

NOMBRE DEL TRABAJO

EFFECTO DEL EXTRACTO DE MORA EN LA INHIBICIÓN IN VITRO – IN VIVO DEL HONGO FITOPATÓGENO DEL CAFETO.do

AUTOR

Benjamin Chinchay Chinchay

RECUENTO DE PALABRAS

8795 Words

RECUENTO DE CARACTERES

49283 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

30 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

925.1KB

FECHA DE ENTREGA

Sep 9, 2024 11:57 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 9, 2024 11:58 AM GMT-5

● 16% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El café es uno de los productos más comercializados a nivel mundial, cultivándose en más de 50 países debido a su gran aprecio como bebida. La especie *Coffea arabica* L. es la más importante, representando entre el 80% y 90% de la producción mundial. Según Mantuano et al. [25], en América Latina esta especie predomina en la producción cafetera. El comercio del café genera importantes beneficios empresariales a nivel internacional, como lo indica ICO [19]. Se estima que la producción global involucra a 25 millones de hogares en todo el mundo, con aproximadamente el 70% proveniente de pequeños productores con menos de 2 hectáreas, como señalan Acosta et al. [1].

En Perú, de acuerdo con Díaz y Willems [11], el cultivo del café es el sustento económico de 223,000 pequeños productores, quienes poseen cerca de 387,421 hectáreas de tierra dedicadas a este cultivo. Romero [31] indica que estas plantaciones se encuentran principalmente en regiones como la Amazonía, San Martín, Cajamarca, Pasco, Cuzco y Junín. Según la Junta Nacional del Café [21], Perú ocupa el séptimo lugar en exportaciones de café a nivel mundial y es el segundo productor y exportador de cafés orgánicos. Alvarado et al. [2] señalan que, aunque el café se cultiva en el país desde hace más de 100 años, con aproximadamente 420,000 hectáreas instaladas actualmente, el rendimiento no ha mejorado significativamente, estimándose en 14 quintales por hectárea de café pergamino seco.

La productividad de un cafetal está influenciada por diversos factores, incluyendo la variedad sembrada, la densidad de plantación, la fertilización y el control de plagas. Alvarado et al. [2] advierten que las malezas, en particular, pueden afectar directamente al cultivo compitiendo por agua, luz, espacio y nutrientes. Las pérdidas de producción en el café debido a las malezas pueden oscilar entre el 60% y el 80%. Además, estas "plantas fuera de lugar" pueden ser hospederas de patógenos como hongos y nemátodos que atacan al cultivo.

Recientemente, los cafetaleros de Huarmaca han enfrentado graves problemas con enfermedades, principalmente el fitopatógeno conocido como 'ojo de gallo' u 'hongo del café' (*Mycena citricolor*), que ataca ramas, hojas y frutos del cafeto. Borja y Rivera [9] mencionan que su control mediante sulfato de oxiclورو de cobre, azufre en polvo o pitón, aunque eficaz contra los patógenos, puede generar problemas ambientales potenciales. Este escenario plantea la necesidad de explorar métodos de control más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

La Mora es una especie de zarzamora muy habitual en países como Ecuador, Colombia y Perú. Según Camacho-Valencia et al. [10], sus frutos contienen generalmente altos niveles de compuestos

fenólicos, entre ellos antocianinas y taninos, reconocidos por su potencial nutracéutico, antioxidante y protector para la salud. Muñoz y Zeta [27] señalan que el uso de diversas especies de mora se reporta en la medicina tradicional de China, India, Europa y las Américas. Junior et al. [23] indican una buena acción antioxidante, la cual se relaciona directamente con la presencia de compuestos fenólicos y antocianinas en los frutos, lo que le brinda también un alto potencial antimicrobiano. Cabe destacar, entre otras propiedades de esta especie vegetal, que Veličković et al. [40] reportan que los extractos de sus frutos deshidratados tienen un alto potencial de inhibir procesos enzimáticos relacionados al envejecimiento de la piel, y pueden considerarse en la preparación de cosméticos naturales.

7 1.2. Antecedentes de estudio

1.2.1 A nivel internacional

Bravo et al. [8] exploraron una alternativa ecológica para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), enfocándose en el potencial antifúngico de *Azadirachta indica*, comúnmente conocida como neem. Su investigación se centró en la extracción metanólica de compuestos bioactivos de diferentes partes de la planta: semillas, hojas y corteza. Los resultados de este estudio fueron notablemente prometedores. Los extractos de semillas y corteza demostraron una capacidad de inhibición de la germinación de esporas de *H. vastatrix* superior al 90%. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que los compuestos naturales presentes en *A. indica* podrían ser tan efectivos como los fungicidas sintéticos tradicionales, pero potencialmente con menos riesgos ambientales y de salud. Además, el estudio logró aislar cuatro compuestos específicos de *A. indica*: triricinoleína, estigmasterol, glucósido de estigmasterol y azadiractina A. Aunque estos compuestos no pudieron ser evaluados individualmente debido a las limitadas cantidades obtenidas, su identificación abre camino para futuras investigaciones sobre sus mecanismos de acción específicos contra *H. vastatrix*. Este trabajo representa un paso importante hacia el desarrollo de biopesticidas basados en extractos vegetales, ofreciendo una posible solución ecológica al problema de la roya del café.

García-Pérez et al. [14] ampliaron la investigación sobre alternativas naturales para el control de la roya del café, evaluando el efecto inhibitorio de extractos acuosos de tres especies de plantas sobre la germinación de urediniosporas de *Hemileia vastatrix*. Los resultados de este estudio fueron igualmente alentadores. Los extractos de las tres especies de plantas lograron una inhibición total de la germinación de urediniosporas de *H. vastatrix*, con una eficacia comparable a la de los fungicidas comerciales. Este hallazgo es particularmente relevante porque los extractos acuosos son generalmente más fáciles de preparar y aplicar en condiciones de campo.

Un aspecto destacable de este estudio fue la comparación estadística con controles negativos. Aunque los controles negativos mostraron una baja tasa de germinación, esta fue significativamente mayor ($P < 0,01$) que la observada en los tratamientos con extractos vegetales. Este detalle metodológico refuerza la validez de los resultados y subraya el potencial real de estos extractos como agentes de control biológico. Los autores concluyeron que los extractos de las tres especies vegetales estudiadas tienen un gran potencial para su uso en el control ecológico de la roya del café. Sin embargo, también reconocieron la necesidad de escalar los experimentos, tanto a nivel de invernadero como de campo, y de explorar el uso de surfactantes, coadyuvantes y estabilizadores para mejorar la eficacia y persistencia de los extractos en condiciones reales de cultivo.

Landero et al. [24] investigaron el papel de la mora como fungicida, evaluando el extracto de hoja de morera (*Morus alba*) para el control de mohos azules en manzanas post cosecha. Se evaluaron 11 extractos *in vitro* e *in vivo*. Los extractos foliares se obtuvieron de pétalos sin síntomas, triturados y colocados en agua neutra, metanol y acetato de etilo como solventes de separación de fases, o agua con densidades al 4%, 8% y 12%. Los resultados mostraron que los extractos obtenidos con 4% y 12% de metanol y 12% de extracto acuoso impidieron el desarrollo micelial. La formación de esporas fúngicas fue inferior con extractos al 4% y 12% de metanol y 8% de acetato de etilo, similar a los controles químicos. La severidad de las enfermedades fue menor en frutos tratados con imazalil, seguido del tratamiento con extractos acuosos al 4%. Solo los tratamientos con acetato de etilo al 8% alteraron el color del fruto.

Rodríguez et al. [cita no disponible] estudiaron el efecto antifúngico del café procesado, el extracto fenólico del fruto de chiltequina y los carotenoides sobre el desarrollo micelial y la formación de conidios. Para el control fúngico, se midieron diluciones de extracto en agar, colocando 50 μ l de cada extracto fenólico y carotenoide a una concentración de 100 mg/ml los días 3 y 5 de tratamiento. Los resultados mostraron que el extracto fenólico tuvo una eficiencia inhibitoria del 38,46% sobre el crecimiento micelial de *Alternaria* y redujo significativamente la germinación de conidios en el día 5. Para *Fusarium oxysporum*, el micelio no varió mucho y

aumentó, pero si la reducción en el desarrollo de conidios llegó al 85% con respecto al control. El extracto de carotenoide inhibió el crecimiento micelial en un 38,5 % y el desarrollo de conidios de *Fusarium oxysporum* en un 85,3 % en comparación con el control.

1.2.2. A nivel Nacional

Analizando los antecedentes proporcionados, se observa una línea de investigación consistente enfocada en el potencial antimicrobiano y citotóxico de diferentes especies del género *Rubus*. Estos estudios abordan la creciente necesidad de encontrar alternativas naturales a los antibióticos y conservantes sintéticos, así como nuevos agentes terapéuticos contra patógenos resistentes.

Muñoz y Zeta [27] se centraron en *Rubus robustus*, una especie de mora, evaluando sus propiedades antibacterianas y su toxicidad. Su enfoque experimental, utilizando extractos etanólicos de diferentes partes de la planta (tallos, hojas y raíces) contra cepas bacterianas específicas (*S. aureus* y *P. aeruginosa*), proporciona una visión integral de la eficacia antimicrobiana de *R. robustus*. El hallazgo de que el extracto de hojas mostró el mayor efecto inhibitorio sugiere una distribución no uniforme de los compuestos bioactivos en la planta, lo cual es crucial para futuras investigaciones y posibles aplicaciones. Además, la evaluación de toxicidad utilizando *Artemia salina* ofrece una perspectiva inicial sobre la seguridad de estos extractos, un aspecto fundamental para su potencial uso terapéutico o en la industria alimentaria.

Junior et al. [23] ampliaron esta línea de investigación al estudiar *Rubus fruticosus*, otra especie de mora, pero centrándose en extractos no polares fenólicos. Su metodología, utilizando la técnica de microdilución para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI), permite una evaluación más precisa de la eficacia antimicrobiana. Los resultados obtenidos, que muestran una alta inhibición de *E. coli* y *S. aureus* a concentraciones relativamente bajas, son particularmente prometedores. La observación de que la eficacia varía según la concentración y la bacteria objetivo subraya la importancia de ajustar las dosis para diferentes aplicaciones y patógenos.

Yousefbeyk et al. [41] contribuyeron significativamente al campo al estudiar *Rubus hyrcanus*, expandiendo así el conocimiento sobre la diversidad antimicrobiana dentro del género *Rubus*. Su enfoque en fracciones específicas (metanol y acetato de etilo) de raíces y hojas proporciona información valiosa sobre la localización de los compuestos bioactivos. La potente actividad antibacteriana observada contra *B. subtilis* y *S. aureus*, junto con los resultados de citotoxicidad, sugiere el potencial de *R. hyrcanus* no solo como agente antimicrobiano sino también como posible fuente de compuestos anticancerígenos.

Veličković et al. [40] adoptaron un enfoque más amplio al estudiar *Rubus discolor*, evaluando sus propiedades antimicrobianas y conservantes. Su metodología, que implica la extracción con diversos solventes, ofrece una perspectiva más completa sobre la eficacia de diferentes tipos de extractos. Los

resultados que muestran una mayor efectividad contra bacterias Gram positivas son particularmente interesantes, ya que sugieren un mecanismo de acción específico que podría estar relacionado con la estructura de la pared celular bacteriana. La actividad observada contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium* es especialmente relevante para la industria alimentaria, donde estos patógenos son una preocupación importante.

Colectivamente, estos estudios revelan el amplio potencial antimicrobiano y terapéutico del género *Rubus*. Las diferentes especies estudiadas (*R. robustus*, *R. fruticosus*, *R. hyrcanus*, *R. discolor*) muestran consistentemente actividad ²² contra una variedad de patógenos, incluyendo bacterias Gram positivas y Gram negativas, así como algunas levaduras. Esta diversidad de actividad sugiere la presencia de múltiples compuestos bioactivos con diferentes mecanismos de acción. La variabilidad en la eficacia entre diferentes partes de la planta y tipos de extractos (etanólicos, no polares fenólicos, fracciones de metanol y acetato de etilo) subraya la importancia de la metodología de extracción en la obtención de compuestos bioactivos. Esto abre caminos para futuras investigaciones sobre técnicas de extracción optimizadas y la identificación de compuestos específicos responsables de la actividad antimicrobiana. Además, los estudios de toxicidad y citotoxicidad proporcionan una base inicial para evaluar la seguridad de estos extractos. Los resultados generalmente favorables en términos de toxicidad sugieren que los extractos de *Rubus* podrían ser relativamente seguros para su uso, aunque se requieren estudios más exhaustivos antes de cualquier aplicación clínica o comercial. Apaza y Solís [4] evaluaron el efecto de extractos etanólicos de ajo, cebolla y jengibre sobre el crecimiento micelial de ciertos fitopatógenos. Los extractos de ajo en etanol tuvieron una inhibición del 100% del micelio fúngico a la dosis del 13% (vol./vol), y la tasa media más baja de inhibición del crecimiento micelial a la dosis del 11% fue del 76,05% (v/v) el día 5. El extracto etanólico de cebolla mostró una inhibición del 100% del hongo a una dosis del 10% (v/v) en mediciones de tres días, y la inhibición media más baja del crecimiento micelial al 6% (v/v) fue del 48,72% en el día 5. El extracto etanólico de jengibre, que fue más activo sobre el hongo, alcanzó el 100% de inhibición al 8% (v/v) en una medición de 3 días, y el nivel más bajo de inhibición fue al 6% (v/v) con un crecimiento medio del micelio del 76,98%.

La investigación de Santos [34] se destaca por su enfoque en dos patógenos bacterianos de gran relevancia: *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, ambos aislados de casos de mastitis bovina. Este enfoque es particularmente valioso, ya que aborda simultáneamente problemas de salud animal y seguridad alimentaria. La metodología empleada, utilizando diferentes concentraciones del extracto (60%, 80% y 100%), permite una evaluación detallada de la relación dosis-respuesta.

La observación de halos de inhibición crecientes en función de la concentración del extracto sugiere una clara relación dosis-dependiente en la actividad antimicrobiana. Es interesante notar que el

extracto mostró eficacia contra ambas especies bacterianas, aunque con una ligera mayor efectividad contra *S. aureus*. Esta diferencia podría atribuirse a las distintas estructuras de la pared celular entre bacterias Gram-positivas (*S. aureus*) y Gram-negativas (*E. coli*), lo que sugiere un posible mecanismo de acción relacionado con la integridad de la membrana celular bacteriana.

El estudio de Guevara [18] complementa y expande los hallazgos de Santos [34], centrándose específicamente en *S. aureus* aislado de pacientes hospitalarios. Este enfoque es crucial, dado el creciente problema de resistencia a antibióticos en entornos clínicos. La observación de que no hubo diferencias significativas entre las concentraciones de 50% y 75% sugiere que incluso concentraciones relativamente bajas del extracto pueden ser efectivas, lo cual es prometedor desde una perspectiva de aplicación práctica y económica. Quizás el hallazgo más interesante es la completa inhibición de *S. aureus* resistente a oxacilina por el extracto de *R. glaucus*. La resistencia a oxacilina es un marcador de cepas MRSA (*Staphylococcus aureus* resistente a meticilina), que representan un desafío significativo en el tratamiento de infecciones nosocomiales. El hecho de que el extracto de mora andina pueda inhibir completamente estas cepas resistentes abre posibilidades emocionantes para el desarrollo de nuevas terapias contra infecciones bacterianas multirresistentes.

La observación de que las cepas de *S. aureus* sensibles a oxacilina mostraron mayor resistencia al extracto es intrigante y merece mayor investigación. Este fenómeno podría indicar la presencia de mecanismos de resistencia específicos en estas cepas que les confieren una ventaja frente al extracto, o podría sugerir que el extracto tiene un mecanismo de acción que es particularmente efectivo contra las cepas resistentes a oxacilina.

Estos hallazgos subrayan el potencial antimicrobiano de los extractos de *R. glaucus*, particularmente contra cepas de *S. aureus*, incluyendo aquellas resistentes a antibióticos convencionales como la oxacilina. Esto sugiere posibles aplicaciones en el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos naturales para el tratamiento de infecciones bacterianas.

1.3. Teorías relacionadas al tema

La Roya del cafeto, causada por *Hemileia vastatrix* Berk., emerge como una de las amenazas más significativas para la industria cafetera global. Este patógeno biotrófico, perteneciente a la clase Basidiomycetes y familia Pucciniaceae, ha captado la atención de investigadores y productores de café por su capacidad devastadora de afectar las hojas del cafeto, llevando a una defoliación masiva y, consecuentemente, a una reducción drástica en el rendimiento de los cultivos, como lo señalan Avelino et al. [5].

La complejidad de esta enfermedad se manifiesta en su naturaleza policíclica, caracterizada por

múltiples generaciones del patógeno dentro de un solo ciclo de cultivo del café. Esta característica, combinada con la influencia significativa de factores climáticos en su desarrollo, presenta un desafío formidable para su control y manejo. Gutiérrez [25] destaca la temperatura y la humedad relativa como los factores climáticos más críticos en el ciclo de vida de *H. vastatrix*, mientras que la radiación solar juega un papel secundario pero no despreciable.

La adaptabilidad y resistencia de *H. vastatrix* se evidencian en su capacidad de supervivencia. El patógeno puede persistir en lesiones aparentemente inactivas en las hojas inferiores de la planta, así como en el material vegetal caído en el suelo del cafetal. Esta habilidad de supervivencia en condiciones subóptimas sugiere una estrategia evolutiva sofisticada que le permite al hongo mantener su presencia en el ecosistema del cafetal incluso en periodos poco favorables para su proliferación activa.

Un aspecto intrigante y aún no completamente dilucidado del ciclo de vida de *H. vastatrix* es la posible existencia de hospederos alternos. La falta de certeza en este aspecto subraya una laguna significativa en el conocimiento actual sobre la ecología de este patógeno. La confirmación o descarte de hospederos alternos podría tener implicaciones profundas para las estrategias de manejo de la enfermedad, especialmente en lo que respecta a la rotación de cultivos y el manejo del entorno del cafetal.

La comprensión profunda del ciclo de vida de *H. vastatrix* y de los factores ambientales que modulan su desarrollo se erige como un pilar fundamental para el diseño de estrategias de control efectivas. Esta necesidad se magnifica al considerar el impacto económico devastador que la Roya del cafeto tiene en la industria cafetera global. La enfermedad no solo afecta la producción actual, sino que también puede comprometer la viabilidad a largo plazo de las plantaciones de café, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas favorecen su proliferación.

El desafío que representa la Roya del cafeto trasciende el ámbito puramente agrícola y se extiende a esferas socioeconómicas más amplias. En muchas regiones productoras de café, especialmente en países en desarrollo, este cultivo es un pilar de la economía local y nacional. Por lo tanto, el impacto de la Roya del cafeto se traduce no solo en pérdidas económicas directas, sino también en repercusiones sociales significativas, afectando el sustento de comunidades enteras que dependen del café como su principal fuente de ingresos.

La investigación continua sobre *H. vastatrix* y la Roya del cafeto se perfila como una prioridad en la fitopatología y la agronomía del café. Los esfuerzos futuros deberían enfocarse no solo en profundizar el entendimiento del ciclo de vida del patógeno y su interacción con el ambiente, sino también en desarrollar estrategias de manejo integrado que sean sostenibles y adaptables a diferentes

contextos ecológicos y socioeconómicos. Esto podría incluir el desarrollo de variedades de café resistentes, la implementación de prácticas agrícolas que modifiquen el microclima del cafetal para hacerlo menos favorable al patógeno, y la exploración de métodos de control biológico basados en el ecosistema natural del café.

Ramírez et al. [30] ofrecen una descripción detallada del ciclo de vida y las condiciones óptimas para el desarrollo de *H. vastatrix*, el agente causal de la roya del café. Este hongo patógeno muestra una preferencia por temperaturas entre 21 y 25 °C, lo que explica su prevalencia en regiones cafetaleras de clima templado. La necesidad de baja intensidad lumínica y altos niveles de humedad para su germinación subraya la importancia de las condiciones microclimáticas en el desarrollo de la enfermedad. El proceso de infección, que implica la penetración por los estomas y el desarrollo de haustorios, revela la sofisticada adaptación evolutiva del patógeno a su hospedero. El período de maduración de aproximadamente 30 días antes de la producción de nuevas urediniosporas sugiere un ciclo de infección relativamente lento pero potencialmente devastador si no se controla.

Esta información es fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo integrado de plagas en cultivos de café. Comprender las condiciones ambientales que favorecen al patógeno permite implementar prácticas agrícolas que puedan mitigar su propagación, como el manejo de la sombra en los cafetales o la regulación de la humedad mediante técnicas de riego y drenaje adecuadas.

Por otro lado, la investigación sobre *Rubus robustus*, presentada por Guevara [18] y complementada por Santos [34], ofrece una visión integral de esta planta, desde su morfología hasta su potencial etnobotánico. La descripción detallada de *R. robustus* como una planta vigorosa con capacidad de crecimiento en diversos hábitats sugiere su adaptabilidad y resistencia, características valiosas para su posible cultivo y explotación.

La morfología de la planta, con sus tallos ascendentes, hojas compuestas y frutos en forma de polidrupa, no solo es importante para su identificación taxonómica, sino que también puede estar relacionada con su potencial medicinal. Por ejemplo, la presencia de pubescencia en varias partes de la planta podría indicar la existencia de estructuras secretoras que contienen compuestos bioactivos. El reporte de Santos [34] sobre el uso tradicional de *R. robustus* en Perú y Ecuador para tratar problemas respiratorios como alergias, asma, bronquitis y gripe es particularmente interesante. Esta información etnobotánica, respaldada por ensayos de laboratorio que confirman los efectos antimicrobianos de los extractos de hojas, sugiere un rico potencial farmacológico que merece una investigación más profunda.

La convergencia de estos estudios sobre *H. vastatrix* y *R. robustus* abre interesantes posibilidades de investigación. Por un lado, el conocimiento detallado del ciclo de vida y las condiciones óptimas para el desarrollo de *H. vastatrix* proporciona un marco para evaluar la eficacia de posibles

tratamientos. Por otro lado, el potencial antimicrobiano demostrado por *R. robustus* sugiere que esta planta podría ser una fuente de compuestos bioactivos útiles en el control de patógenos como *H. vastatrix*.

Además, la definición de medicina tradicional proporcionada por Junior et al. [23] contextualiza la importancia de estos estudios etnobotánicos. El reconocimiento de la medicina tradicional como un conjunto de conocimientos, técnicas y procedimientos basados en teorías, creencias y experiencias de diversas culturas subraya la importancia de integrar el conocimiento ancestral con la investigación científica moderna.

La descripción de los extractos etanólicos por Yousefbeyk et al. [41] proporciona una base técnica para entender cómo se pueden obtener y caracterizar los compuestos bioactivos de plantas como *R. robustus*. La variabilidad en la solubilidad y características de estos extractos dependiendo de la concentración de alcohol utilizada sugiere la importancia de optimizar los métodos de extracción para maximizar la obtención de compuestos de interés.

Por lo tanto, estas bases teóricas ofrecen un panorama integral que abarca desde la patología vegetal hasta la etnobotánica y la fitoquímica. La comprensión del ciclo de vida de *H. vastatrix* proporciona insights cruciales para el manejo de la roya del café, mientras que el estudio de *R. robustus* revela su potencial como fuente de compuestos bioactivos. La integración de estos conocimientos podría llevar al desarrollo de nuevas estrategias para el control de enfermedades en cultivos de café, basadas en productos naturales derivados de plantas como *R. robustus*. Además, estos estudios subrayan la importancia de la biodiversidad y el conocimiento tradicional en la búsqueda de soluciones a problemas agrícolas y de salud contemporáneos.

1.4. Formulación del problema

Ante lo anteriormente expuesto el problema de investigación es:

¿Cuál es el efecto in vitro – in vivo del extracto de mora sobre el hongo fitopatógeno delcafeño “roya del cafeño”?

1.5. Justificación e importancia del estudio

El presente trabajo de investigación busca impulsar el avance científico y ampliar el conocimiento en el campo del control de enfermedades fitopatógenas. Su objetivo principal es identificar mecanismos alternativos para combatir estas enfermedades, reduciendo así la dependencia actual de agroquímicos en los tratamientos fitosanitarios. Esta dependencia ha generado desequilibrios ecotoxicológicos y representa una amenaza para la salud humana y el medio ambiente.

En este contexto, la investigación se centra en el estudio y uso de plantas medicinales, con especial énfasis en aquellas nativas de la región donde se desarrollan las enfermedades que afectan a los

cultivos agrícolas. Entre estas plantas, la mora ha demostrado un particular interés debido a sus efectos microbicidas observados en estudios previos.

Este enfoque no solo promete ser más sostenible y respetuoso con el medio ambiente, sino que también podría ofrecer soluciones más seguras para la salud humana. Además, el uso de plantas locales en el control de enfermedades podría proporcionar beneficios económicos adicionales a las comunidades agrícolas, fomentando el desarrollo de productos fitosanitarios basados en recursos naturales de la región.

Las investigaciones previas han revelado propiedades antifúngicas potenciales en la mora silvestre, sugiriendo su posible aplicación para inhibir el crecimiento de diversas plagas fúngicas. Esta información es particularmente relevante en el contexto de la industria cafetera peruana, uno de los principales cultivos de exportación del país, que se ve frecuentemente afectado por infecciones fúngicas en sus plantaciones, representando un problema generalizado en los sembríos a nivel nacional. Huarmaca no es una excepción a esta realidad. Sus cultivos de café son afectados por el hongo del cafeto, lo que resulta en una disminución significativa de la producción. Sin embargo, la presencia de mora silvestre en este distrito ofrece una oportunidad única para explorar soluciones naturales y locales. Reconociendo la acción antifúngica de esta planta, se planteó el presente trabajo de investigación.

Es de suma importancia fomentar este tipo de investigaciones para descubrir alternativas eficaces en el combate de enfermedades fitopatógenas. La evaluación de la eficacia de los extractos naturales de plantas medicinales no solo podría proporcionar soluciones más sostenibles, sino que también beneficiaría directamente a los agricultores locales. Este enfoque de investigación promete múltiples ventajas, incluyendo el desarrollo de métodos de control de plagas más ecológicos y sostenibles, la reducción de la dependencia de agroquímicos sintéticos, el aprovechamiento de recursos naturales locales, la potencial mejora de la productividad agrícola y el posible desarrollo de nuevos productos fitosanitarios basados en la biodiversidad local. Al explorar el potencial de la mora silvestre como agente antifúngico natural, este estudio podría abrir nuevas vías para el manejo integrado de plagas en el cultivo del café, contribuyendo así a la sostenibilidad y eficiencia de la agricultura local y nacional.

1.6. Hipótesis

La hipótesis científica será:

- El extracto de mora inhibe in vitro – in vivo del hongo fitopatógeno del café “roya del café”

Las hipótesis estadísticas serían:

- H_0 = El extracto de mora no inhibe in vitro – in vivo del hongo fitopatógeno del café “roya del café”
- H_a = El extracto de mora sí inhibe in vitro – in vivo del hongo fitopatógeno del café “roya del café”

1.7. Objetivos

¹⁵ Objetivo general

- Evaluar el efecto inhibitorio in vivo – in vitro del extracto de fruto de la mora en el hongo fitopatógeno del café “roya del café”

Objetivos específicos

- Elaborar el extracto del fruto de la mora
- Identificar y aislar al hongo fitopatógeno del café “roya del café”

8 II. MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

El presente trabajo de investigación se clasifica como una investigación Aplicada según el fin que persigue, y como Experimental según la técnica de contrastación. El diseño de investigación adoptado es el de estímulo creciente, conforme a lo descrito por Goode y Hatt [12]. En este diseño, los grupos experimentales estarán constituidos por el hongo fitopatógeno del cafeto, presumiblemente *Hemileia vastatrix*, al cual se le aplicará un estímulo creciente consistente en diferentes concentraciones de los extractos de mora (*Rubus robustus*) tanto in vivo como in vitro.

Este enfoque metodológico permite evaluar sistemáticamente la eficacia de los extractos de mora en el control del hongo patógeno del café. Al utilizar concentraciones crecientes, se podrá determinar no solo la efectividad general del extracto, sino también la concentración mínima necesaria para lograr un efecto inhibitorio significativo. Esto es particularmente relevante en el contexto de los hallazgos previos de Muñoz y Zeta [27], quienes demostraron la eficacia antimicrobiana de los extractos etanólicos de *Rubus robustus* contra diversos patógenos.

8 2.2. Variables, Operacionalización.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Categoría	Escala
EFFECTO DEL EXTRACTO DE MORA EN LA INHIBICIÓN IN VITRO DEL HONGO FITOPATOGENO DEL CAFETO	Capacidad de destruir o inactivar microorganismos impidiendo su proliferación.	Facultad que posee el extracto de mora en condiciones de laboratorio, para inhibir el crecimiento hongos	Actividad antimicrobiana frente a esporas del hongo del cafeto	uredinios poras del hongo del cafeto	Recuento en porcentaje	Nominal

		fitopatógeno del café.				
EFECTO DEL EXTRACTO DE MORA EN LA INHIBICIÓN IN VIVO DEL HONGO FITOPATOGENO DEL CAFETO	Capacidad de destruir o inactivar microorganismos impidiendo su proliferación.	Facultad que posee el extracto de mora en condiciones de campo, para inhibir el crecimiento hongos fitopatógeno del café	Actividad antimicrobiana frente las hojas del café contaminada por el hongo del cafeto	daño foliar sobre la lámina de la hoja	porcentaje	Nomina 1
				pústulas por hoja.	número	

7 2.3. Población y muestra

- La población estuvo formada por las plantas de café de la variedad típico o nacional contaminada por el hongo fitopatógeno del café *Hemileia vastatrix* de todo el distrito de Huarmaca. La muestra estuvo formada por las plantas de café de la variedad típico o nacional contaminada por el hongo fitopatógeno del café *Hemileia vastatrix* de dos hectáreas de plantaciones de café de la zona rural del distrito de Huarmaca perteneciente a la familia Chinchay.
- 25 La investigación se realizó entre los meses de marzo a junio del 2023, en el estudio in vitro se trabajó con esporas del hongo fitopatógeno del café *Hemileia vastatrix*, mientras que el estudio in vivo se hizo con las plantaciones de café de la variedad típico o nacional contaminadas. Asimismo, se trabajó con mora (*Rubus robustus*) silvestre que obtuvieron de las zonas de alto Miraflores del distrito de Huarmaca 8

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

- Las técnicas requeridas para lograr cumplir con los objetivos del presente trabajo siguen esta secuencia gráfica:

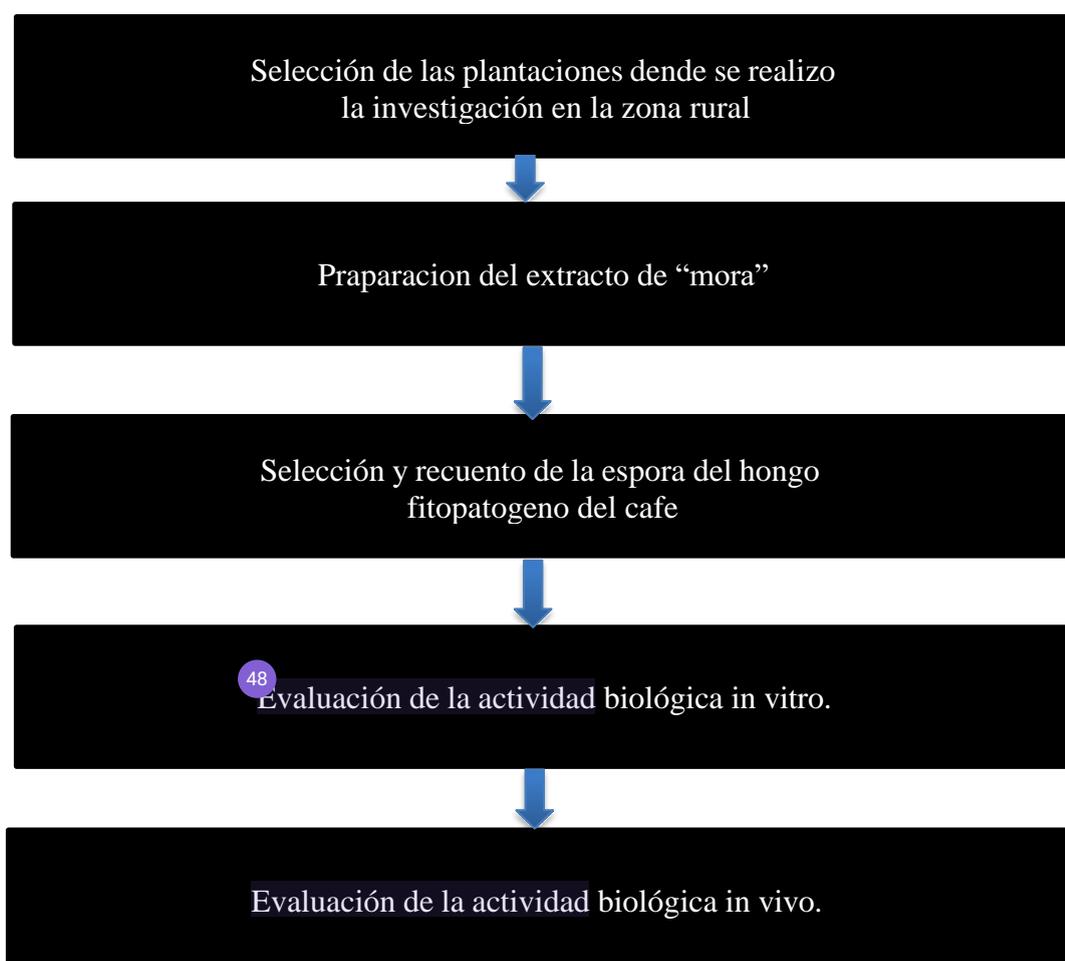


Fig. 01: Elaborado por el investigador.

Preparación del extracto (Bresin et al. [25]).

- Para la preparación del extracto, se recolectaron frutos de mora de plantas ubicadas en las montañas cercanas a Huarmaca. Se seleccionaron frutos de aspecto saludable, con color y tamaño uniformes, los cuales fueron lavados con agua destilada para eliminar residuos superficiales. Se pesó 1 kg de frutos y se trituró en una licuadora durante un minuto hasta obtener el extracto. El material molido resultante se distribuyó equitativamente en cuatro botellas de vidrio ámbar de un litro, protegidas de la luz debido a la fotosensibilidad de los componentes. En cada frasco se vertieron 600 ml de agua destilada para cubrir completamente la fruta picada.
- La mezcla se dejó reposar durante 72 horas para permitir la extracción de metabolitos a través de las polaridades del agua. Transcurrido este tiempo, se eliminó el sólido utilizando papel filtro Whatman® 54°, obteniendo así el licor madre de los extractos (combinando el contenido de los cuatro matraces). Este se consideró como el extracto base que contiene agua o disolventes.
- Posteriormente, se procedió a la separación de fases de la solución utilizando dos disolventes diferentes: metanol y acetato de etilo. Se vertieron 100 ml del extracto acuoso y 100 ml de acetato de etilo o metanol (grado reactivo, 99% de pureza) en matraces de separación de fases. Las soluciones se dejaron reposar hasta que se produjo la separación clara de las dos fases.
- Los extractos obtenidos se almacenaron a 4 °C hasta su uso en el experimento. En el momento de realizar la investigación, se prepararon las siguientes concentraciones a partir del extracto base: 100%, 75%, 50%, 25% y 12,5%. Esta metodología permite obtener una gama de concentraciones para evaluar la eficacia del extracto de mora en diferentes dosis, facilitando así la determinación de la concentración óptima para su potencial uso como agente antifúngico.

Recuento del hongo fitopatógeno del café (Apaza y Solís [4]).

Para el aislamiento del hongo fitopatógeno del café, se inició pesando 1 g de hoja de café en tres repeticiones, seleccionando muestras con características visibles de contaminación fúngica. Estas muestras se molieron en un mortero con 10 ml de solución salina tamponada con fosfatos (PBS) que contenía Tween 80 al 0,01%. Este proceso de maceración permite la

liberación de las esporas y estructuras fúngicas de la superficie foliar.

A partir de esta suspensión inicial, se realizaron diluciones seriadas hasta alcanzar concentraciones de 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} . Estas diluciones son cruciales para obtener un número adecuado de colonias fúngicas en el medio de cultivo, facilitando así su aislamiento e identificación.

Para el cultivo y aislamiento de los hongos, se empleó la técnica de inoculación superficial. Se añadieron 100 μ l de cada dilución a placas que contenían medio de agar Sabouraud suplementado con 0,1 mg/ml de tetraciclina. La adición de tetraciclina al medio de cultivo sirve para inhibir el crecimiento bacteriano, permitiendo el crecimiento selectivo de hongos. Esta metodología permite el aislamiento efectivo del hongo fitopatógeno del cafeto, facilitando su posterior identificación y estudio de susceptibilidad a los extractos de mora preparados previamente.

Evaluación de la actividad biológica del extracto (In vitro – in vivo) (Flores, Chico y Cerna [13]).

- En la fase "in vitro" del experimento, se evaluarán dos tratamientos en el medio: papa dextrosa agar (PDA) con extracto acuoso a 500 mg/L como control positivo, y PDA sin agregados como control negativo. Para preparar estas soluciones, se verterá en matraces separados una cantidad de PDA sin coagular, añadiendo la cantidad adecuada de extracto para alcanzar la concentración deseada. Por ejemplo, para una concentración del 4%, se decantarán 4 ml de la solución madre resultante de cada disolvente y se completará con 96 ml de medio PDA, ajustando proporcionalmente para otras concentraciones.
- Cada solución se verterá en una placa de Petri debidamente etiquetada, permitiendo que el medio se solidifique. Posteriormente, se transferirá al centro de cada caja un disco de 5 mm de diámetro de micelio fitopatógeno, obtenido de una cámara húmeda de Rossi-Cholodny, realizando tres repeticiones por tratamiento. Las placas se incubarán en oscuridad durante ocho días a 28 °C en una incubadora Thermo Scientific.
- Para determinar la efectividad de los tratamientos en el control de hongos fitopatógenos, se medirá el desarrollo radial de las colonias fúngicas cada 24 horas y se evaluará la esporulación fúngica (concentración de conidios en los medios de cultivo) a los 10 días, constituyendo esto la Halometría. Para el conteo de conidios, se enjuagarán las cajas de Petri con agua estéril, se raspará la superficie con varillas de vidrio y se filtrará por una malla de algodón estéril. Una alícuota de 0,5 ml de cada caja se transferirá a cámaras de Neubauer para el conteo de conidias.

- En la fase "in vivo", se aplicará el extracto mediante aspersión sobre las plantas de café en el campo, evaluando la remisión de la infección por la "roya del café". Se observará el cambio de apariencia y las características de infección frente al producto, midiendo cómo el hongo va perdiendo poder fitopatógeno. Se cuantificará la cantidad de plantas que mejoran su apariencia y la desaparición de los síntomas de la roya. Este enfoque permite aplicar técnicas cuantitativas favorables a la estadística, según las validaciones respectivas del control integrado de plagas, proporcionando una evaluación integral de la eficacia del extracto en condiciones de campo.

4 2.5. Procedimientos de análisis de datos

Los datos obtenidos se procesarán inicialmente en el programa Excel para la determinación de tablas y frecuencias. Para los análisis in vitro e in vivo, se emplearán análisis ANOVA y prueba de separaciones múltiples de Tukey. El software utilizado será SPSS v 25 para Windows® (Liengme [22]).

1 2.6. Criterios éticos

El estudio se regirá por tres principios éticos fundamentales: Beneficencia, aplicado al desarrollo de un programa de mejoramiento del cultivo del café en Huarmaca, evitando daños a la población; Equidad, asegurando un muestreo igualitario de todas las probabilidades de rendimiento en cada parcela mediante efectos aleatorios; y Gestión de riesgos, desarrollando estrategias para minimizar los riesgos de los participantes a través de mecanismos de bioseguridad.

7 2.7. Criterios de Rigor Científico

La investigación se adhiere a varios criterios de rigor científico:

Confiabilidad: Garantiza la repetibilidad del estudio bajo las mismas condiciones metodológicas, asegurando la exactitud de los datos encontrados.

Validación: Implica la correcta interpretación de los resultados, convirtiéndose en un soporte básico de la investigación cualitativa. La fiabilidad de los resultados se comprobará mediante triangulación instrumental.

Credibilidad o valor verdadero: Este criterio, también conocido como autenticidad, es crucial para demostrar los fenómenos que influyen positivamente en la acción del extracto.

Transferibilidad o aplicabilidad: Permite la extrapolación de los resultados del estudio a otros entornos, potencialmente ayudando a combatir otros patógenos de plantas.

Consistencia o Confiabilidad: Se refiere a la estabilidad de los datos y su replicabilidad, especialmente importante al procesar a escala.

Verificabilidad o reflexividad: También llamada neutralidad u objetividad, garantiza la veracidad del

relato del participante, buscando precisión para evitar sesgos.

Relevancia: Permite calibrar el logro de los objetivos de la investigación y evaluar si se ha logrado una mayor comprensión de los fenómenos estudiados.

Consistencia teoría-epistemológica: Dado el uso de una metodología lógico-positivista experimental, se debe mantener la adecuación entre la teoría y la epistemología, sustentando la relación entre problema, meta e hipótesis.

Estos criterios aseguran la robustez científica del estudio, garantizando la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos en el análisis del potencial antifúngico del extracto de mora contra el hongo patógeno del café.

III. RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 01

Características de la roya del cafeto: *Hemileia vastatrix*

Características	Descripción
Nombre científico:	<i>Hemileia vastatrix</i> (Berkeley y Broome).
Nombre común:	Roya del cafeto, roya del café, roya amarilla del café.
Hospedantes:	Diferentes especies del género <i>Coffea</i> spp., como <i>Coffea arabica</i> , <i>Coffea canephora</i> y <i>Coffea liberica</i>
Distribución geográfica en América Latina	Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela, Ecuador.
Síntomas:	Manchas amarillas o naranjas, con presencia de polvo fino amarillo, donde se producen las esporas del hongo
Condiciones para la infección:	Presencia de agua libre por lo menos 6 horas, temperaturas entre los 21-25 °C y condiciones de oscuridad.
Espora:	Tamaño microscópico (30µm de largo x 20µm de ancho) de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosas en la externa, denominadas urediniósporas, y son producidas en grandes cantidades, y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas de café y
Daño:	El 60 %, causan defoliación, en etapas tempranas se puede presentar una reducción en el rendimiento.
Multiplicación	Ocurre 30 días después de la etapa de infección y colonización del tejido de las hojas

Como se observa en la tabla 01 una de las características más resaltante de la roya del cafeto: *Hemileia vastatrix* es que la espora presenta un tamaño microscópico de 30µm de largo x 20µm de ancho, de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosas en la externa, denominadas urediniósporas y las condiciones para la infección es: Presencia de agua libre por lo menos 6 horas, temperaturas entre los 21-25 °C y condiciones de oscuridad.



34 Fig. 2: Roya del cafeto: *Hemileia vastatrix* (A, B y C) en plantaciones de café de la variedad típico o nacional en el distrito de Huarmaca.

Tabla 2:

4 Efecto inhibitorio del in vitro de del extracto de mora sobre el hongo fitopatogeno delcafeeto.

REPETICIONES	CONCENTRACIÓN DEL EXTRACTO DE MORA	RECuento DE urediniosporas de <i>Hemileia Vastatrix</i>	TOTAL
REPETICIÓN 01	100 %	5,666666667	10,6662
	75 %	8,333333333	
	50 %	10,333333333	
	25 %	13,333333333	
	12,5%	15,666666667	
REPETICION 02	100 %	6,333333333	11,0664
	75 %	8,333333333	
	50 %	10,666666667	
	25 %	14	
	12,5%	16	
REPETICION 03	100 %	6,666666667	11,5994
	75 %	8,666666667	
	50 %	11,666666667	
	25 %	14,333333333	
	12,5%	16,666666667	

Como se puede observar en la tabla 02 las concentraciones del extracto de mora de 750 mg/ml y 1000 mg/ml son las que presenta mayor efecto inhibitorio in vitro sobre la germinación de las esporas del hongo fitopatogeno del cafeeto (*Hemileia vastatrix*).

Tabla 3:

Análisis de Varianza (ANAVA) del efecto inhibitorio del in vitro de del extracto de mora sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto de la variedad típica o nacional.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p	Decisión
CC	843,69	9	93,74	190,31	1,93	Rechaza HO1
Repetición	25194,07	8	3149,26	6393,23	1,99	Rechaza HO2
CC*repetición	1686,13	72	23,42	47,54	1,36	
Error	88,67	180	0,49			

HIPOTESIS:

Repeticiones

HO: No existen diferencias significativas del efecto inhibitorio in vitro del extracto de mora en las repeticiones sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) delcafe to variedad típica o nacional.

Ha: Si existen diferencias significativas del efecto inhibitorio in vitro del extracto demora en las repeticiones sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional.

Concentraciones

HO: No existen diferencias significativas del efecto inhibitorio in vitro del extracto de mora en las diferentes concentraciones sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional.

Ha: Si existen diferencias significativas del efecto inhibitorio in vitro del extracto de mora en las diferentes concentraciones sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional.

Al realizar el Análisis de varianza reveló que el efecto inhibitorio in vitro del extracto demora sobre el hongo fitopatogeno del cafeto es dependiente de las repeticiones y concentración del extracto, por lo tanto, si tiene acción en sus concentraciones.

Tabla 04:

Efecto inhibitorio del in vivo de del extracto de mora sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional en porcentaje de daño foliar sobre la lámina de la hoja

DÍAS	CONCENTRACIÓN DE EXTRACTO DE MORA	Porcentaje de daño foliar sobre la lámina de
		la hoja.
0 días	100%	80%
	75%	80%
	50%	80%
	25%	80%
	12,50%	80%
10 días	100%	75%
	75%	77%
	50%	80%
	25%	80%
	12,50%	80%
20 días	100%	71%
	75%	74%
	50%	78%
	25%	80%
	12,50%	80%
30 días	100%	70%
	75%	72%
	50%	76%
	25%	79%
	12,50%	80%
40 días	100%	70%
	75%	71%
	50%	73%
	25%	78%
	12,5%	76%

Como se puede observar en la tabla 04 el extracto de mora in vivo no tuvo efecto inhibitorio sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional en porcentaje de daño foliar sobre la lámina de la hoja

Tabla 05:

Efecto inhibitorio del in vivo de del extracto de mora sobre el hongo fitopatogeno (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional en número de pústulas por hoja.

DÍAS	CONCENTRACIÓN DEL EXTRACTO DE MORA	NUMERO DE PÚSTULAS POR HOJA
0 días	100 %	16
	75 %	17
	50 %	15
	25 %	16
	12,5%	17
10 días	100 %	15
	75 %	16
	50 %	15
	25 %	16
	12,5%	17
20 días	100 %	14
	75 %	15
	50 %	14
	25 %	16
	12,5%	17
30 días	100 %	13
	75 %	14
	50 %	14
	25 %	14
	12,5%	16
40 días	100 %	13
	75 %	13
	50 %	13
	25 %	13
	12,5%	15

En la tabla 5 podemos observar que el extracto de mora in vivo no tuvo efecto inhibitorio sobre el hongo fitopatogeno del cafeto (*Hemileia vastatrix*) del cafeto variedad típica o nacional al ser evaluado por Numero de pústulas por hoja

IV. DISCUSIÓN

¹⁰ La roya del café, causada por *Hemileia vastatrix*, se erige como uno de los desafíos más significativos en la historia de la agricultura, particularmente en el sector cafetalero. Su impacto devastador la posiciona entre las siete enfermedades de plantas más catastróficas de los últimos cien años, un hecho que subraya la magnitud de su amenaza para la industria global del café. La estimación de pérdidas del 30% en las cosechas de América Latina revela la escala del problema, sugiriendo un impacto socioeconómico de proporciones alarmantes en una región donde el café es un pilar económico crucial para muchas comunidades rurales.

La singularidad de *H. vastatrix* en su modo de infección merece especial atención. A diferencia de otras royas que rompen la epidermis de la hoja, este patógeno ha evolucionado para esporular a través de los estomas. Esta adaptación le confiere una ventaja significativa, permitiéndole evadir algunas ³² de las defensas naturales de la planta y complicando los esfuerzos de detección temprana y control. La ausencia de pústulas típicas y la variabilidad en la apariencia de las lesiones, que van desde amarillo-naranja hasta rojo-anaranjado, plantean desafíos adicionales ⁴⁷ para el diagnóstico y manejo de la enfermedad.

El patrón de desarrollo de las lesiones, concentrándose en los bordes de las hojas ¹¹ donde se acumulan las gotas de lluvia y rocío, revela la sofisticada adaptación del patógeno a las condiciones microclimáticas de su hospedero. Este comportamiento sugiere que las estrategias de manejo deberían considerar no solo el control directo del patógeno, sino también la modificación del microambiente del cafetal para hacerlo menos favorable a la infección y propagación del hongo. La naturaleza biotrófica de *H. vastatrix*, señalada por Avelino et al. [5], añade otra capa de complejidad al problema. Como parásito obligado que depende de células vivas de *Coffea* para completar su ciclo de vida, el patógeno ha establecido una relación íntima con su hospedero. Esta característica no solo dificulta su control, sino que también limita las opciones de manejo, ya que cualquier estrategia debe considerar cuidadosamente el impacto en la planta hospedera.

El ciclo de infección descrito por Avelino y Rivas [6] proporciona insights cruciales para el desarrollo de estrategias de control. La progresión desde la liberación y deposición de esporas hasta la aparición de síntomas visibles ofrece múltiples puntos de intervención potencial. Sin embargo, la rapidez con la que las manchas se expanden y producen nuevas esporas, como lo describen Rivillas et al. [29], subraya la necesidad de acciones preventivas y de detección temprana.

La mención de *Rubus robustus* como una fuente potencial de compuestos antifúngicos [27] abre una línea de investigación prometedora. ⁴⁹ El uso de extractos naturales de plantas para el control de enfermedades ³⁰ se alinea con la creciente demanda de prácticas agrícolas más sostenibles y

ecológicas. Esta aproximación podría ofrecer una alternativa o complemento a los fungicidas sintéticos, potencialmente reduciendo los impactos ambientales negativos asociados con el control químico tradicional. Sin embargo, es crucial reconocer que el desarrollo de estrategias de control basadas en extractos naturales enfrenta sus propios desafíos. La variabilidad en la composición química de las plantas, la estabilidad de los compuestos activos en condiciones de campo, y la escalabilidad de la producción son aspectos que requerirán investigación detallada. Además, la eficacia de estos extractos deberá ser evaluada no solo contra *H. vastatrix*, sino también en términos de su impacto en el ecosistema más amplio del cafetal.

La complejidad de la roya del café demanda un enfoque integrado y multidisciplinario para su manejo. Esto podría incluir mejoramiento genético para desarrollar variedades de café con mayor resistencia a *H. vastatrix*, prácticas agronómicas que modifiquen el microclima del cafetal, control biológico mediante microorganismos antagonistas, manejo integrado de plagas que combine múltiples estrategias, sistemas de alerta temprana para la detección precoz de la infección, y programas de educación y extensión para capacitar a los agricultores en el reconocimiento temprano de síntomas y en la implementación de prácticas de manejo sostenible.

Por lo tanto, la roya del café representa un desafío formidable que requiere una respuesta igualmente robusta y multifacética. La integración de conocimientos sobre la biología del patógeno, la ecología del cafetal, y las innovaciones en control biológico y manejo agronómico será crucial para desarrollar estrategias efectivas y sostenibles. El potencial de extractos naturales como los de *R. robustus* ofrece una vía prometedora, pero debe ser explorado como parte de un enfoque más amplio y holístico. Solo a través de esfuerzos concertados y multidisciplinarios se podrá abordar efectivamente esta amenaza, salvaguardando no solo la producción de café, sino también los medios de vida de millones de personas que dependen de este cultivo en todo el mundo.

El estudio del ciclo de vida y los factores que influyen en el desarrollo de *Hemileia vastatrix*, el agente causal de la roya del café, revela la complejidad de esta enfermedad y los desafíos que presenta para su control. Barquero Miranda [25] proporciona información crucial sobre la duración del ciclo reproductivo del hongo, señalando que el período desde la germinación de la espora hasta la producción de nuevas esporas puede oscilar entre 20 y 40 días. Esta variabilidad en la duración del ciclo está estrechamente vinculada a las condiciones ambientales, particularmente la temperatura y la humedad.

La temperatura emerge como un factor crítico en el desarrollo de *H. vastatrix*. El rango óptimo de 22-23°C para la germinación de uredosporas, penetración en los tejidos y colonización de la hoja del café subraya la importancia de las condiciones microclimáticas en la progresión de la enfermedad. El estudio de Santacreo et al. [33] en Honduras proporciona evidencia empírica de cómo la altitud y, por ende, la temperatura, afectan los períodos de latencia del hongo. La observación de que a 750 msnm los períodos de latencia fluctúan entre 29 y 62 días, extendiéndose hasta 80 días en temperaturas más bajas, ilustra la sensibilidad del patógeno a las variaciones térmicas.

Las observaciones de Jaramillo y Gómez [22] sobre las diferencias de temperatura entre las partes de la planta de café y el aire circundante añaden otra capa de complejidad al entendimiento de la dinámica de la enfermedad. El hecho de que las ramas y hojas del cafeto estén más calientes que el aire durante el día y más frías durante la noche crea microambientes que pueden favorecer o inhibir el desarrollo del hongo. Esta información es crucial para el diseño de estrategias de manejo que consideren no solo las condiciones climáticas generales, sino también las variaciones microclimáticas dentro del dosel del cafeto.

El estudio in vitro del efecto inhibitorio del extracto de mora sobre *H. vastatrix* abre una línea de investigación prometedora en el control biológico de la roya del café. La eficacia observada se atribuye a la compleja composición química de los extractos vegetales, particularmente a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y saponinas. Estos metabolitos secundarios actúan sobre diferentes aspectos de la fisiología microbiana, desde la integridad de la membrana celular hasta la inhibición de procesos metabólicos esenciales.

Los fenoles, por ejemplo, muestran un mecanismo de acción que implica el daño a la membrana celular y la consecuente liberación de componentes intracelulares, así como la coagulación del citoplasma. Las saponinas, por su parte, forman poros en las membranas celulares, alterando su permeabilidad. Los flavonoides exhiben una gama más amplia de mecanismos inhibitorios, incluyendo la interferencia con la síntesis de ácidos nucleicos y la inhibición del metabolismo energético.

La eficacia del extracto de *Rubus glaucus* "mora andina" contra *H. vastatrix* muestra una clara

relación dosis-respuesta, con la concentración al 100% produciendo la mayor inhibición del crecimiento. Esta observación, respaldada por los resultados de Muñoz y Zeta [27] y Santos [34], sugiere que la concentración de principios activos es un factor crítico en la eficacia del extracto. Sin embargo, es importante notar que esta relación directa solo se mantiene mientras la concentración sea proporcional a la permeabilidad de la membrana celular del patógeno.

La discrepancia observada entre los resultados in vitro e in vivo, donde el extracto de mora no mostró efecto inhibitorio significativo en condiciones de campo, subraya la complejidad de trasladar los hallazgos de laboratorio a aplicaciones prácticas. Esta diferencia podría atribuirse a diversos factores ambientales no controlables en el campo, como fluctuaciones de temperatura y humedad, que pueden afectar tanto la estabilidad del extracto como la susceptibilidad del patógeno. Estos resultados plantean importantes desafíos y oportunidades para futuras investigaciones. Se hace evidente la necesidad de optimizar la formulación del extracto para mejorar su estabilidad y eficacia en condiciones de campo. Esto podría incluir el desarrollo de formulaciones que mejoren la adherencia del extracto a las hojas del café y su resistencia a factores ambientales como la lluvia y la radiación solar.

Además, es crucial considerar la interacción entre el extracto y el microambiente del cafetal. Las observaciones sobre las variaciones de temperatura en diferentes partes de la planta sugieren que la eficacia del extracto podría variar dependiendo de su ubicación en el dosel y el momento del día en que se aplique. Por lo tanto, el estudio del ciclo de vida de *H. vastatrix* y los factores que influyen en su desarrollo, junto con la exploración de extractos naturales como potenciales agentes de control, representa un enfoque multifacético para abordar el desafío de la roya del café. La complejidad de las interacciones entre el patógeno, la planta hospedera y el ambiente subraya la necesidad de estrategias de manejo integrado que combinen el conocimiento detallado de la biología del patógeno con innovaciones en control biológico y prácticas agronómicas adaptadas. Futuras investigaciones deberían enfocarse en cerrar la brecha entre la eficacia in vitro e in vivo de los extractos naturales, considerando las complejas dinámicas ecológicas del sistema cafetal-patógeno-ambiente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Si existe efecto inhibitorio in vitro del extracto de mora sobre el hongo fitopatógeno del cafeto- *Hemileia vastatrix* y no existe efecto inhibitorio in vivo.
- La roya del cafeto: *Hemileia vastatrix* presenta una espora de tamaño microscópico de 30µm de largo x 20µm de ancho, de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosas en la externa, denominadas urediniosporas y las condiciones para la infección son la presencia de agua libre por lo menos 6 horas, temperaturas entre los 21-25 °C y condiciones de oscuridad.

5.2. Recomendaciones

- Realizar más investigaciones con diferentes plantas medicinales para probar si presentan efecto inhibitorio sobre el hongo fitopatógeno del cafeto- *Hemileia vastatrix*
- Realizar investigaciones con otros hongos fitopatógeno que afectan a cultivos de exportación en nuestra región.
- Realizar investigaciones in vivo con bioinsecticidas propias de la región
- Investigar el efecto inhibitorio del extracto de mora con otras especies de hongos fitopatógenos.

● 16% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	1library.co Internet	2%
2	scielo.org.mx Internet	2%
3	repositorio.unprg.edu.pe Internet	2%
4	hdl.handle.net Internet	<1%
5	researchgate.net Internet	<1%
6	repositorio.unesum.edu.ec Internet	<1%
7	repositorio.uss.edu.pe Internet	<1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Internet	<1%

9	oldri.ues.edu.sv Internet	<1%
10	repositorio.usac.edu.gt Internet	<1%
11	repositorio.catie.ac.cr Internet	<1%
12	repositorio.unap.edu.pe Internet	<1%
13	worldwidescience.org Internet	<1%
14	mag.gob.sv Internet	<1%
15	Universidad Cesar Vallejo on 2017-07-24 Submitted works	<1%
16	repositorio.utn.edu.ec Internet	<1%
17	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on ... Submitted works	<1%
18	cesavep.org Internet	<1%
19	fao.org Internet	<1%
20	Ilaria Berruti. "Assessment of novel Advanced Oxidation Processes for ... Crossref posted content	<1%

21	Universidad Autónoma de Chiapas on 2020-06-26	<1%
	Submitted works	
22	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador on 2024-09-08	<1%
	Submitted works	
23	pesquisa.bvsalud.org	<1%
	Internet	
24	dem.ri.gov	<1%
	Internet	
25	oalib.com	<1%
	Internet	
26	smf.org.mx	<1%
	Internet	
27	Sandra Vacas González. "Uso de semioquímicos en el control de plaga...	<1%
	Crossref posted content	
28	repository.unad.edu.co	<1%
	Internet	
29	rpa.reduc.edu.cu	<1%
	Internet	
30	theinsightpartners.com	<1%
	Internet	
31	Miguel Á. Guerra-Camacho, María C. Magaña-Tzuc, Arely A. Vargas-Dí...	<1%
	Crossref	
32	agrotransfer.csic.es	<1%
	Internet	

33	archbronconeumol.org Internet	<1%
34	core.ac.uk Internet	<1%
35	dspacetest.cgiar.org Internet	<1%
36	ecosur.repositorioinstitucional.mx Internet	<1%
37	geed.sen.es Internet	<1%
38	medintensiva.org Internet	<1%
39	prezi.com Internet	<1%
40	repositorio.usat.edu.pe Internet	<1%
41	ri.ues.edu.sv Internet	<1%
42	uaeh.redalyc.org Internet	<1%
43	vdocuments.mx Internet	<1%
44	bioetica.org Internet	<1%

45	dspace.uce.edu.ec Internet	<1%
46	redtelework.com Internet	<1%
47	thehorse.com Internet	<1%
48	Catalina Rivas-Morales, María Azucena Oranday-Cárdenas, María Julia... Crossref	<1%
49	Langa Lomba, Natalia. "Sistemas para el control eficaz y sostenible de ..." Publication	<1%
50	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2009-03-05 Submitted works	<1%
51	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador on 2024-09-01 Submitted works	<1%
52	Universitas Riau on 2023-05-12 Submitted works	<1%
53	academic.oup.com Internet	<1%
54	americanae.aecid.es Internet	<1%
55	chm.cbd.int Internet	<1%
56	eprints.uanl.mx Internet	<1%

57

per.sika.com

Internet

<1%

58

scribd.com

Internet

<1%