasa y severidad bajo infección controlada con *Plasmodiophora brassicae*, es imprescindible contextualizar estos hallazgos dentro del marco experimental en el que fueron generados. El ensayo se desarrolló en condiciones de invernadero, con estabilidad ambiental relativa y presión patogénica controlada, lo que reduce la variabilidad propia de sistemas agrícolas abiertos. En consecuencia, la extrapolación directa a condiciones de campo debe realizarse con cautela y requerirá validaciones multilocales bajo distintos contextos edafoclimáticos. Aunque el diseño trifactorial permitió evaluar interacciones entre tipo de suelo, producto y frecuencia de aplicación, no se incorporó una caracterización fisicoquímica detallada del suelo (materia orgánica, textura, capacidad de intercambio catiónico u otros parámetros), variables que pueden influir en la microbiota edáfica y en la dinámica de respuesta vegetal. Tampoco se evaluó la carga patogénica ni la cuantificación directa de esporas en el sistema radical, por lo que la reducción de severidad observada no puede interpretarse como disminución directa del patógeno, sino como modulación de la expresión sintomática. La integración futura de análisis edáficos, microbiológicos y fitopatológicos permitiría comprender con mayor precisión la interacción entre preparados dinamizados y el sistema suelo-planta-patógeno.

En relación con los mecanismos de acción, el presente estudio se centró en variables morfológicas y productivas, así como en el modelado estadístico de severidad. Por tanto, cualquier referencia a regulación hormonal, activación antioxidante o inducción de respuestas defensivas debe interpretarse como hipótesis plausibles sustentadas en literatura previa, pero no demostradas directamente en este ensayo. La incorporación de herramientas transcriptómicas, metabolómicas, análisis enzimáticos o cuantificación de marcadores de defensa permitiría esclarecer con mayor rigor las rutas fisiológicas implicadas y aportar mayor solidez mecanística.

Es importante precisar que los preparados evaluados, incluyendo *Arsenicum album* 30CH, corresponden a diluciones ultramoleculares cuya concentración teórica supera el límite de Avogadro, por lo que no implican presencia cuantificable del elemento arsénico en la solución aplicada ni aporte químico detectable al sistema suelo-planta. El enfoque experimental no corresponde al uso agronómico de compuestos arsenicales convencionales, sino a la evaluación de diluciones dinamizadas reportadas en modelos vegetales. No obstante, cualquier extrapolación a sistemas comerciales debe considerar marcos regulatorios vigentes, validaciones independientes y evaluaciones específicas de seguridad en contextos productivos abiertos.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados sugieren que *Sulphur*, *Phosphorus* y, en menor medida, *Arsenicum album* podrían integrarse como herramientas complementarias dentro de esquemas de manejo integrado de enfermedades (MIP). La reducción significativa en severidad y el aumento consistente en biomasa indican un posible efecto modulador bajo presión patogénica controlada. Sin embargo, su posicionamiento como tecnología agrícola requiere acumulación progresiva de evidencia, reproducibilidad independiente y evaluación bajo condiciones comerciales reales.

Futuros estudios deberían evaluar estos preparados en ensayos de campo multilocales, con diversidad de suelos, cultivares y condiciones climáticas. Asimismo, resulta pertinente explorar su interacción con rizobacterias promotoras del crecimiento, micorrizas arbusculares y bioplaguicidas, considerando que el suelo es un sistema biológicamente complejo donde múltiples señales y organismos interactúan simultáneamente.

En síntesis, los resultados del presente estudio no proponen a la agrohomeopatía como sustituto único de estrategias convencionales, sino como una línea complementaria de investigación que, bajo protocolos rigurosos, análisis estadísticos robustos y validación independiente, puede aportar evidencia sobre su potencial modulador en sistemas agrícolas. El fortalecimiento metodológico y la colaboración multidisciplinaria serán determinantes para consolidar su credibilidad científica y su eventual adopción en escenarios productivos.

Conclusiones

Los resultados obtenidos bajo condiciones controladas de invernadero evidencian que determinados preparados agrohomeopáticos, particularmente *Sulphur* y *Phosphorus* aplicados semanalmente, se asociaron con incrementos significativos en longitud foliar y radical, así como en biomasa fresca y seca, en plantas de coliflor y repollo infectadas con *Plasmodiophora brassicae*. Asimismo, el análisis ordinal de severidad mostró una reducción consistente en la probabilidad de pertenecer a las categorías de mayor daño en comparación con los controles.

La magnitud de los incrementos observados, que en algunos casos duplicaron los valores del control, y la coherencia estadística entre variables morfológicas, productivas y sanitarias refuerzan la consistencia interna de los hallazgos. La frecuencia de aplicación emergió como un factor determinante, siendo los tratamientos cada 7 días los que mostraron respuestas más robustas y estables. La interacción significativa entre tipo de suelo, producto y frecuencia indica que el efecto de los preparados no es lineal ni aislado, sino dependiente del contexto edáfico y del régimen de aplicación.

Si bien los resultados no permiten inferir mecanismos moleculares específicos, los datos sugieren una posible modulación de la respuesta fisiológica del hospedero bajo presión patogénica. En este sentido, la agrohomeopatía podría considerarse como una herramienta complementaria dentro de esquemas de manejo integrado de enfermedades, especialmente en sistemas donde se priorizan alternativas de bajo impacto químico.

No obstante, la extrapolación a condiciones de campo requiere validación adicional en escenarios edafoclimáticos diversos y bajo dinámica patogénica natural. La incorporación de análisis fisiológicos y moleculares permitirá fortalecer la comprensión de los procesos involucrados y consolidar su posicionamiento dentro de marcos agronómicos basados en evidencia.

En conjunto, esta investigación aporta datos experimentales cuantitativos que amplían el cuerpo de conocimiento sobre el uso de preparados dinamizados en agricultura y establece bases metodológicas para estudios posteriores orientados a evaluar su viabilidad técnica y agronómica en sistemas productivos comerciales.

Literatura citada

- Abasolo-Pacheco, F., Bonilla-Montalván, B., Bermeo-Toledo, C., Ferrer-Sánchez, Y., Ramírez-Castillo, A. J., Mesa-Zavala, E., Llerena-Ramos, L., & Mazón-Suástegui, J. (2020). Effect of homeopathic medicines in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Terra Latinoamericana*, 38(1), 219-233. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.718>
- Avello, C., Avendaño, C., & Mennickent, S. (2009). Aspectos generales de la homeopatía. *Revista Médica de Chile*, 137, 115-120.
- Betti, L., Borghini, F., & Nani, D. (2003). Plant models for fundamental research in Homeopathy. *Homeopathy*, 92(2), 129-30. [https://doi.org/10.1016/S1475-4916\(03\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S1475-4916(03)00034-1)
- Betti, L., Trebbi, G., Majewsky, V., Scherr, C., Shah-Rossi, D., Jäger, T., & Baumgartner, S. (2009). Use of homeopathic preparations in phytopathological models and in field trials: A critical review. *Homeopathy*, 98(4), 244-266. <https://doi.org/10.1016/j.homp.2009.09.008>
- Fisher, P. (2009). Biological models of homeopathy. *Homeopathy*, 98, 183-185.
- Jäger, T., Scherr, C., Shah, D., Majewsky, V., Betti, L., Trebbi, G., Bonamin, L., Simões-Wüst, A. P., Wolf, U., Simon, M., Heusser, P., & Baumgartner, S. (2011). Use of homeopathic preparations in experimental studies with abiotically stressed plants. *Homeopathy*, 100(4), 275-287. <https://doi.org/10.1016/j.homp.2011.05.008>

- Khalid, M., Rahman, S.-u., Kayani, S.-I., Khan, A. A., Gul, H., & Hui, N. (2022). *Plasmodiophora brassicae*—The causal agent of clubroot and its biological control/suppression with fungi: A review. *South African Journal of Botany*, 147, 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.027>
- Kokornaczyk, M. O., Würtenberger, S., & Baumgartner, S. (2020). Impact of succussion on pharmaceutical preparations analyzed by means of patterns from evaporated droplets. *Scientific Reports*, 10, 570. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57009-2>
- Lösch, E. L., Gaia, M. C. de M., Longo, C., & Bricarello, P. A. (2021). Effects of homeopathic preparations on phenological development and control of insects and diseases of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Research, Society and Development*, 10(1), e49610111991. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11991>
- Majewsky, V., Arlt, S., Shah, D., Scherr, C., Jäger, T., Betti, L., Trebbi, G., Bonamin, L., Klocke, P., & Baumgartner, S. (2009). Use of homeopathic preparations in experimental studies with healthy plants. *Homeopathy*, 98, 228-243. <https://doi.org/10.1016/j.homp.2009.09.012>
- Pulido, E., Boff, P., Duarte, T., & Boff, M. (2014). Preparados homeopáticos en el crecimiento y en la producción de repollo cultivado en sistema orgánico. *Horticultura Brasileira*, 32(3), 267-272. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000300005>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez-García, D., Chavarría-Vega, M., Vargas-Rojas, J. 2025. Agrohomeopatía como alternativa para el control de *Plasmodiophora brassicae* en brasicáceas bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 49(01), 317. <https://doi.org/10.15517/mpk3jk32>
- Shah-Rossi, D., Heusser, P., & Baumgartner, S. (2009). Homeopathic treatment of *Arabidopsis thaliana* plants infected with *Pseudomonas syringae*. *The Scientific World Journal*, 9, 320-330. <https://doi.org/10.1100/tsw.2009.38>
- Suwabe, K., Tsukazaki, H., Iketani, H., Hatakeyama, K., Kondo, M., Fujimura, M., & Matsumoto, S. (2006). Simple sequence repeat-based comparative genomics between *Brassica rapa* and *Arabidopsis thaliana*: The genetic origin of clubroot resistance. *Genetics*, 173(1), 309-319. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.038968>
- Tichavsky, R. (2007). *Manual de agrohomeopatía*. Instituto Comenius.
- Van Wijk, R., & Albrecht, H. (2007). Classification of systems and methods used in biological basic research on homeopathy. *Homeopathy*, 96(4), 247-251. <https://doi.org/10.1016/j.homp.2007.08.006>

Vargas, M., Stangarlin, J. R., Rissato, B. B., Kuhn, O. J., Dilley, O. D. F., & Bonato, C. M. (2022). *Ferrum Sulphuricum* controlling powdery mildew on tomato genotypes. *Revista Caatinga*, 35(1), 127-136. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n113rc>



Agronomía Costarricense, Universidad de Costa Rica.

Se encuentra licenciada con [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr