

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Vinagre de la madera y su efecto inhibitorio en condiciones de laboratorio sobre el crecimiento de hongos del follaje del cultivo de café

Wood vinegar and its inhibitory effect under laboratory conditions on fungal growth in coffee crop foliage

Yorleni Madelei Murillo Gaitán¹, Isaías Ezequiel Sánchez Gómez², Karol Pahola Moreno Kuan³

¹ Ingeniero agrónomo, graduado de la Dirección de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0857-0446> / murilloyorlenis328@gmail.com

² MSc. en Sanidad Vegetal, Universidad Nacional Agraria, Dirección de Ciencias Agrícolas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6604-1660> / isanchez@ci.una.edu.ni

³ Licenciada en Química, Dirección de Ciencias Ambientales Cambio Climático, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3390-3604> / karol.moreno@ci.una.edu.ni

Autor para correspondencia: isanchez@ci.una.edu.ni



RESUMEN

El vinagre de la madera o ácido piroleñoso es una mezcla compleja de agua y compuestos orgánicos que incluyen cetonas, alcoholes, alcanos, ésteres, entre otros, que son obtenidos del proceso de pirólisis de la madera. El objetivo de este estudio fue evaluar en condiciones de laboratorio la eficacia e inhibición del ácido piroleñoso sobre el crecimiento de hongos que afectan el follaje de cultivo de café. Se colectaron hojas de café con síntomas de manchas foliares causadas por los hongos *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. El aislamiento de los hongos se realizó mediante la siembra de tejido infestado en el medio de cultivo papa dextrosa agar. La eficacia del ácido piroleñoso se evaluó mediante inoculación con discos de 6 mm de diámetro que contenían los patógenos sobre la superficie de placas Petri que contenían el medio papa dextrosa agar con las dosis del producto, posterior a la inoculación se realizaron mediciones cada 12 horas por un periodo de 144 horas, luego se aplicó la fórmula de porcentaje de inhibición de crecimiento micelial. Para calcular la inhibición de crecimiento radial de los hongos fitopatógenos, se realizó el cálculo del crecimiento de diámetro del hongo en relación con el tiempo. La dosis de 250 ml de ácido piroleñoso presenta una eficacia de 100 % en el crecimiento micelial

ABSTRACT

Wood vinegar or pyroligneous acid is a complex mixture of water and organic compounds including ketones, alcohols, alkanes, esters, among others, which are obtained from the pyrolysis of wood. The objective of the study was to evaluate the efficacy and inhibition of pyroligneous acid on the growth of fungi that affects the foliage of coffee crops under laboratory conditions. Coffee leaves with symptoms of leaf spots caused by the fungi *Colletotrichum* sp and *Cercospora* sp were collected. The fungi were isolated by sowing infested tissue on potato dextrose agar culture medium. The effectiveness of pyroligneous acid was evaluated by inoculation with 6 mm diameter discs containing the pathogens on the surface of petri dishes containing potato dextrose agar medium with the doses of the product, after inoculation measurements were taken every 12 hours for a period of 144 hours, then the percentage formula for mycelial growth inhibition was applied. To calculate the inhibition of radial growth of phytopathogenic fungi, the calculation of the diameter growth of the fungus in relation to time was performed. Pyroligneous acid at a dose of 250 ml exhibits 100% efficacy in inhibiting mycelial growth and has a radial growth-inhibitory effect on *Colletotrichum* sp.

Recibido: 5 de febrero del 2025
Aceptado: 9 de mayo del 2025



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

Copyright 2025. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

y un efecto inhibitorio del crecimiento diametral en *Colletotrichum* sp., y *Cercospora* sp., cuando ambos están presentes, y en el caso de presentarse únicamente *Cercospora* sp., la dosis efectiva es de 150 ml.
Palabras clave: Inhibición, dosis, patógeno, crecimiento radial, *Colletotrichum* sp, *Cercospora* sp.

and *Cercospora* sp. when both are present, and when only *Cercospora* sp. is present, the effective dose is 150 ml.

Keywords: Inhibition, dose, pathogen, radial growth, *Colletotrichum* sp, *Cercospora* sp

El ácido piroleñoso (AP) también conocido como vinagre de la madera, es un subproducto que se obtiene mediante la carbonización de los productos maderables para la obtención del carbón vegetal, está compuesto por agua, ácidos orgánicos (ácido acético) y compuestos, como cetonas, alcoholes, ésteres y otros (Souza, 2012).

Es obtenido en un proceso de pirólisis de la madera, que consiste en la descomposición de biomasa en condiciones ambientales controladas, este producto es considerado como un residuo en la producción de carbón vegetal durante su proceso de carbonización (Catacora *et al.*, 2019), el producto maderable es introducido en una caldera, que alcanza temperaturas mayores a 300 °C que evaporan los compuestos orgánicos volátiles y luego son condensados en dos fases, Coque (alquitrán) y fase hidrolítica (ácido piroleñoso).

Se conocen diferentes usos de este producto tales como; estimulador de crecimiento, enraizador, fertilizante, controlador de malezas, controlador insectil y efecto antifúngico (Espín Carbajal, 2020). Martínez (2008), manifiesta que el ácido piroleñoso es tóxico en todas sus concentraciones, causando mortalidad a nivel de laboratorio sobre colonias de áfidos (*Myzus persicae*).

Rojas *et al.* (1997) evaluaron la efectividad antimicrobiana de productos derivados del ácido piroleñoso considerando buena la efectividad antimicrobiana a una concentración de 6 %; en el mismo estudio se evidenció que en áreas quirúrgicas mostró una gran reducción de unidades formadoras de colonias bacterianas después de la desinfección. En el estudio toxicológico se aprecia que los productos son aptos para el uso propuesto.

El objetivo de esta investigación es evaluar en condiciones de laboratorio la eficacia del ácido piroleñoso sobre el crecimiento de hongos que afectan el follaje de cultivo de café, así como brindar información acerca del uso que puede tener el ácido piroleñoso como controlador fúngico a diferentes dosis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. El estudio se realizó en el laboratorio de microbiología de la Dirección de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicado en las coordenadas 12°08'45" de latitud Norte y 86°09'46" de longitud Oeste, en Managua, capital de Nicaragua.

Diseño metodológico. Se trabajo mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA) con arreglo unifactorial, con siete tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental correspondió a un plato Petri. Para todos los tratamientos se utilizó el medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) con formulación de 39 g L⁻¹ de agua destilada. Los tratamientos fueron conformados por las dosis comerciales indicadas para ácido piroleñoso y Azoxystrobin 20 % + Ciproconazol 8 %.

Colecta de hojas de café. La colecta del material vegetativo infestadas con los hongos *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp, se realizó en la finca ITAMAR, ubicado en el departamento de Masaya, municipio de Masatepe con latitud Norte de 11°52'11.2'' y longitud Oeste de 86°0.9'26.6''; las muestras se colectaron en tres parcelas productivas y en áreas donde se observaron los síntomas característicos producidos por estos géneros. El material colectado se trasladó en un termo con hielo (hielera) y se almacenó en refrigeración, para el posterior proceso de aislamiento de hongos en el laboratorio.

Aislamiento de *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. Se procesaron muestras de hojas de café colectadas de campo con manchas con centro blanquecino, borde café y halo amarillento denominadas como mancha de hierro, ocasionadas por *Cercospora* sp, mientras que los síntomas de la enfermedad conocida como antracnosis son producidos por *Colletotrichum* sp y consisten en manchas necróticas de color café de tamaño y forma irregular que inician en el borde y avanzan hacia el centro (Huaman *et al.*, 2021; Moreira *et al.*, 2023). En las hojas con síntomas provocadas por estos hongos, se realizaron cortes de 0.3 cm², el material vegetativo se desinfectó con etanol al 90 % por dos minutos, luego se adicionó agua destilada para eliminar el etanol y se procedió a secar por una hora aproximadamente sobre papel toalla estéril; transcurrido el tiempo, se sembró el material vegetal en placas Petri conteniendo el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) y el medio Agar Agar (AA) (Castro, 2020; Agrios, 2005), seis días después de la siembra se realizaron las lecturas y a partir de la primera siembra se extrajeron las estructuras del patógeno y se sembraron nuevamente en medios de cultivo PDA, hasta obtener así cultivos puros; luego se identificaron con la clave de hongos imperfectos de Barnett y Hunter (1998). Estos cultivos fueron utilizados en la prueba de eficacia e inhibición de crecimiento radial.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Eficacia *in vitro* del ácido piroleñoso sobre *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. Para evaluar la eficacia del ácido piroleñoso *in vitro* se inocularon las placas Petri con el medio PDA que contenía las dosis comerciales evaluadas (Cuadro 1), en el caso del ácido piroleñoso se disminuyó la dosis a partir de 100 ml y se aumentó la dosis a partir de los 200 ml en un rango de 50 ml por dosis. Los discos de 6 mm con los hongos correspondientes a *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp ya crecido a 25 °C de temperatura se colocaron en el centro de la placa Petri y se incubó hasta que se observó un avance del hongo y se marcó el punto de avance sobre los cuatro radios dibujados en la placa y se inició el estudio de crecimiento (Alburqueque y Gusqui, 2018). A intervalos de 12 horas se marcó y se midió el crecimiento hasta las 144 horas, para un total de 12 intervalos de mediciones de crecimiento radial, cada radio representó una observación (French y Herbert, 1982; Leyva *et al.* 2017; Moreno, 2000;). La eficacia de los fungicidas en el control del patógeno se expresó como el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM), para esto se empleó la fórmula descrita por Rodríguez *et al.* (2017):

$$PICM = \frac{R1 - R2}{R1} \times 100$$

Donde:

R1: Crecimiento radial (mm) del hongo en el testigo absoluto
R2: Crecimiento del hongo radial (mm) en interacción con el producto (testigo relativo)

Cuadro 1. Tratamientos evaluados según dosis y producto

| Tratamiento | Dosis (ml 20 ml ⁻¹ agua) | Producto |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| T0* | 0 | Sin producto |
| T1 | 50 | Ácido piroleñoso |
| T2 | 100 | Ácido piroleñoso |
| T3 | 150 | Ácido piroleñoso |
| T4 | 200 | Ácido piroleñoso |
| T5 | 250 | Ácido piroleñoso |
| T6 | 300 | Ácido piroleñoso |
| T7** | 50 | Azoxystrobin 20% + Ciproconazol 8%® |

*: Testigo absoluto (sin producto), **: Testigo relativo (formulación química).

Inhibición *in vitro* del ácido piroleñoso sobre *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. Se calculó el crecimiento diametral de los hongos fitopatógenos en el medio PDA con las dosis de ácido piroleñoso, expresado en mm h⁻¹, basado en el modelo de cálculo descrito por Caro y León (2014), quienes calculan el crecimiento micelial por regresión lineal del diámetro de los hongos contra el tiempo en la fase de crecimiento.

Variables evaluadas. Para evaluar la eficacia del ácido piroleñoso se realizaron mediciones al crecimiento radial o micelial de los hongos y se midió la inhibición en el medio

que contenía las dosis de ácido piroleñoso y los testigos. Las lecturas del crecimiento radial se realizaron cada 12 horas y se aplicó la fórmula de porcentaje de inhibición de crecimiento micelial (PICM).

Análisis de datos. El cálculo del porcentaje de eficacia se determinó en una hoja de cálculo Microsoft Excel 365 empresarial, mientras que el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial (PICM) de los hongos fitopatógenos, se analizó en el Software estadístico InfoStat 2020 versión libre en el que se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, posterior al análisis de normalidad, se procedió a realizar el análisis de varianza y separaciones de medias mediante Tukey $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficacia del ácido piroleñoso *in vitro* sobre *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. Las dosis de 250 ml, 300 ml y testigo relativo (Azoxystrobin 20 % + Ciproconazol 8 %) mostraron eficacia del 100 % sobre el crecimiento del hongo *Colletotrichum* sp (Figura 1). La dosis mínima de 50 ml no mostró eficacia sobre *Colletotrichum* sp, este creció sobre la superficie del medio PDA, mientras que las dosis de 100 ml y 150 ml mostraron porcentajes bajos de eficacia.

Para el caso de la eficacia del ácido piroleñoso sobre *Cercospora* sp, a partir de las dosis de 150 ml y el testigo relativo se presenta una eficacia del 100 % (Figura 2). La eficacia más baja y en orden descendente se registró con las dosis de 100 ml y 50 ml.

Hongyin (2024) menciona que el ácido piroleñoso o vinagre de madera con una composición compleja puede alterar la permeabilidad de la membrana celular del hongo patógeno e inhibir la tasa de división o la síntesis proteica de *Fusarium graminearum*, lo que provoca la exudación de proteínas, carbohidratos, sodio y potasio o la inducción de trastornos metabólicos, haciéndolo eficaz para enfermedades fúngicas en plantas.

Gayatri (2019), reporta que el ácido piroleñoso presentó eficacia de inhibición para los hongos *Trametes vesicolor* (hongos descomponedor de la madera), *Aspergillus fumigatus* y *Aspergillus niger*, además menciona que la inhibición fúngica es causada por la propiedad antioxidante de los fenólicos

Según Lescay (2024), el ácido piroleñoso logra inhibir el crecimiento de algunos hongos patógenos como: *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium oryzae*, *Helminthosporium mayis*, *Pythium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides* y *Cucurbitarium choanephora* y algunas bacterias como: *Xanthomonas campestris* pv. *Citri* y *Erwinia carotovora* pv. *Carotovora*.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

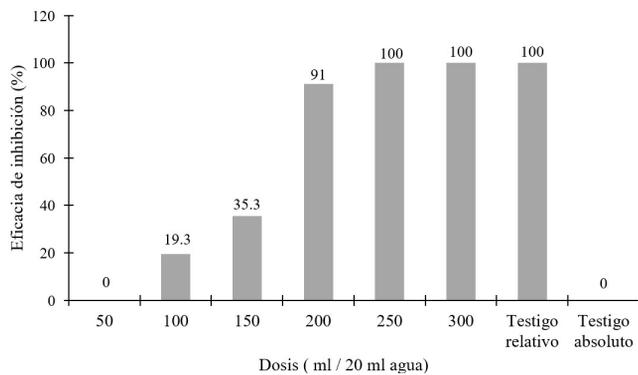


Figura 1. Eficacia de inhibición del ácido piroleñoso sobre el hongo *Colletotrichum* sp según dosis.

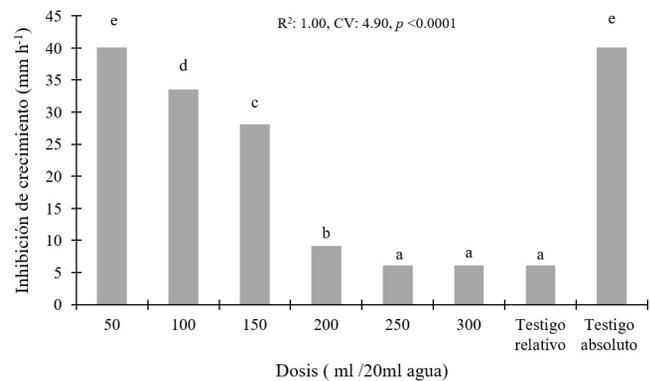


Figura 3. Inhibición de crecimiento radial del ácido piroleñoso sobre *Colletotrichum* sp según dosis.

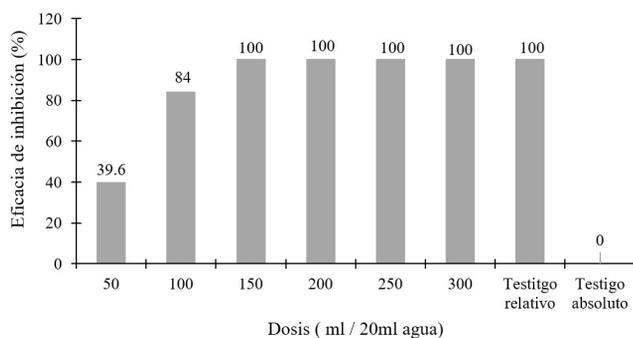


Figura 2. Eficacia de inhibición del ácido piroleñoso sobre el hongo *Cercospora* sp según dosis.

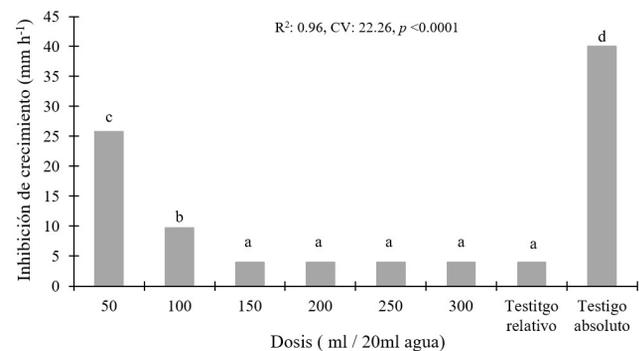


Figura 4. Inhibición de crecimiento radial del ácido piroleñoso sobre *Cercospora* sp según dosis.

Inhibición de crecimiento radial del ácido piroleñoso *in vitro* sobre *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp. En las dosis de 50 ml con el ácido piroleñoso y el testigo absoluto (sin producto) el hongo *Colletotrichum* sp alcanzó un crecimiento de 40 mm, mientras que en la dosis de 100 ml el patógeno presentó un crecimiento de 33.45 mm, con la dosis de 150 ml el patógeno creció 28 mm. En la dosis de 200 ml *Colletotrichum* sp alcanzó un crecimiento de 9.05 mm, sin embargo, las dosis de 250 ml, 300 ml y el testigo relativo presentaron mayor inhibición con 4 mm (Figura 3).

La inhibición del ácido piroleñoso sobre *Cercospora* sp, con la dosis de 50 ml fue de 25 mm, seguido de la dosis de 100 ml que presentó una inhibición de 9.75 mm, con las dosis de 150 ml, 200 ml, 250 ml, 300 ml y el testigo relativo, la inhibición (menor crecimiento) fue de 4 mm, por lo tanto, estas dosis presentaron la mejor inhibición. El testigo absoluto fue el único tratamiento que no presentó inhibición creciendo 40 mm (Figura 4).

El ácido piroleñoso mostro eficacia a diferentes dosis, exceptuando las más bajas y manifestando actividad inhibitoria sobre los hongos *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp, causantes de manchas foliares en el cultivo de café que afectan la fotosíntesis y repercute en la producción.

Según Navas (2003) el ácido piroleñoso presenta toxicidad en concentraciones altas para los hongos pudridores de la madera *Corioliopsis polizona*, *Fomitella supina*, *Pycnoporus sanguineus* y *Trametes villosa*; mientras que Pertile y Frac (2023) obtuvieron un efecto inhibitor *in vitro* sobre el crecimiento del hongo *Botrytis cinerea* a diferentes concentraciones de ácido piroleñoso, exceptuando las concentraciones bajas.

Qin *et al.* (2010), indican que la actividad antimicrobiana del ácido piroleñoso se atribuye a la presencia de compuestos fenólicos, carbonilos y ácidos orgánicos además mencionan que diferentes ácidos piroleñosos exhiben actividades inhibitoras en fitopatógenos como *Phytophthora capsici*, *Colletotrichum orbiculare*, *Valsa mali*, *Cochliobolus sativus*, *Helmintosporium sativum* y *Phytophthora infestan*, con distintos grados de concentración.

Chalermisan y Peerapan (2009) determinaron que el ácido piroleñoso logro inhibir el crecimiento de algunos hongos patógenos en PDA como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium oryzae*, *Helminthosporium mayis*, *Pythium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides* y *Choanephora cucurbitarum*, así como el de las bacterias patógenas de plantas tales como *Xanthomonas campestris* pv. *citri* y *Erwinia carotovora* pv. *carotovora*.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

CONCLUSIONES

El ácido piroleñoso o vinagre de la madera a razón de 250 ml tiene una eficacia de 100 % en el crecimiento micelial y un efecto inhibitorio del crecimiento diametral en los hongos

de los géneros *Colletotrichum* sp y *Cercospora* sp cuando ambos están presentes, y en el caso de presentarse únicamente *Cercospora* sp, la dosis efectiva es de 150 ml.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. N. (2005). *Fitopatología* (2da ed.). Limusa.
- Alburquerque Andrade, D. y Gusqui Mata, R. (2018). Eficacia de fungicidas químicos para el control in vitro de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas. *Arnaldoa*, 25(2), 489-498. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25209>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi* (4a ed.). Aps Press.
- Caro Vélez, C. A. y León Peláez, A. M. (2014). Inhibición del crecimiento de *Aspergillus ochraceus* mediante “panela” fermentada con gránulos de kefir de agua. *Vitae*, 21(3), 191-200. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169833713004.pdf>
- Castro F, J. F. (2020). *Conformación de colecciones de cultivos microbianos*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstreams/7a86275a-5ac7-4c4a-a475-9acf38939f88/download>
- Catacora, M., Quispe, I., Laime, E., Zanarbria, R., Roque, M. y Zevallos, P. (2019). Caracterización de los componentes químicos del ácido piroleñoso obtenido de 3 especies forestales, con fines agrícolas en San Gaban Puno (Perú). *El Cepsosimad*, 7(2), 06-16. <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/f4f948e4-9bc1-472b-bd50-c082084dcc7b/content>
- Chalermman, Y., & Peerapan, S. (2009). Wood vinegar: by-product from rural charcoal kiln and its role in plant protection. *Asian Journal Food Agro-Industry*, 189-195. <https://www.thaiscience.info/journals/Article/AFAI/10850206.pdf>
- Espín Carvajal, D. R. (2020). *Evaluación de diferentes dosis de ácido piroleñoso para el control de las principales plagas en el cultivo de pimienta (Capsicum annum L.)* [Tesis de maestría, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/81f1d134-d554-4e69-bd62-8a583ffaaf90/content>
- French, E. y Herbert, T. (1982). *Métodos de investigación fitopatológica*. IICA.
- Gayatri, S., Hooshang P., Tarek, R., Satinder, K. B., Ismail F., & Christian, R. (2019). In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of pyrolygneous acid from softwood mixture. *Biotechnology Research and Innovation*, 3, 47-53.- <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.02.004>
- Hongyin, Z., Yan, S., Naiming, Z., Zhizong, L., & Li, B. (2024). Wood fiber biomass pyrolysis solution as a potential tool for plant disease management: A review. *Heliyon*, 10(3). <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2824%2901540-8>
- Huamán Pilco, A. F., Torres de la Cruz, M., Ramírez Ramírez, G., Leiva Espinoza, S. T., Sánchez Santillán, T. y Oliva Cruz, S. M. (2023). Caracterización morfológica de hongos asociados al agroecosistema café (*Coffea arábica* L.), en el estado de Tabasco, México. *Revista Científica Pakamuros*, 9(3). <https://doi.org/10.37787/0w4g7c02>
- Lescay Batista, E. (2024). El ácido piroleñoso, características y posibles usos en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 45(3), <https://cu-id.com/2050/v45n3e10>
- Leyva Rodríguez, L., Cruz-Martín, M., Acosta-Suárez, M., Pichardo, T., Bermúdez-Caraballoso, I. y Alvarado-Capó, Y. (2017). Antagonismo in vitro de cepas de *Bacillus* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Biotecnología Vegetal*, 17(4), 229-236. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/565/html>
- Martínez Barrera, Y. A. (2008). *Toxicidad del ácido piroleñoso aplicado a áfidos (Myzus persicae) en condiciones de laboratorio, en el Campus Agropecuario de UNAN-León, de mayo a octubre 2006* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-León]. Repositorio institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/988/1/205214.pdf>
- Moreira-Morrillo, A. A., Velez-Zambrano, J. P., Moreira, S. I. y Garcés-Fiallos, F. R. (2023). Enfermedades que afectan el cultivo de café: Elucidando el ciclo de vida de Roya, Mal de Hilachas y Cercosporiosis. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 395-412. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v14n3/2077-9917-agro-14-03-395.pdf>
- Moreno, Z. A. (2000). *Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta Espeletia barclayana* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/56850/tesis.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Navas, S. (2003). Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso. *Revista Tecnología en Marcha*, 16(3), 12-30. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835714.pdf>
- Pertile, G., & Franç, M. (2023). The antifungal effect of pyrolygneous acid on the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3080. <https://doi.org/10.3390/ijms24043080>
- Qin, W., Xihan, M., & Juane, D. (2010). Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyrolygneous acids from walnut tree branches. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 87(1), 24-28. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.09.006>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Rodríguez González, C. A., Buitrago, J. E., Betancurt, A. D. y Lara Cadenas, R. (2017). Actividad antagonista de *Bacillus* sp frente a *Fusarium oxysporum*: un aporte a la agricultura sostenible. *Revista Nova*, 3, 9-19. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/rnova/article/download/1515/1691>
- Rojas, M. C., Martínez Varona, M., Betancourt Vallejos, M. y Martín Domínguez, E. B. (1997). Evaluación antimicrobiana de 4 productos derivados del ácido piroleñoso para su posible utilización como desinfectantes. *Revista Cubana de Farmacia*, 31(3), 182-187. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75151997000300006
- Souza, J. B. G., Ré-Poppi, N., & Raposo Jr., J. L. (2012). Characterization of pyroligneous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(4), 610-617. <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/bprfKjwrDbLdDvvjxvvhxmgf/>