

Revisión

Explorando capacidades, usos y perspectivas del ácido piroleñoso en la agricultura

Exploring capabilities, uses and perspectives of pyroligneous acid in agriculture

Est. Yordanys Erasmo Martí Nieto, Universidad de Granma, Bayamo Cuba ⁽¹⁾

Est. Virgen Dayana Olivera Reyes, Universidad de Granma, Bayamo Cuba ⁽²⁾

Dr. C. Misterbino Borges García, Universidad de Granma, Bayamo Cuba ⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudiante de 5to. Año de la carrera Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Granma, Bayamo, Cuba. yem.nieto@gmail.com

⁽²⁾ Estudiante de 5to. Año de la carrera Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Granma, Bayamo, Cuba. dayanaoliv263@gmail.com

⁽³⁾ Profesor Titular. Licenciado en Biología. Máster en Biotecnología. Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor del departamento de Biotecnología Vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Granma. Bayamo. Cuba. misterbinobgarcía@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2052-7294>

Resumen

El ácido piroleñoso, obtenido a partir de la pirolisis de materia orgánica, ha emergido como una alternativa prometedora en la agricultura sostenible debido a sus propiedades y capacidad para mejorar la calidad del suelo. La evidencia recopilada indica que el ácido piroleñoso exhibe actividad antimicrobiana in vitro e in vivo contra una gama de patógenos vegetales, incluyendo hongos, bacterias y nematodos, mostrando un potencial significativo para el biocontrol de enfermedades en diversos cultivos.



Su uso como herbicida ha mostrado resultados positivos en la inhibición del crecimiento de malezas sin afectar negativamente a los cultivos deseados. Además, varios estudios demuestran que el ácido piroleñoso induce respuestas de defensa sistémica en las plantas, incrementando su resistencia a estreses bióticos. En cuanto a los usos directos en el crecimiento, se observó que puede promover el crecimiento radicular, la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, mejorando el rendimiento de los cultivos en condiciones poco óptimas. A pesar de estos hallazgos prometedores, la revisión también identifica brechas significativas en la investigación. La mayoría de los estudios se han realizado a escala de laboratorio o invernadero, siendo necesaria la validación de estos efectos en ensayos de campo a gran escala en diferentes condiciones agroecológicas (necesidad de estudios multicéntricos). Asimismo, se requiere una mayor comprensión de los mecanismos moleculares subyacentes a las interacciones del dicho compuesto con las plantas y los microorganismos del suelo.

Palabras claves: ácido piroleñoso; agricultura; inhibición; crecimiento; plantas

Abstract

Pyroligneous acid, obtained from the pyrolysis of organic matter, has emerged as a promising alternative in sustainable agriculture due to its properties and ability to improve soil quality. The evidence collected indicates that pyroligneous acid exhibits antimicrobial activity in vitro and in vivo against a range of plant pathogens, including fungi, bacteria and nematodes, showing significant potential for the biocontrol of diseases in various crops. Its use as a herbicide has shown positive results in inhibiting the growth of weeds without negatively affecting the desired crops. Furthermore, several studies demonstrate that pyroligneous acid induces systemic defense responses in plants, increasing their resistance to biotic stresses. Regarding direct uses in growth, it was observed that it can promote root growth, nutrient absorption and tolerance to abiotic stress, such as drought and salinity, improving crop performance in less than optimal conditions. Despite



these promising findings, the review also identifies significant gaps in the research. Most studies have been carried out on a laboratory or greenhouse scale, making it necessary to validate these effects in large-scale field trials in different agroecological conditions (need for multicenter studies). Likewise, a greater understanding of the molecular mechanisms underlying the interactions of said compound with plants and soil microorganisms is required.

Keywords: pyroligneous acid; agriculture; inhibition; growth; plants

Introducción

El uso del ácido piroleñoso en la agricultura ha ganado atención en los últimos años como una alternativa sostenible y ecológica para el manejo de cultivos. Entre sus características más destacadas se encuentran sus efectos antimicrobianos, que pueden ayudar a controlar plagas y enfermedades, así como su capacidad para mejorar la calidad del suelo al aumentar la retención de humedad y la actividad microbiana.

Estudios consultados (Theapparat et al, 2018) refieren que el ácido piroleñoso también llamado vinagre de madera es un líquido acuoso producido a partir de la pirolisis de biomasa como sub producto de la obtención de carbón, se obtiene por la condensación del humo generados durante la pirolisis de la biomasa de 450 - 600 C, este líquido tiene un ahumado especial, el olor y el color son de amarillo claro a marrón.

En consulta del artículos (Mohan et al. 2007) plantea que este aceite biológico es un producto procedente de la pirolisis de especies madereras, resultante de la descomposición de biomasa y que puede realizarse en ambientes favorables y controlados. En varios países se promociona como fuente limpia de tecnología debido al empleo de recursos naturales sustituibles como medidas de mitigación ante los efectos del cambio climático y los riesgos en la salud (Grewal, Abbey, y



Gunupuru, 2018). En la misma manera se puede inferir que la búsqueda y la aplicación de tecnologías en la adquisición de productos energéticos y químicos orgánicos como el ácido piroleñoso refleja bastante interés en el mundo actual, mencionando entre ellas la pirolisis de la biomasa forestal. Siendo el interés fundamental investigar alternativas innovadoras para la adquisición de productos orgánicos que sean idóneos de garantizar el empleo eficiente de los recursos forestales y la preservación del ambiente, ya que en el procedimiento de la pirolisis acontece reacciones complejas que benefician a la adquisición de productos orgánicos con múltiples usos (Santos et al, 2018).

Estudios plantean que el uso excesivo y la baja eficiencia de los fertilizantes químicos han provocado la eutrofización, la contaminación, por consecuente existe una necesidad urgente de desarrollar un enfoque agrícola eficiente y respetuoso con el medio ambiente para la restauración del suelo y la mejora del crecimiento de los cultivos (Pan, Zhang, Wang y Liu, 2017).

En el caso específico de Cuba, el interés por el uso del ácido piroleñoso se ha intensificado en el marco de la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan mejorar la producción agrícola sin depender excesivamente de insumos importados.

Los principales estudios realizados en Cuba han sido a nivel de laboratorio (Rojas, et al., 1997) evaluó la efectividad antimicrobiana de 4 productos derivados del ácido piroleñoso (LQ 501-10, LQ 501-20, LQ 502-10 y LQ 502-20), según la metodología del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME). Los 4 productos tienen buena efectividad antimicrobiana a la concentración del 6 %. El estudio práctico en áreas quirúrgicas mostró una gran reducción de unidades formadoras de colonias después de la desinfección. En el estudio toxicológico se aprecia que los 4 productos son aptos para el uso propuesto.



Se recomienda su utilización como desinfectantes de superficie (paredes, pisos, mesetas, etcétera), además pueden emplearse como limpiador. Los 4 productos formulados se pusieron en práctica y se incluyeron en el Registro de Productos Sanitarios.

En consonancia a lo antes expuesto, esta revisión bibliográfica tiene como objetivo: fundamentar el uso del ácido piroleñoso en la agricultura y su implementación como respuesta viable a los retos actuales tanto a nivel internacional como en el contexto cubano, ofreciendo una vía hacia un futuro agrícola más sostenible y equilibrado.

Desarrollo

El ácido piroleñoso es una mezcla compleja de compuestos orgánicos, principalmente ácidos (como el ácido acético), fenoles, aldehídos y otros componentes volátiles. Su producción ocurre a través de la descomposición térmica de la madera en ausencia de oxígeno, generando un líquido que puede ser condensado y purificado. Este líquido es rico en sustancias químicas que pueden tener diversas aplicaciones industriales y agrícolas. En términos de pH, el ácido piroleñoso generalmente presenta un valor ácido, lo que puede influir en las propiedades del suelo al ser aplicado.

Efecto Bioestimulantes del Ácido Piroleñoso

A la primera cosecha a los 45 días por problemas provocados por *Fusarium*, se pudo determinar que el producto estudiado ácido piroleñoso, tuvo excelentes resultados en control y repelencia de plagas insectiles, además el híbrido y las condiciones agroclimáticas favorecieron durante las horas de aplicación; así como el periodo de aplicación fue primordial para que no se haya alcanzado el umbral económico en cada una de las parcelas evaluadas, ya sea por la efectividad de los elementos o por el olor a humo que contiene el producto orgánico (Espín, 2020).



El uso del ácido piroleñoso como bioestimulante ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones. Se ha observado que su aplicación puede mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, promoviendo la formación de raíces y aumentando la biomasa. Esto se atribuye a la presencia de compuestos fenólicos que actúan como hormonas vegetales, estimulando procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes Lescay (2024). Además, el ácido piroleñoso puede inducir resistencia a estrés abiótico en plantas, mejorando su adaptación a condiciones adversas.

Efecto en el Suelo

El autor (Castillo, 2007) expone que en la producción de compost, el ácido piroleñoso aumenta el contenido del nitrógeno y acelera su fermentación utilizándolo en una relación de 200 mL por litro de agua.

En su artículo Ming, Binjie & Wang (2018) mencionan que el ácido piroleñoso actúa como una prometedora enmienda para mejorar el suelo debido a que contiene múltiples beneficios para la producción agrícola, estimula el crecimiento de las plantas, acelera la velocidad de germinación de las semillas, mejorar la acidez del suelo, apoya en la absorción de nutrientes por las plantas, mejora la cosecha de los productos, inhibe el desarrollo de patógenos como hongos de plantas y actúa como fertilizante orgánico.

Estudios anteriores mostraron que la aplicación de ácido piroleñoso de madera en el suelo mejora la acidez del suelo y podría estimular el crecimiento de las plantas, elevando la capacidad de intercambio de cationes del suelo (CIC) y, en consecuencia, beneficiar la translocación de nitrógeno y fósforo del suelo a la planta (Vaccari et al, 2015). Por ende, hay una reducción en la lixiviación del N y el incremento de retención de ella y la biodisponibilidad en los suelos agrícolas



pueden potencialmente disminuir la demanda de fertilizantes nitrogenados para el crecimiento de los cultivos (Zheng et al., 2013).

La literatura consultada (Lescay, 2024) hace alusión a resultados comprobados de la eficiencia y eficacia del ácido piroleñoso como fuente de fertilización orgánica. Refiere que cerca de 400 pequeños productores rurales de cuatro municipios en Nicaragua utilizan esta sustancia como fuente de fertilización en sus cultivos.

Efecto Herbicida

Artículos consultados hacen alusión al uso del ácido piroleñoso como herbicida siendo este objeto de estudio en diversas investigaciones. En las cuales se ha observado que este compuesto puede inhibir el crecimiento de ciertas especies de malezas. Sin embargo, es esencial considerar las dosis y métodos de aplicación para minimizar efectos adversos sobre las plantas cultivadas (Ocampo, 2015).

Estudios como, (Arce, 2001) plantean que los mejores resultados fueron sobre flor amarilla aplicando vinagre a 15 días de emergencia de la maleza y a un porcentaje de acidez de 10% con 96% de efectividad. El volumen óptimo de uso fue 200 L/ha con 80% de control para el resto de hojas anchas el control fue variable debido a la poca densidad de las mismas en el campo. El cambio de malezas después de la aplicación de los tratamientos fue pangola, pata de gallina y coyolillo. Los efectos del volumen de aplicación fueron significativos en malezas hojas anchas y no para gramíneas ni ciperáceas. Estas diferencias se atribuyen a la cantidad de herbicida que puede ser retenido en las hojas, que es diferente en las hojas anchas y gramíneas y ciperáceas por la composición física y química de las mismas.



Los tratamientos consistieron en un control (sin aplicación de producto) y dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 L ha⁻¹ aplicados cuatro días después de la surca. Se realizaron muestreos a los 10, 20, 30 y 40 días después de aplicado el producto para cuantificar la población de arvenses por parcela, para lo cual se utilizó un marco de madera de 0,5 x 0,5 m que se situó en tres puntos al azar en cada parcela y se contó la población total de arvenses dentro del marco, y se cuantificó la población de hojas anchas y hojas finas. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza de clasificación doble y la comparación múltiple de medias se realizó a través de la prueba de Tukey para $p \leq 0,05$. Los resultados mostraron que el Ácido Piroleñoso de marabú en dosis entre 1.0 y 2.5 L ha⁻¹ mostró efecto herbicida en la población de arvenses evaluada, con énfasis en las arvenses de hojas anchas (Lescay, et al., 2024).

Efecto del Ácido Piroleñoso en la Germinación de Semillas

Citado por (Pelinco, et al., 2020) en su estudio plantea, Chuaboom (2016) aplicó ácido piroleñoso de bambú para mejorar la germinación de semillas de arroz, donde obtuvo resultados similares aumentando significativamente el porcentaje de germinación de semillas por la capacidad de inhibir los agentes patógenos debido a sus componentes químicos. Mun (2010) obtuvieron resultados similares con la aplicación de ácido piroleñoso de bambú, obtenidos a diferentes temperaturas del AP, también reporta que la composición son las mismas en la recolección a diferentes temperaturas, no obstante, la recolección de AP de 200 °C a 250 °C mostraron los resultados más altos en la germinación de semillas de crisantemo y berro por las sustancias activas que se encuentran en las estructuras de los árboles que tiene el efecto regulador sobre la germinación y crecimiento de las plántulas.

Uso del Ácido Piroleñoso en la Propagación del Cultivo del Ñame



El ñame (*Dioscorea* spp.) es un cultivo importante en muchas regiones tropicales y subtropicales. El ácido piroleñoso ha sido utilizado en la propagación de este cultivo, ya que se ha demostrado que promueve la formación de raíces y brotes en los tubérculos. Su aplicación como tratamiento post-cosecha ayuda a prevenir enfermedades durante el almacenamiento y mejora la viabilidad de los esquejes utilizados para la propagación. Estudios sugieren que el uso de ácido piroleñoso puede incrementar el rendimiento del ñame al mejorar la sanidad y vigor de las plántulas.

Efecto del Ácido Piroleñoso en el Control de Plagas y Enfermedades

Investigaciones han demostrado que el ácido piroleñoso tiene propiedades fungicidas y bactericidas que pueden ser efectivas en el control de plagas y enfermedades en cultivos. Según un estudio realizado por, la aplicación de ácido piroleñoso redujo significativamente la incidencia de enfermedades fúngicas como el mildiu en cultivos de hortalizas. Además, su acción se basa en la alteración de las membranas celulares de los patógenos y en la inducción de respuestas defensivas en las plantas-

Murillo (2024) plantea que:

El ácido piroleñoso presentó una mejor eficiencia en el género *Cercospora* sp, en cuatro concentraciones diferentes y por ende una mejor inhibición. En el género *Colletotrichum* sp la mejor eficiencia e inhibición se presentó en las dosis más altas que son 250 ml y 300 ml. En los resultados de este estudio influye el pH que tiene estos patógenos fúngicos (género *Cercospora* sp pH 4.0, género *Colletotrichum* sp pH 5.0), el tiempo y la cantidad de esporas influyen en la eficiencia del A.P sobre los géneros fúngicos en estudio, la esporulación en el género *Colletotrichum* sp es abundante y en menos tiempo, en cambio el género *Cercospora* sp, requiere de más tiempo y su esporulación es mínima y el pH de 3.08 que presenta el ácido piroleñoso.



Resultados de aplicación del Ácido Piroleñoso

En investigaciones internacionales consultadas (Ming, Binjie & Wang, 2018) se ha reportado la obtención de ácido piroleñoso aprovechando los residuos maderables. Reportaron que las diferentes dosis de ácido piroleñoso diluido no mostraron diferencia en las tasas de germinación de las semillas de pepino en comparación con las del tratamiento con CK ($P > 0,05$). Sin embargo, vinagre piroleñoso agregado a la dilución de 10000 veces aumentó significativamente la longitud de la raíz y la biomasa seca del pepino en un 20.9% y 5.92%, respectivamente ($P < 0.05$).

Por lo tanto, el vinagre de madera en un momento óptimo de dilución podría usarse como un prometedor agente para la germinación de semillas, y mejorar aún los rendimientos de los cultivos. Artículos consultados (Luo et al. (2019) indicaron que la adición de ácido piroleñoso no tuvo efectos en la germinación de pimiento y tomate, mientras que promovió la longitud de la raíz y el brote a bajas concentraciones (por ejemplo, 0.002% y 0.02%). Además, el ácido piroleñoso promovió individualmente el desarrollo de la raíz de las plántulas de pimiento, como la longitud de raíz en un 45.4 – 51.6%, y aumentó la biomasa del brote y la raíz en un 20.9 –22.0% y 100–113%, respectivamente; sin embargo, la aplicación conjunta de biochar y ácido piroleñoso mostró pocos efectos.

En estudios por (Pelinco, et al., 2020) refieren que no se muestra significancia del ácido piroleñoso en la germinación de semillas de sandía, de la misma forma las semillas de cocona y cacao si muestran efectos significativos de la aplicación del ácido piroleñoso. El coeficiente de variación determinado para el porcentaje de germinación en semillas de sandía fue 6.49 %, para las semillas de cocona fue 4.52 % y para semillas de cacao fue 4.28 %, el cual valora la precisión de los resultados en campo.



Por otra parte, el porcentaje de germinación para semillas de cacao resultó efectos altamente significativos con la aplicación de AP de cético y bambú obteniendo el 100 % de germinación de semillas con los tratamientos T-8 y T-2 asignando una ponderación de (A), mientras que el tratamiento testigo T-10 obtuvo un 84.43 % de germinación de semillas asignando una ponderación estadística de (B).

Lo resultados de análisis de composición de los ácidos piroleñosos de las especies de bambú, pisonay y cético se realizó por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS), elaborado en el laboratorio LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería donde señala que tiene diferentes compuestos orgánicos como (ácidos, alcoholes, fenoles y compuestos neutros), la especie de bambú tiene 12 compuestos orgánicos (32.15 % de ácidos, 37% de alcoholes, 14.27% fenoles y 15.81% de componentes neutros) la especie de pisonay resultó con 20 compuestos orgánicos (27.20% de ácidos, 36.06% de alcoholes, 13.55% fenoles, 23.19% de componentes neutros) y la especie de cético tiene 23 compuestos orgánicos (13.02% de ácidos, 31.23% de alcoholes, 15.47% fenoles y 40.34% de componentes neutros).

Luo et al. , (2019) Evaluaron los efectos del ácido piroleñoso a base de álamo, donde no muestra efectos sobre la germinación de semillas de pimienta y tomate, pero si estimuló su crecimiento. Dado que estas especies son plantas anuales, y la germinación se dio entre los 3 a 5 días para tomate mientras que del pimienta se dio los 5 a 10 días.

Perspectivas del Mercado del Ácido Piroleñoso

Los subproductos del proceso de producción de carbón vegetal como briquetas, alquitrán de madera, ácido piroleñoso pueden convertirse factores de mejora en la eficiencia y además en mejores fuentes de ingresos ya que sus valores comerciales pueden ser superiores al de carbón



perse. Considerando que el mercado de estos productos es incipiente, debido precisamente a la falta de conocimientos técnicos, la posibilidad de utilizar los subproductos del proceso de carbonización de carbón es aún un desafío. En este sentido, la mejora de la eficiencia del proceso de producción no sólo permite a los agricultores mejorar sus ingresos, sino también mejorar sus condiciones de vida impactando en menor índice el ambiente y favorecen alcanzar el objetivo fijado por el gobierno en 2010 respecto a sus compromisos internacionales sobre la minimización de emisiones de gases efecto invernadero.

Comparativa General:

Todos los estudios enfatizan la versatilidad del ácido piroleñoso en la agricultura, tanto en el control de plagas y enfermedades como en su potencial herbicida y promotor del crecimiento. Las investigaciones muestran que el ácido no solo es efectivo contra patógenos, sino que también puede mejorar la salud y el rendimiento de los cultivos, sugiriendo un enfoque más holístico hacia el manejo agrícola.

La perspectiva de un crecimiento del mercado del ácido piroleñoso respalda la tendencia hacia opciones más sostenibles en la agricultura, alineando la investigación científica con las demandas del mercado.

Conclusiones

1. El ácido piroleñoso se presenta como una alternativa prometedora en la agricultura moderna, representando múltiples beneficios, desde su capacidad como bioestimulante, el control de plagas y enfermedades, como en la gestión de malezas debido a su potencial como herbicida natural.
2. La aplicación adecuada y controlada del mismo, puede contribuir a prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. Su uso en cultivos específicos, como el ñame, demuestra su potencial para



mejorar la productividad agrícola. Sin embargo, es fundamental realizar más investigaciones para optimizar su aplicación y comprender mejor sus efectos a largo plazo en diferentes sistemas agrícolas.

3. La integración del ácido piroleñoso en prácticas agrícolas sostenibles podría contribuir significativamente a un futuro agrícola más ecológico y rentable.

Referencias bibliográficas

Arce, G.D. (2001). *Evaluación técnica del vinagre para el manejo de malezas*. [Proyecto especial] presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/d56a8ad9-978b-4266-ab3d-e059b33a980a/content>

Castillo, L.J. (2007). *El ácido piroleñoso y la producción de compost*. [Trabajo de Investigación], Universidad de León, México.
https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://riul.una-nleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4584/1/204875.pdf&ved=2ahUKEwiE1er4jsCLAxUrQzABHR2PPKoQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw0melkg-0qbztzbbxvn_df4

Chuaboon, W., Ponghirantanachoke, N., Athinuwat, D. (2016). Application of wood vinegar for fungal disease controls in Paddy rice. *Appl Environ Res*, 38 (2), p.p. 77-85.
https://www.researchgate.net/publication/335477384_Application_of_Wood_Vinegar_for_Fungal_Disease_Controls_in_Paddy_Rice



- Espín, D.R. (2020). *Evaluación de diferentes dosis de ácido piroleñoso para el control de las principales plagas en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L)*, [Tesis de pregrado] en opción al título de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quito, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6022>
- Grewal, A., Abbey, L. & Gunupuru, L. (2018). Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 135 (1), p.p. 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.008>
- Lescay Batista, E. (2024). El ácido piroleñoso, características y posibles usos en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 45(3), <https://cu-id.com/2050/v45n3e10>. Recuperado a partir de <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1794>
- Luo, X., Wang, Z, Meki, K., Wang, X., Liu, B. & Zheng H. Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. *Soils Sediments*, 19(12), p.p. 3934-3944. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02365-9>
- Ming, L. Bingjie, L. & Xiao, W. (2018). Effect of adding wood vinegar on cucumber (*Cucumis sativus* L) seed germination. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 128, (1), pp. 21- 86. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018E&ES..128a2186L/abstract>
- Mohan, D., Pittman, C.U., Bricka, M., Smith, F., Yancey, B, & Mohammad, J. (2007). Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. *Colloid Interface Sci*, 310 (1), p.p. 57-73. <https://rect.om/science/article/pii/S0021979707000409>



- Mun, S.P. (2010). Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars. *Wood Sci*, 56(1), p.p. 47-52. <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/s10086-009-1054-0>
- Murillo, Y. M. (2024). *Propiedades fisicoquímicas del ácido piroleñoso e inhibición in vitro del crecimiento de hongos que afectan al cultivo de café (Coffea arábica L.)* [Trabajo de Tesis] Presentado a la consideración del Honorable Comité Evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria Dirección de Ciencias Agrícolas, Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh20m977.pdf>
- Lescay, E. (2024). El ácido piroleñoso, características y posibles usos en la agricultura. *Revista Cultivos Tropicales*, 2 (1), p.p. 1-15. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1794/3815>
- Ocampo, C.M. (2015). Compuestos del ácido piroleñoso procedente de biomasa residual de coníferas ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) y pátula (*Pinus pátula*). *Revista Universidad Católica Oriente*, 28(40), p.p. 94-104. <https://revistas.uco.edu.co/index.php/uco/article/view/190>
- Pan, X., Zhang, Y., Wang, X., & Liu, G. (2017). Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. *Earth and Environmental Science*, 61, p.p. 1-14. doi:10.1088/1755-1315/61/1/012149
- Pelincó, E., Quispe, N. F., & Catacora, M. (2020). Efecto del ácido Piroleñoso en la germinación de Sandía, Cocona y Cacao en el Distrito de San Gabán, Carabaya. *Puriq*, 2 (3), 233–246. <https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.105>



- Rojas, M.C., Martínez, M, Betancourt, M., Martín, E.B. (1997). Evaluación antimicrobiana de 4 productos derivados del ácido piroleñoso para su posible utilización como desinfectantes. *Revista Cubana de Farmacología*, 29(3), p.p. 182-198. Available in: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-75151997000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Santos, A., Cristaldo, P., Araújo, A., Melo, C., Lima, A., Santana, E. & Bacci, L. (2018). *Apis mellifera (Insecta: Hymenoptera) in the target of neonicotinoids: A one-way ticket? Bioinsecticides can be an alternative*. Ecotoxicology and Environmental Safety.
- Theapparatt, Y., Chandumpai, A, Faroongsarng, D., Theapparatt, Y., Chandumpai, A. & Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and utilization of wood vinegar from carbonization of tropical biomass waste. *En: Tropical Forests - New Edition [Internet]. IntechOpen; 2018* [citado 16 de mayo de 2024]. Available in: <https://www.intechopen.com/chapters/61747>
- Vaccari, F.P., Maienza A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonnardo, S., Giagnoni L. (2015). Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agr. Ecosyst. Environ*, 40 (1), p.p. 207:163-70. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.015>
- Zheng H., Wang, D., Herbert, S. & Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 20 (6), p.p. 32-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113001365>

