

LUIS FORTUNATO MORALES ARANIBAR

**BOLETÍN DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO:**

Producción de nuevos biopesticidas a partir
de *Cymbopogon citratus* para el control de la
roya del café (*Hemileia vastatrix*) en
condiciones de laboratorio y campo



Parranal Editora

2024



LUIS FORTUNATO MORALES ARANIBAR

**BOLETÍN DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO: Producción de nuevos
biopesticidas a partir de *Cymbopogon
citratus* para el control de la roya del café
(*Hemileia vastatrix*) en condiciones de
laboratorio y campo**



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora y Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba - Perú

Editor Jefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Ejecutivos: Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diseño: El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Dr. Jorge González Aguilera (Brasil), Dr. Leandro Argente Martínez (México), Dra. Sucleidi Nápoles Vinent (Cuba) y Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales (Perú).

Comité de Publicaciones - Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba

Dr. Luis Enrique Natividad Cerna (Presidente de la Comisión Organizadora)

Dr. Juan Callañaupa Quispe (Vicepresidente de Investigación)

Dr. Juan Francisco Ramírez Veliz (Vicepresidente Académico)

Consejo editorial

Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu
Prof. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Prof. Dra. Patrícia Maurer
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos

Institución

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB

MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Consejo Científico Técnico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

Catalogación en publicación Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

A662b

Aranibar, Luis Fortunato Morales

Boletín de investigación y desarrollo: producción de nuevos biopesticidas a partir de *Cymbopogon citratus* para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de laboratorio y campo / Luis Fortunato Morales Aranibar. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024.

Reserva en PDF

ISBN 978-65-85756-39-6

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756396>

1. Aceite. I. Aranibar, Luis Fortunato Morales. II. Título.

CDD 664.3

Índice del catálogo sistemático

I. Aceite

Todos los derechos reservados.

Reproducción no autorizada de esta publicación, total o parcial, constituye infracción de derechos de autor (Ley N° 28220).



Esta licencia permite a los reutilizadores copiar y distribuir el material en cualquier medio o formato únicamente en forma no adaptada, únicamente con fines no comerciales y siempre que se otorgue el crédito al creador.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

PRESENTACIÓN

Este boletín es el resultado del proyecto de investigación **Innovación Tecnológica de Biofertilización y Biopesticidas en la Recuperación del Cultivo Orgánico de Coffea arabica var. Típica** desarrollado en la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba - Perú, siendo el Dr. Luis Fortunato Morales Aranibar el principal investigadora y Dra. Francisca Elena Yucra Yucra, Dr. Enrique Jotadelo Mamani Mamani, Dra. Marisol Nivia Pilares Estrada, y Mons. Policarpo Quispe Florez, investigadores asociados.

SUMARIO

PRESENTACIÓN	4
RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1. Ubicación del Área Experimental en el Campo	8
2.2. Diseño Experimental de Campo	8
2.3. Preparación de Biopesticidas.....	8
2.4. Análisis Cromatográfico.....	8
2.5. Pruebas de Laboratorio.....	8
2.6. Pruebas de Campo.....	8
2.7 Análisis Estadístico	9
3. RESULTADOS	10
3.1 Composición Química de Biopesticidas.....	10
3.2 Análisis estadístico de laboratorio y de campo	12
3.3 Germinación de Esporas en Laboratorio	12
3.4 Eficacia en Campo.....	13
3.5 Área Bajo la Curva de Progresión de la Enfermedad (AUDPC).....	15
3.6 Comparación Visual de Tratamientos.....	15
4. DISCUSIÓN	17
5. CONCLUSIONES	18
6. REREFRENCIAS	19
ÍNDICE	21

RESUMEN

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es una enfermedad de gran impacto económico en el cultivo del café, especialmente en Perú. Este estudio investigó la efectividad de cinco biopesticidas de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) contra la roya en condiciones de laboratorio y campo en La Convención, Cusco. Se probaron cinco biopesticidas (aceite, macerado, infusión, hidrolato y Biol) en cuatro concentraciones (0, 15, 20 y 25%). En laboratorio, todos redujeron la germinación de las uredosporas a <1%, independientemente de la concentración y sin diferencias significativas entre ellos. En campo, el aceite al 25% fue el más efectivo, con incidencias y severidades <1% y un Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC) de 7 comparado con 1595 del control, mostrando su potencial como biopesticida para el control de la roya del café.

PALABRAS CLAVE:

Café arábico; hierba luisa; métodos de control sostenibles; uredosporas

1. INTRODUCCIÓN

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es una de las principales plagas que afecta a *Coffea arabica*, causando significativas pérdidas económicas globalmente y especialmente en Perú. La resistencia es parcialmente manejada mediante la sustitución de variedades susceptibles por otras más resistentes como Borbón y Catimor (Moreno-Ruiz et al., 2002; Bustamante et al., 2004). A pesar del uso común de fungicidas sintéticos, que elevan los costos y dañan el medio ambiente (Sandoval-Islas et al., 1999; Rodríguez-García et al., 2021), las estrategias de control biológico están ganando atención. Entre estas, el uso de biopesticidas derivados de *Cymbopogon citratus*, conocido por sus propiedades antimicrobianas y usos medicinales (Beyra et al., 2004; Goñi et al., 2009; Vázquez-Briones et al., 2017), representa una alternativa prometedora. Este estudio se enfoca en evaluar cinco biopesticidas de hierba Luisa en condiciones de laboratorio y campo en La Convención, Cusco, con el objetivo de ofrecer soluciones sostenibles para la gestión de la roya (Avelino y Rivas, 2013; Hernández-Martínez y Velázquez-Premio, 2016).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL EN EL CAMPO

Los experimentos se realizaron de diciembre de 2021 a agosto de 2022 en Huayanay, Quillabamba, Cusco, Perú, una región a 1515 msnm caracterizada por cultivos de *Coffea arabica* L. var. *typica*. La parcela experimental tenía dimensiones de 30 m x 21 m, con plantas espaciadas 1,5 m entre sí. Se analizó la textura del suelo y calidad del agua, mostrando un suelo franco arcilloso arenoso y agua con baja conductividad eléctrica.

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DE CAMPO

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 5×4, evaluando cinco biopesticidas de *Cymbopogon citratus* en cuatro concentraciones (0, 15, 20, 25% v/v), con tres réplicas por tratamiento.

2.3. PREPARACIÓN DE BIOPESTICIDAS

Se prepararon cinco tipos de biopesticidas (aceite esencial, hidrolizado, macerado, infusión, y biol) utilizando diferentes métodos de extracción y conservación. Las concentraciones se ajustaron según el diseño experimental.

2.4. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

Se analizó la composición química de cada biopesticida mediante cromatografía de gases, usando equipos Agilent Technologies con detectores de espectrometría de masas.

2.5. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se inoculó medio papa dextrosa agar con 400 uredosporas de roya y se evaluó la germinación bajo condiciones controladas de luz y oscuridad.

2.6. PRUEBAS DE CAMPO

Se evaluó la incidencia y severidad de la roya en las plantas experimentales, aplicando los biopesticidas semanalmente y utilizando un método de integración trapezoidal para calcular el área bajo la curva de progresión de la enfermedad (AUDPC).

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron mediante ANOVA y pruebas de Tukey al 5% de probabilidad, empleando software especializado para verificar supuestos de normalidad y homogeneidad y para la representación gráfica.

3. RESULTADOS

3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BIOPESTICIDAS

La caracterización de los biopesticidas de *Cymbopogon citratus* reveló una diversidad de compuestos activos en cada preparación:

- **Aceite:** Predominancia de D-limoneno (64.07%), α -citral (10%), α -pineno (9.83%), y β -citral (8.53%).
- **Hidrolato:** Principales componentes como Fotocitral A (2.48%), Linalool (7.98%), y β -citral (36.15%).
- **Biol:** Incluye ácido acético éster butílico (3.63%), ácido butanoico éster propílico (2.54%), y butirato de etilo (7.65%).
- **Infusión:** Destaca por (R)-(+)- β -citronelol (42.32%), α -citral (0.31%), y β -mirceno (3.3%).
- **Macerado:** Compuestos principales como Citral (34.72%), etanol (12.32%), y geraniol (4.27%).

Los resultados completos y la representación de estos compuestos se visualizan en la **Figura 1**. Esta información ayuda a entender la base química de la eficacia de estos biopesticidas contra la roya del café.

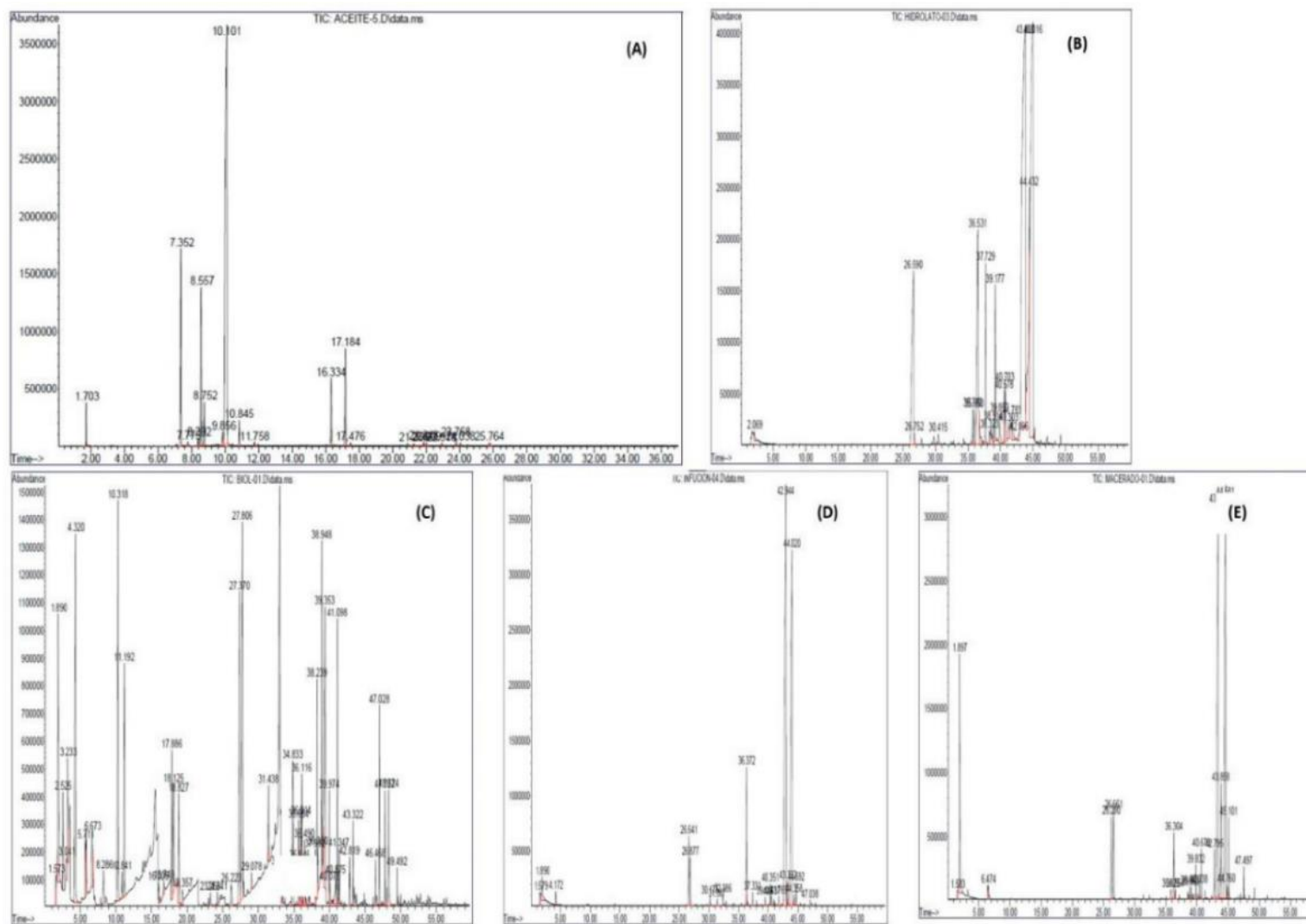


Figura 1. Resultados de la composición química mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas de los biopesticidas obtenidos de *Cymbopogon citratus* para ser utilizados en el control de la roya del café. (A) Aceite, (B) Biol, (C) Hidrolato, (D) Infusión, (E) Macerado.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LABORATORIO Y DE CAMPO

Análisis Estadístico El ANOVA indicó interacciones significativas entre los tipos de biopesticidas, sus concentraciones y el tiempo de evaluación, tanto en laboratorio como en campo (Tabla 1). Esto sugiere una variabilidad en la efectividad dependiendo de estos factores, con bajos coeficientes de variación que demuestran la precisión de los datos.

Tabla 1. Resultados ANOVA de suma de cuadrados obtenidos al comparar cinco biopesticidas, aplicados en cuatro concentraciones y evaluados en cuatro fechas diferentes en el cultivo de café para el control de la roya.

FV ¹	GL ₂	Campo			GL	Laboratorio	
		Incidencia (%)	Gravedad (%)	AUDPC ₃ 3		Luz (%)	Oscuro (%)
Biopesticidas (B)	4	3338 ***	854 ***	5 ***	4	3	3
Concentración (C)	3	56582 ***	62370***	4 ***	3	4 ***	5 ***
Evaluación (E)	3	15929 ***	1010 ***				
BxC	12	485 ***	191***	2***	12	2	2
BxE	12	329 ***	142 ***				
CxE	9	3381 ***	1709***				
BxCxE	36	48 ***	30 ***				
Desperdiciar	160	0.37	0.27	3	40	5	4
CV (%)		1.39	1.99	1.31		26.76	16.03

¹FV: fuentes de variación, CV: coeficiente de variación. ²GL: grados de libertad. ³ABCPC: área bajo la curva de progreso de la enfermedad. GLight: germinación en condiciones de luz, GDark: germinación en condiciones de oscuridad. *** representa significación estadística con una probabilidad del 0.01% para la prueba ANOVA F.

3.3 GERMINACIÓN DE ESPORAS EN LABORATORIO

Los biopesticidas lograron suprimir casi completamente la germinación de las uredosporas de roya en condiciones de luz y oscuridad, con los porcentajes de germinación siendo extremadamente bajos (<1%) para todas las concentraciones y tipos de tratamiento, mostrando la efectividad de los biopesticidas. Los detalles se presentan en la Figura 2.

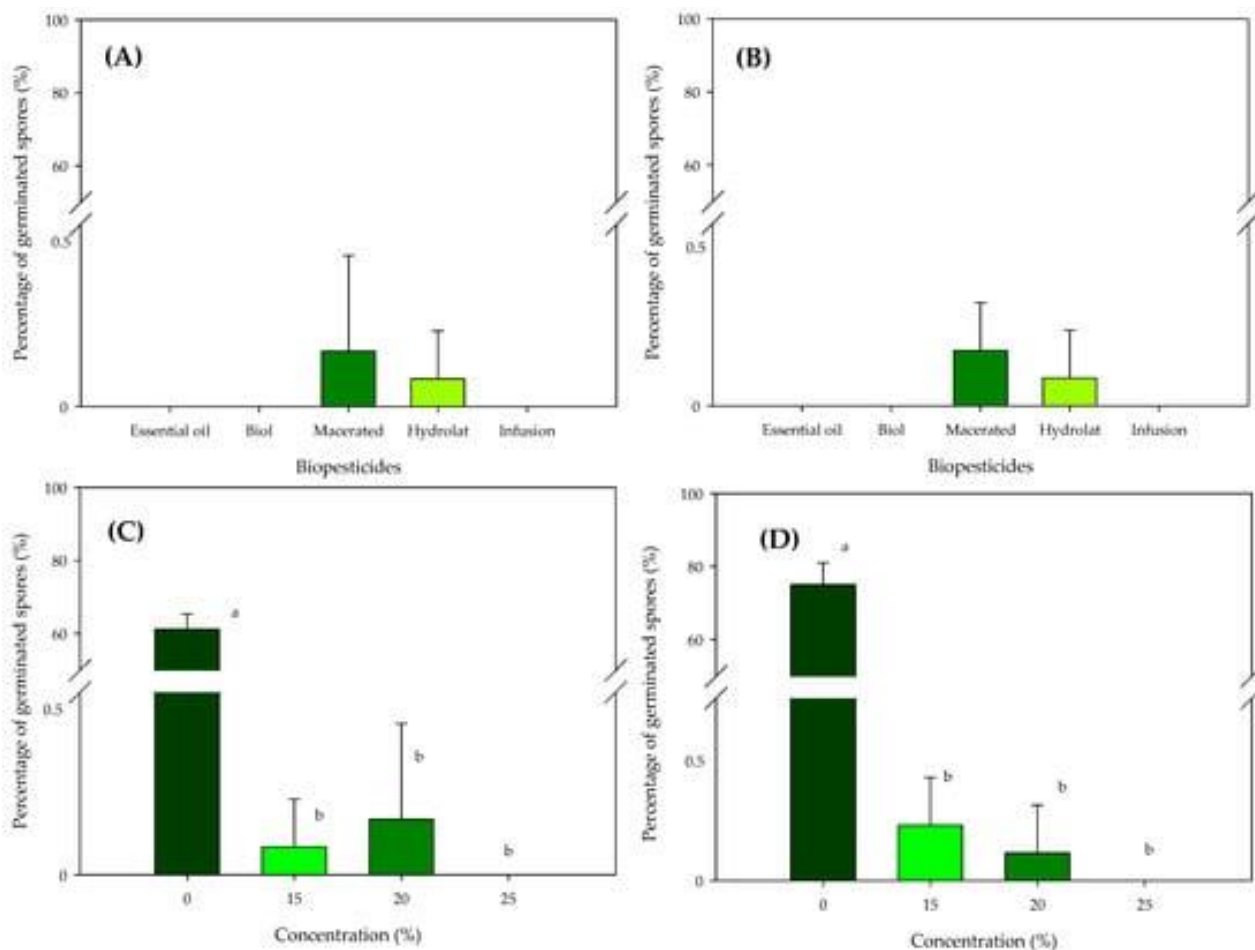


Figura 2. Comparación de medias en relación al porcentaje de germinación de uredosporas de roya en cinco bioplaguicidas (A, B), aplicados en cuatro concentraciones (C, D) y evaluados en condiciones de luz (A, C) y oscuridad (B, D), en condiciones de laboratorio. Las diferentes letras minúsculas en las barras representan diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

3.4 EFICACIA EN CAMPO

Los biopesticidas redujeron significativamente la incidencia y severidad de la roya en las plantas de café, especialmente a la concentración del 25%.

Tabla 2. Comparación de medias en relación a la incidencia de cinco biopesticidas en cultivos de café para el control de roya, aplicados en cuatro concentraciones y evaluados en cuatro fechas diferentes después de la aplicación en campo.

Biopesticidas/ Concentración	I Semana				II Semana			
	0	15%	20%	25%	0	15%	20%	25%
Accite esencial	81,7aa	39,7aC	30,7CD	26,7de	86,77aa	10,4Ser	5,3CD	1,0de
Biol	81,7aa	78,3licenciados en Letras	67,9b.C	49,2CC	86,77aa	6,3años	55,3Ca	35,4Días
Macerado	81,7aa	79,1licenciados en Letras	69,2Cabina	53,3bB	86,77aa	49,0hab.	38,9cc	28,7CC
Hidrolato	81,7aa	79,6 Ba	69,8Ca	54,9dias	86,77aa	57,0 millones	45,6cb	30,3dB
Infusión	81,7aa	75,5 mil millones	58,0cc	45,7dC	86,77aa	55,4 a.C	45,4cb	21,6Dd

Biopesticidas/ Concentración	III Semana				IV Semana			
	0	15%	20%	25%	0	15%	20%	25%
Aceite esencial	89,7aa	1,0dormitorios	0,7ser	0,2aC	95,67aa	0,0Bd	0,0Bd	0,0millones
Biol	89,7aa	37,8Ba	21,5Ca	14,7días	95,67aa	19,5Ba	9,8Ca	5,7años
Macerado	89,7aa	22,7aC	18,0cC	7,8dB	95,67aa	7,7aC	1,7cc	0,2dB
Hidrolato	89,7aa	31,1millones	15,0CD	8,9dB	95,67aa	9,0aC	4,4cB	0,7dB
Infusión	89,7aa	3,12millones	19,9cB	8,3dB	95,67aa	11,1millones	3,7cB	0,4dB

Las letras mayúsculas en la línea y las letras minúsculas en la columna representan diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

Tabla 3. Comparación de medias en relación a la incidencia de cinco biopesticidas en el cultivo de café para el control de la roya, aplicados en cuatro concentraciones y evaluados en cuatro fechas diferentes después de la aplicación en campo.

Biopesticidas/ Concentración	Concentración 0				Concentración 15%			
	I sem.	II sem.	III sem.	IV sem.	I sem.	II sem.	III sem.	IV sem.
Aceite esencial	81,7 D	86,8 C	89,7 mil. millones	95,7 A	39,7 A	10,4 B	1,0 °c	0,0 C
Biol	81,7 D	86,8 C	89,7 mil. Millones	95,7 A	78,3 A	63,4 B	37,8 °C	19,5 D
Macerado	81,7 D	86,8 C	89,7 mil. Millones	95,7 A	79,1 A	49,0 B	27,2 °C	7,7 D
Hidrolato	81,7 D	86,8 C	89,7 mil. Millones	95,7 A	79,6 A	57,0 B	31,1 °C	9,0 D
Infusión	81,7 D	86,8 C	89,7 mil. millones	95,7 A	75,5 A	55,4 B	31,2 °C	11,1 D
Biopesticidas/ Concentración	Concentración 20%				Concentración 25%			
	I sem.	II sem.	III sem.	IV sem.	I sem.	II sem.	III sem.	IV sem.
Aceite esencial	30,7 A	5,38	0,7 C	0,0 C	26,7 A	1,0 mil. Millones	0,2 mil. Millones	0,0 millones
Biol	67,9 A	55,3 B	21,5 C	9,8 D	49,2 A	35,4 B	14,7 °C	5,7D
Macerado	69,2 A	38,9 mil. Millones	18,0 C	1,7 D	53,3 A	28,7 B	7,8 °C	0,2D
Hidrolato	69,8 A	45,6 B	15,0 C	4,4 D	54,9 A	30,8 B	8,9 °C	0,7D
Infusión	58,0 A	45,4 B	19,9 C	3,7 D	45,7 A	21,6 B	8,3 °C	0,4D

Las diferentes letras mayúsculas en la línea representan diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

El aceite esencial fue particularmente efectivo, mostrando los menores valores de incidencia y severidad en las últimas semanas de evaluación. Los resultados detallados de las pruebas de campo se encuentran en el Tabla 2 y Tabla 3.

3.5 ÁREA BAJO LA CURVA DE PROGRESIÓN DE LA ENFERMEDAD (AUDPC)

La AUDPC se redujo significativamente con el aumento de la concentración de biopesticidas, siendo la concentración del 25% la más efectiva en todos los casos. La Tabla 4 ilustra cómo los diferentes tratamientos afectaron la progresión de la enfermedad a lo largo del tiempo.

Tabla 4. Comparación de medias en relación a la severidad de cinco biopesticidas para el control de la roya del café, aplicados en cuatro concentraciones y evaluados en cuatro fechas diferentes después de la aplicación en campo.

Biopesticidas/ Concentración	I Semana				II Semana			
	0	15%	20%	25%	0	15%	20%	25%
Aceite esencial	55,6 aa	5,0 aC	4,0 aC	2,0 cc	80,0 AA	2,0 aC	2,0 aC	0,0 cc
biol	55,6 aa	25,0 mil millones	25,0 mil millones	10,0	80,0 AA	10,0 mil millones	10,0 mil millones	5,0 Cb
Macerado	55,6 aa	40 Ba	40 bares	25,0 Ca	80,0 AA	25,0 bares	25,0 bares	10,0 Ca
Hidrolato	55,6 aa	40 Ba	25,0 libras esterlinas	10,0 dB	80,0 AA	25,0 bares	10,0 cucharadas	5,0 dB
Infusión	55,6 aa	40 Ba	25,0 libras esterlinas	10,0 dB	80,0 AA	25,0 bares	10,0 cucharadas	5,0 dB
Biopesticidas/ Concentración	III Semana				IV Semana			
	0	15%	20%	25%	0	15%	20%	25%
Aceite esencial	80.0 AA	0,0 aC	0,0 aC	0,0 aC	80.0 AA	0,0 aC	0,0 aC	0,0 Ba
Biol	80.0 AA	5,0 mil millones	5,0 mil millones	2,0 cb	80.0 AA	2,0 mil millones	2,0 mil millones	0,7 Ca
Macerado	80.0 AA	10.0 Ba	8,3 Ca	5,0 años	80.0 AA	5,0 Ba	4,0 Ba	0,7 Ca
Hidrolato	80.0 AA	10.0 Ba	5,0 Cb	2,0 dB	80.0 AA	5,0 Ba	2,0 cb	0,0 Da
Infusión	80.0 AA	10.0 Ba	5,0 Cb	3,0 dB	80.0 AA	5,0 Ba	2,0 cb	0,7 Da

Las diferentes letras mayúsculas en la línea y las letras minúsculas en la columna representan diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%.

3.6 COMPARACIÓN VISUAL DE TRATAMIENTOS

La Figura 1 ofrece una comparación visual de las plantas antes y después de la aplicación de los tratamientos, destacando la efectividad de los biopesticidas en la recuperación del follaje afectado por la roya.



Figura 1. Tratamientos con biopesticida antes y después, (a) Aceite (b) Infusión (c) Biol (d) Hidrolato (e) Macerado, (f) Control, (a.1, b.1, c.1, d.1, e.1, f.1) detalle de las plantas de café sin tratamientos (a.2, b.2, c.2, d.2, e.2) cuarta semana después de aplicar los diferentes tratamientos, el café recuperado Se observan plantas, excepto en el control (f2).

4. DISCUSIÓN

Estudios previos han destacado la eficacia de preparados vegetales en controlar fitopatógenos en cultivos, aunque principalmente en condiciones *in vitro* (Al-Reza et al., 2009; Dan et al., 2010). La roya del café, causante de significativas pérdidas económicas globales, demanda alternativas de control efectivas en el campo (Bustamante et al., 2004; Avelino et al., 2015; Otiniano et al., 2019). Este estudio confirma que los biopesticidas a base de *Cymbopogon citratus* ofrecen una nueva alternativa para el control de la roya en condiciones de campo, destacando la importancia de sus diversos metabolitos activos.

La composición de los biopesticidas reveló un amplio espectro de principios activos, como el α -Citral, presente en concentraciones significativas en el aceite (10%) y el hidrolizado (33.28%), conocido por su efecto antifúngico *in vitro* (He et al., 2023). Este estudio también reitera el potencial de los aceites esenciales, mostrando una inhibición superior del crecimiento de uredosporas en condiciones de laboratorio con reducciones de germinación al 0% en varias formulaciones (Figura 2), lo que se corroboró en campo con el aceite esencial de *Cymbopogon citratus* demostrando ser el más efectivo, especialmente en la concentración del 25% (Cuadro 3).

En comparación con otros estudios, la eficacia de los aceites esenciales como el de limón y naranja, que contienen altas concentraciones de limoneno y β -pineno, ha sido bien documentada (Fisher y Phillips, 2008; Marei et al., 2012). Estos hallazgos sugieren que el alto contenido de α -Citral en el aceite de *Cymbopogon citratus* juega un rol crucial en su efectividad, soportando la idea de que su amplio espectro de metabolitos secundarios puede ser explotado para el desarrollo de estrategias de control más efectivas y económicamente viables en el manejo de la roya del café.

Este estudio refuerza la necesidad de futuras investigaciones para optimizar las concentraciones y métodos de aplicación de estos biopesticidas en el campo, buscando maximizar su eficacia mientras se minimiza el impacto sobre el cultivo y el medio ambiente. La investigación continúa apoyando el potencial de los productos naturales en el manejo integrado de enfermedades en la agricultura, proponiendo un enfoque sostenible y menos dependiente de químicos convencionales.

5. CONCLUSIONES

Los biopesticidas a base de *Cymbopogon citratus* han demostrado ser eficaces contra la roya del café (*Hemileia vastatrix*), tanto en laboratorio como en campo. En condiciones de laboratorio, todos los tratamientos inhibieron la germinación de las uredosporas a menos del 1%, confirmando su alta eficacia. En pruebas de campo, el aceite de hierba luisa fue particularmente efectivo, reduciendo la severidad e incidencia de la enfermedad a cero en todas las concentraciones probadas (15%, 20%, y 25%). Sin embargo, el 15% se destacó como la concentración óptima, combinando efectividad y eficiencia. Estos hallazgos subrayan el potencial de los derivados de *Cymbopogon citratus* como alternativas viables y sostenibles al control químico tradicional en cultivos de café.

6. REFERENCIAS

- Al-Reza, S. M., Bajpai, V. K., & Kang, S. C. (2009). Effect of the essential oil of *Zizyphus jujuba* on the preservation of food. *Food Chemistry and Toxicology*, 47(10), 2374-2380.
- Avelino, J., & Rivas, G. (2013). La Roya Anaranjada Del Cafeto. Disponible en línea: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Laderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321.
- Beyra, A., León, M., Iglesias, E., Ferrándiz, D., Herrera, R., Volpato, G., Godínez, D., Guimaraes, M., & Álvarez, R. (2004). Estudios etnobotánicos sobre plantas medicinales en la provincia de Camagüey (Cuba). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 61, 185–204.
- Bustamante, J., Roa, S., Casanova, A., & Roso, L. (2004). Líneas de café resistentes a la roya en una localidad del Estado Táchira, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 54, 75–91.
- Dan, H. A., Barroso, G. M., Dan, L. G. M., & Finotte, T. R. (2010). Multifunctional adjuvants associated with the herbicide glyphosate for control of *Digitaria insularis*. *Global Science and Technology*, 3, 30-38.
- Fisher, K., & Phillips, C. (2008). Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? *Trends in Food Science & Technology*, 19(3), 156-164.
- Goñi, P., López, P., Sánchez, C., Gómez-Lus, R., Becerril, R., & Nerín, C. (2009). Actividad antimicrobiana en fase vapor de una combinación de aceites esenciales de canela y clavo. *Food Chemistry*, 116, 982–989.
- He, L. L., Zhao, Y., Fan, L. M., Zhan, J. J., Tao, L. H., Yang, Y. H., Su, F. W., Chen, Q. B., & Ye, M. (2023). In vitro and in vivo antifungal activity of essential oils from *Cymbopogon citratus* under different climatic conditions against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 308, 111544.
- Hernández-Martínez, G., & Velázquez-Premio, T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *Rinderesu*, 1, 92–99. Disponible en línea: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/9/pdf>
- Marei, G. I. K., Rasoul, M. A. A., & Abdelgaleil, S. A. M. (2012). Comparative antifungal activities and biochemical effects of monoterpenes on plant pathogenic fungi. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 103, 56-61.
- Moreno-Ruiz, G. (2002). Nueva variedad de café de puerta alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafé*, 53(2), 132–143. Disponible en línea: [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(02\)132-143.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(02)132-143.pdf)

- Otiniano, A. J., Ventura, R. B., Huamán, L. A., Vera, N. J., & Cepero, V. C. (2019). Relationship between incidence and severity of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) in San Ramón, Chanchamayo, Peru. *Science and Research*, 4(1), 1-9.
- Rodríguez-García, M. F., González-González, M., Huerta-Espino, J., & Solano-Hernández, S. (2021). Evaluación de fungicidas para el control de la roya lineal amarilla en cebada. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(Supl), S89. Disponible en línea: <https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen372019/S372019.pdf>
- Sandoval-Islas, J. S., Osada-Kawasoe, S., Vivar-Flores, H., & Benítez-Riquelme, I. (1999). Correlación entre resistencia en plántula y resistencia en planta adulta a la roya amarilla y la escaldadura de la cebada. *Agrociencia*, 33, 415–422. Disponible en línea: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1627>
- Vázquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2017). Efecto del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* sobre propiedades fisicoquímicas en películas de quitosano. *Ciencia Agropecuaria*, 8, 401–409.

A

Aceite, 10, 11, 13, 14, 15, 16
AUDPC, 5, 6, 8, 15

C

Coffea arabica, 4
Cusco, 6, 7, 8
Cymbopogon citratus, 1, 6, 7, 8, 10, 11, 17, 18

F

fungicidas sintéticos, 7

G

germinación, 6, 8, 12, 13, 17, 18

H

Hemileia vastatrix, 1, 6, 7, 18
hierba luisa, 6, 18

I

in vitro, 17, 21
infusión, 10, 11, 13, 14, 15, 16

M

Macerado, 10, 11, 13, 14, 15, 16
medio ambiente, 7, 17
métodos de control sostenibles, 6

P

Perú, 2, 4, 6, 7, 8

Q

Quillabamba, 2, 4, 8

T

Típica, 4

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es una enfermedad de gran impacto económico en el cultivo del café, especialmente en Perú. Este estudio investigó la efectividad de cinco biopesticidas de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) contra la roya en condiciones de laboratorio y campo en La Convención, Cusco.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br