



El ácido piroleñoso, características y posibles usos en la agricultura

Pyroligneous acid, characteristics and possible uses in agriculture

 Elio Lescay Batista*

Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov" (IIAJD), carretera Bayamo a Manzanillo, km 16½, Gaveta Postal 2140, Bayamo, Granma, Cuba. CP 85100

RESUMEN: El ácido piroleñoso es una mezcla compleja que contiene entre 80 y 90 % de agua y de 10 a 20 % de compuestos orgánicos, que incluyen más de 200 componentes químicos tales como el ácido acético, fenoles, alcanos, alcoholes y compuestos de éster, el cual puede ser extraído de diferentes materias vegetales que contengan lignina, celulosa y hemicelulosa. En diferentes países se adoptan prácticas de transformación de las diferentes materias vegetales con el fin de extraer este compuesto, ya que investigaciones realizadas dan a conocer que tiene potencial en diferentes sectores como el agrícola. Tiene características que permiten sustituir productos sintéticos utilizados en la industria alimentaria, cosmética y agrícola, que alteran el medio ambiente y son perjudiciales para la salud de las personas. Es un producto del cual se conoce poco sobre su aplicabilidad y su establecimiento pudiera contribuir a la generación de prácticas cada vez más amigables con el ambiente. En ese sentido, el presente trabajo pretende recopilar información sobre el ácido piroleñoso y sus posibles efectos en la agricultura.

Palabras clave: bioestimulantes, plaguicida, pirólisis, herbicidas.

ABSTRACT : Pyroligneous acid is a complex mixture containing 80-90 % water and 10-20 % organic compounds, including more than 200 chemical components such as acetic acid, phenols, alkanes, alcohols and ester compounds, which can be extracted from different plant materials that contain lignin, cellulose and hemicellulose. In different countries, practices of transformation of the different vegetable materials are adopted in order to extract this product, since investigations carried out show that it has potential in different sectors such as agriculture. It has characteristics that allow it to replace synthetic products used in the food, cosmetic and agricultural industries, which alter the environment and are harmful to people's health. It is a product of which little is known about its applicability and its establishment could contribute to the generation of increasingly friendly practices with the environment. In this sense, the present work aims to collect information on pyroligneous acid and its possible effects on agriculture.

Key words: biostimulant, pesticide, pyrolysis, herbicide.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda y aplicación de tecnologías en la adquisición de productos energéticos y químicos orgánicos tienen bastante interés en el mundo actual, entre ellas, la pirólisis de la biomasa vegetal (1).

Aunque la pirólisis se remonta al antiguo Egipto, todavía está en fase de desarrollo en el escenario energético actual y ha recibido especial atención, ya que puede convertir directamente la biomasa en productos sólidos, líquidos y gaseosos por descomposición térmica en ausencia de oxígeno (2).

Las biomásas al ser sometidas al proceso de pirólisis producen una sustancia conocida como ácido piroleñoso o vinagre de madera, el cual se puede utilizar para diferentes fines agrícolas (3). Posee características que permiten sustituir productos sintéticos, que no sólo alteran el medio ambiente, sino que también son perjudiciales para la salud de las personas (4).

En Cuba, se han realizado algunos estudios a escala de laboratorio entre los que se encuentran los trabajos efectuados sobre la evaluación antimicrobiana de 4 productos derivados del ácido piroleñoso para su posible utilización como desinfectantes (5); los Cromatogramas

*Autor para correspondencia: les caybatistaelio@gmail.com

Recibido: 20/08/2022

Aceptado: 02/04/2023

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses



GRAM-SCHMIDT del ácido piroleñoso obtenido en la pirolisis de diferentes biomásas vegetales (6) y la comparación del Guachapelí (*Albizia guachapele*) contra Marabú (*Dichrostachys cinérea*) y la cinética de sus pirolisis (7).

En correspondencia con lo expresado anteriormente, la presente revisión tiene como objetivo recopilar información sobre el estado del conocimiento en relación al ácido piroleñoso, sus características y posibles usos en la agricultura.

DESARROLLO

Acido piroleñoso

El ácido piroleñoso es un líquido acuoso que se obtiene por la condensación del humo generado durante la pirolisis de la biomasa vegetal (8). Su extracción es muy simple: cuando se procesa el carbón vegetal como biomasa, se hace pasar el humo por un tubo o chimenea, en este proceso, el ácido que sale como gas se condensa y se colecta. Este líquido tiene un ahumado especial, de color amarillo claro a marrón (9). El rendimiento depende de la biomasa utilizada (10).

Composición química del ácido piroleñoso

La pirolisis es un proceso que permite transformar la biomasa vegetal en subproductos como biocarbón, ácido piroleñoso (AP) y alquitrán (11).

Durante la pirolisis ocurren reacciones complejas de despolimerización, hidrólisis, oxidación, deshidratación y descarboxilación. Los productos volátiles al condensarse, dan lugar a un líquido que contiene dos fases: una fase acuosa denominada ácido piroleñoso, formada por compuestos orgánicos oxigenados de bajo peso molecular; y otra fase no acuosa denominada alquitrán, que contiene compuestos orgánicos insolubles de alto peso molecular como: pirocatecol, guayacol, cresol, metil-cresol, tolueno, xileno, naftaleno, y otros hidrocarburos (12).

Los productos volátiles de la pirolisis son el resultado de la descomposición de los macro componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) y de reacciones secundarias entre los compuestos volátiles formados en la descomposición primaria. Uno de los productos líquidos más abundantes de la pirolisis lenta es el ácido piroleñoso, con un alto contenido de agua y ácido acético (12).

El ácido piroleñoso contiene un 80-90 % de agua, 5-10 % de ácido acético y más de 200 tipos de compuestos químicos diluidos (9). Los productos obtenidos son gases, líquidos y sólidos. La proporción y composición de los mismos depende en gran medida del tipo de biomasa que se emplee (13).

En la pirolisis del bagazo de la caña y de la cascarilla de café se observa una alta presencia de ácidos carboxílicos y fenoles, así como cetonas, alcoholes y aldehídos, dado el alto contenido de hemicelulosa y celulosa, las cuales al descomponerse térmicamente dan lugar a la volatilización de estos tipos de compuestos orgánicos (12).

En el ácido piroleñoso obtenido a partir de tabaco los compuestos que predominan, después del ácido acético, son los del grupo de las aminas, como la acetamida, propionamida y nicotina; sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos es menor, debido a que el contenido de lignina es mucho menor que en el bagazo de la caña y cascarilla de café (14).

El análisis de la composición de los ácidos piroleñosos de las especies de bambú, pisonay y cético arrojaron diferentes compuestos orgánicos como ácidos, alcoholes, fenoles y compuestos neutros. La especie de bambú presentó 12 compuestos orgánicos; la especie de pisonay resultó con 20 compuestos orgánicos y la especie de cético tuvo 23 compuestos orgánicos (10).

Como resultado del análisis de los componentes de ácido piroleñoso del bambú, roble y pino se determinó que los ácidos piroleñosos de estas especies son casi idénticos y se componen, principalmente, de compuestos fenólicos e hidrocarburos aromáticos (15).

Efecto del ácido piroleñoso en la germinación de las semillas

El empleo del ácido piroleñoso en la germinación de semillas de sandía (*Citrullus lunatus*), cocoma (*Solanum sessiliflorum*) y cacao (*Theobroma cacao*) en el Distrito de San Gabán, Carabaya, mostró efectos significativos en la germinación de las semillas de cocona y cacao, sin embargo, hubo efectos negativos para las semillas de sandía. La dosis de 10 mL tuvo los mejores resultados en la germinación de las semillas de cocona y cacao con 94,5 y 98,5 %, respectivamente. La dosis de 100 mL inhibió la germinación y la de 1 mL no mostró efectos positivos. Estos autores consideran que el ácido piroleñoso de bambú muestra eficiencia en la germinación de semillas de plantas perennes y en aquellas que tengan problemas de latencia o recalcitrantes (16).

La aplicación de ácido piroleñoso procedente de la pirolisis de bambú aumentó significativamente el porcentaje de germinación de las semillas de arroz, por la capacidad de sus componentes químicos de inhibir los agentes patógenos presentes en la semilla (17).

Efecto bioestimulante del ácido piroleñoso

La adición de ácido piroleñoso promueve el desarrollo de la raíz de las plántulas de pimiento entre el 45,4 - 51,6 %, y aumenta la biomasa del brote y de la raíz hasta un 22,0 y 113 %, respectivamente (18).

En un estudio comparativo entre el ácido piroleñoso a partir de *Pennisetum clandestinum* L (kikuyo) y el proveniente del bambú se demostró que ambos tenían propiedades similares y que sus características pueden incrementar el crecimiento radicular en vegetales (19).

Estudios realizados encontraron mayor producción de pimentón en las parcelas donde se utilizó 6 mL de ácido piroleñoso por litro de agua, lo que confirma que este producto tiene, además, un efecto estimulador del crecimiento que favorece el mayor desarrollo de la planta y por ende el rendimiento (20).

En la evaluación de los componentes que contiene el ácido piroleñoso, en sus características físico-químicas, se realizaron análisis de laboratorio al inicio y al final de la investigación, los cuales arrojaron que los macronutrientes nitrógeno, potasio, magnesio y azufre aumentaron su concentración, mientras que otros compuestos como fósforo y calcio, en menor concentración en ppm, favorecieron el desarrollo vegetativo de la planta (3).

Efecto del ácido piroleñoso en el suelo

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 (20).

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, mejora la acidez del suelo, mejora la absorción de nutrientes por las plantas y actúa como fertilizante orgánico (21). Su aplicación eleva la capacidad de intercambio de cationes del suelo (CIC) y, en consecuencia, beneficia la translocación de fósforo del suelo a la planta. Por ende, hay una reducción en la lixiviación del nitrógeno y un incremento de la biodisponibilidad en los suelos agrícolas (22), lo cual puede potencialmente disminuir la demanda de fertilizantes nitrogenados para el crecimiento de los cultivos (23)

La aplicación de una mezcla del ácido piroleñoso con Bocashi, mostró un mejor índice de calidad en la conductividad eléctrica, materia orgánica, nitratos y en el contenido total de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. No así en nitrógeno-amoniaco, capacidad de intercambio catiónico y potasio total (24).

El ácido fórmico de metilo y acetato de metilo contenido en el ácido piroleñoso, ayudan al desarrollo de los microorganismos que mejoran el suelo y a la calidad del abono orgánico (20).

Cuando se aplica al suelo evita la proliferación de nematodos, virus, moho gris, bacterias, etc. La elevada acidez y el contenido en metanol y fenol tienen un fuerte efecto bactericida a elevada concentración (25).

Existen resultados comprobados de la eficiencia y eficacia del ácido piroleñoso como fuente de fertilización orgánica. Cerca de 400 pequeños productores rurales de cuatro municipios en Nicaragua utilizan esta sustancia como fuente de fertilización en sus cultivos (26).

Efecto del ácido piroleñoso en el control de plagas y enfermedades

La fracción líquida obtenida por pirólisis convencional de la madera tiene gran utilidad como fungicida, bactericida e insecticida. Es útil, especialmente, en la actividad biológica de los ataques de hongos y termitas (27).

La evaluación fungicida y antitermitica preliminar del líquido piroleñoso demostró su toxicidad frente a los hongos pudridores de madera *Coriopsis polizona*, *Fomitella supina*, *Pycnoporus sanguineus* y *Trametes*

villosa. Los valores límites de toxicidad fueron de 3 % de líquido piroleñoso por volumen de medio, frente a los hongos *Coriopsis polizona* y *Fomitella supina*; y 4 % de líquido piroleñoso, por volumen de medio, frente a los hongos *Pycnoporus sanguineus* y *Trametes villosa*. Estos valores de toxicidad, una vez convertidos en su equivalente de contenido de fracción orgánica, coinciden con valores de toxicidad adecuada, encontrados en la literatura. Respecto a la eficiencia antitermitica, los experimentos demostraron que el líquido piroleñoso protege a la madera del ataque de termitas en forma regular (28).

En un estudio realizado en Ecuador para evaluar el uso del ácido piroleñoso obtenido de la cáscara de arroz (*Oriza sativa L.*) para el manejo del insecto conocido como negrita (*Prodiplosis longifila G.*) en tomate (*Solanum lycopersicum L.*), en condiciones controladas, concluyeron que la dosis de 1,75 mL de este producto en 100 litros de agua, mostró un 78,8 % de mortalidad de las larvas (29).

Al evaluar el efecto del ácido piroleñoso en el control de plagas insectiles en el cultivo de pimentón (*Capsicum annum*), los resultados mostraron que las dosis de 4 y 6 mL/litro de agua ejercieron un efecto de repelencia en mosca blanca, pero en cuanto a los áfidos, la dosis de 6 mL además de tener efecto de repelencia, se le atribuyó un efecto de mortalidad. De esta manera, dichos autores afirmaron que el ácido piroleñoso ejerce efecto de repelencia en las plagas mencionadas. También, señalaron que mezclado con otros pesticidas se puede esperar el mismo efecto con la mitad de la dosis del pesticida, ya que el alcohol y el ácido orgánico ayudan al osmosis de la hoja y la dilución del plaguicida (20).

Es un producto que se utiliza como alternativa para el manejo, no eliminan de forma total la presencia de las plagas, sino que disminuye considerablemente el índice poblacional (30).

La actividad fungicida e insecticida del ácido piroleñoso procedente de maderas de bambú y manglar fue demostrada experimentalmente (31). Por otra parte, en un estudio realizado con el vinagre obtenido de la cáscara de coco, mostró que este líquido con diferentes diluciones, mantenía actividad termitica y pesticida, y además que la madera tratada con él presentaba una acción preventiva frente a las termitas (32).

El vinagre de madera contra hongos cromógenos y moho presentes en madera de pino rojo japonés tuvo mayor eficacia contra los hongos cromógenos, de tal forma que con la dilución 1:1 se consiguió su inhibición durante 8 semanas (33).

En la esterilización del suelo, este funciona como fungicida al reducir rápidamente el nivel de oxígeno y bajar el pH de forma drástica durante una semana, lográndose el control de nematodos, virus, moho gris, mildiú lanoso y marchites bacterial. Debe aplicarse una semana antes de la siembra en la relación de 2,8 L de ácido piroleñoso / 20 L de agua y una semana después de la siembra en una relación de 200 mL de ácido piroleñoso / 20 L de agua, preferiblemente realizar la aplicación en horas de la mañana (20).

El uso de bioplaguicidas, como el ácido piroleñoso, es una técnica sencilla para el uso de los productores, que reduce los costos de mantenimiento en un 50 %, además no perjudica el ambiente ni la salud humana. En la aplicación foliar, el fenol, cresol, alcoholes, ácido fórmico, ácido acético, formaldehído, metanol entre otros, provocan repelencia en insectos como ácaros y pulgones por su característico olor a humo, tiene efecto fungicida para los hongos oidio, moho gris, mildiu, pudrición blanda, podredumbre por clerotinia y marchitez bacterial y activa el crecimiento de la planta (20).

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*. Los resultados indican que las concentraciones adecuadas son las inferiores al 10 % para evitar quemaduras en las hojas (34).

Efecto herbicida del ácido piroleñoso

Sobre el ácido piroleñoso o vinagre de madera existen referencias de su uso como herbicida natural desde la antigüedad, pero casi no hay estudios científicos sobre la eficacia de este vinagre como herbicida (35).

La evaluación del comportamiento del vinagre como herbicida en tres porcentajes de acidez, en la zona de Zamorano en Honduras, mostró que no hubo cambio en el pH del suelo, manteniéndose entre 5,6 y 5,7 pre y post aplicación. El control más significativo ($p \leq 0.05$) fue en plantas de *Melampodium divaricatum*, 15 días después de aplicado con 84 %, en las plantas de hojas anchas el control no fue significativo y para las gramíneas y ciperáceas no hubo control. La interacción más significativa ($p \leq 0.05$) fue en *Melampodium divaricatum* a 10 % de acidez y a 15 días de emergencia de la maleza con 96 %, en el resto de las plantas de hojas anchas no hubo efecto de las interacciones. El control más significativo ($p \leq 0.05$) en volumen de aplicación fue en plantas de *Melampodium divaricatum* a 250 L ha⁻¹ con 95 %, en el resto de las malezas no hubo diferencias. El efecto del vinagre sobre las malezas de hojas anchas fue evidente, no así en gramíneas y ciperáceas (36).

CONCLUSIONES

El ácido piroleñoso que se obtiene de la pirolisis de la biomasa vegetal es una mezcla compleja de agua y compuestos orgánicos, que presenta características en su composición química que permiten ser utilizados en actividades agrícolas, de forma amigable con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Santos ACC, Cristaldo PF, Araújo APA, Melo CR, Lima APS, Santana EDR, et al. *Apis mellifera* (Insecta:

- Hymenoptera) in the target of neonicotinoids: A one-way ticket? Bioinsecticides can be an alternative. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. noviembre de 2018 [citado 16 de mayo de 2024];163:28-36. Available in: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0147651318306432>
2. Goyal HB, Seal D, Saxena RC. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 1 de febrero de 2008 [citado 16 de mayo de 2024];12(2):504-17. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106001171>
3. Espin Carvajal DR. "Evaluación de diferentes dosis de ácido piroleñoso para el control de las principales plagas en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L)". 2020 [citado 16 de mayo de 2024]; Available in: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6022>
4. Mejía Gallón AI, Ramírez López G, Palacio Torres HD, López C. Identificación de compuestos volátiles del vinagre de *Guadua angustifolia* Kunth. (guadua). *Rev Cuba Plantas Med* [Internet]. junio de 2011 [citado 16 de mayo de 2024];16(2):190-201. Available in: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1028-47962011000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
5. Rojas MC, Martínez Varona M, Betancourt Vallejo M, Martín Domínguez EB. Evaluación antimicrobiana de 4 productos derivados del ácido piroleñoso para su posible utilización como desinfectantes. *Rev Cuba Farm* [Internet]. diciembre de 1997 [citado 16 de mayo de 2024];31(3):182-7. Available in: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-75151997000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
6. Cutiño EM, Medina MP, Ortega GG, Beltrán Y. Cromatogramas gram-schmidt del ácido piroleñoso obtenido en la pirolisis de diferentes biomásas vegetales. 2009;(3). Available in: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760004.pdf>
7. Cantos Macías MÁ, Quesada González O, Rodríguez Mcfarlanes R, Brito Soubanell AL, Casanova Gómez A. Guachapelí contra Marabú y la cinética de sus pirólisis. *Rev Cuba Quím* [Internet]. diciembre de 2017 [citado 16 de mayo de 2024];29(3):362-78. Available in: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-54212017000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
8. Theapparatt Y, Chandumpai A, Faroongsarnng D, Theapparatt Y, Chandumpai A, Faroongsarnng D. 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>
9. Infoagro. Usos del Ácido Piroleñoso. Universidad de Caldas [Internet]. 2009; Available in: <http://www.infoagro.go.cr/publicaciones/prod...pdf>
10. Catacora-Pinazo M, Quispe-Apaza I, Julian-Laime E, Zanabria-Mallqui R, Roque-Cruz M. Caracterización de los componentes químicos del ácido piroleñoso obtenido de 3 especies forestales, con fines agrícolas en San Gaban, Puno (Perú). 2019;07(2):6-16. Available in: <http://repositorio>

- torio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2233/1/Catacora_et-al_2019_forestal_componentes-qu%C3%ADmicos.pdf
11. González CMO. Compuestos del ácido piroleñoso procedente de biomasa residual de coníferas ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) y pátula (*Pinus pátula*). Rev Univ Católica Oriente [Internet]. 2015 [citado 16 de mayo de 2024];28(40):94-104. Available in: <https://revistas.uco.edu.co/index.php/uco/article/view/190>
 12. Cutiño EM, Medina MP, Ortega GG, Guilarte YB, del Campo AES. Cromatogramas Gram-Schmidt del ácido piroleñoso obtenido en la pirolisis de diferentes biomásas vegetales. Tecnol Quím [Internet]. 2009 [citado 16 de mayo de 2024];XXIX(3):27-37. Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760004>
 13. Mohan D, Pittman CU, Bricka M, Smith F, Yancey B, Mohammad J, et al. Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. J Colloid Interface Sci [Internet]. 1 de junio de 2007 [citado 16 de mayo de 2024];310(1):57-73. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979707000409>
 14. Sumba Alvario JG. Evaluación de diferentes dosis de ácido piroleñoso para el control de negrita (*Prodiplosis longifila*) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en época seca, en la zona de Mocache. 2020 [citado 16 de mayo de 2024]; Available in: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6044>
 15. Mun SP, Ku CS. Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars. J Wood Sci [Internet]. febrero de 2010 [citado 16 de mayo de 2024];56(1):47-52. Available in: <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/s10086-009-1054-0>
 16. Ruelas EP, Salazar NFQ, Pinazo MC. Efecto del ácido piroleñoso en la germinación de *Citrullus lanatus* "sandía", *Solanum sessiliflorum* "cocona" y *Theobroma cacao* "cacao" en el distrito de San Gabán, Carabaya. Puriq [Internet]. 2020 [citado 23 de mayo de 2024];2(3):233-46. Available in: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/514/5143156009/html/>
 17. Chuaboon W, Ponghirantanchoke N, Athinuwat D. Application of wood vinegar for fungal disease controls in Paddy rice. Appl Environ Res [Internet]. 30 de noviembre de 2016;38:77-85. Available in: https://www.researchgate.net/publication/335477384_Application_of_Wood_Vinegar_for_Fungal_Disease_Controls_in_Paddy_Rice
 18. Luo X, Wang Z, Meki K, Wang X, Liu B, Zheng H, et al. Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. J Soils Sediments [Internet]. 1 de diciembre de 2019 [citado 23 de mayo de 2024];19(12):3934-44. Available in: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02365-9>
 19. Burbano-Salas D. Uso del Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L), residuo de la poda de áreas verdes para la obtención de ácido piroleñoso con fines agropecuarios. Rev Inst Investig Fac Minas Metal Cienc Geográficas [Internet]. 15 de julio de 2018 [citado 23 de mayo de 2024];21(41):3-8. Available in: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14985>
 20. López Velásquez OJ, Martínez B. HE, Rojas Berrios R. Uso del humo líquido (ácido piroleñoso) en el manejo de plagas insectiles del cultivo de chiltomo (*Capsicum annum*). [Internet] [Thesis]. 2007 [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/974>
 21. Lei M, Liu B, Wang X. Effect of adding wood vinegar on cucumber (*Cucumis sativus* L) seed germination. IOP Conf Ser Earth Environ Sci [Internet]. marzo de 2018 [citado 23 de mayo de 2024];128(1):012186. Available in: <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012186>
 22. Vaccari FP, Maienza A, Miglietta F, Baronti S, Di Lonnardo S, Giagnoni L, et al.. Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. Agr. Ecosyst. Environ. 2015;207:163-70. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.015>
 23. Zheng H, Wang Z, Deng X, Herbert S, Xing B. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. Geoderma [Internet]. 1 de septiembre de 2013 [citado 23 de mayo de 2024];206:32-9. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113001365>
 24. Castillo Navarro LJ, Vargas Zamora LO. Estudio comparativo de tres formas de producción de Bocashi elaborados en el Campus Agropecuario UNAN-León [Internet] [Thesis]. 2007 [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/4584>
 25. Benzon H, Rubenecia MR, Ultra V, Lee SC. Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyrolygneous acid. J Agric Sci [Internet]. 15 de marzo de 2015;7. Available in: https://www.researchgate.net/publication/274639900_Chemical_and_Biological_Properties_of_Paddy_Soil_Treated_with_Herbicides_and_Pyrolygneous_Acid
 26. Lanuza Tórrez S. Jugo o vinagre de madera (savia de plantas) [Internet] [engineer]. Universidad Nacional Agraria, UNA; 2007 [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <https://repositorio.una.edu.ni/1363/>
 27. Choi JY, Shinde P, Kwon IK, Song YH, Chae BJ. Effect of wood vinegar on the performance, nutrient digestibility and intestinal microflora in weanling pigs. Asian-Australas J Anim Sci [Internet]. 1 de febrero de 2009;22. Available in: https://www.researchgate.net/publication/264145497_Effect_of_Wood_Vinegar_on_the_Performance_Nutrient_Digestibility_and_Intestinal_Microflora_in_Weanling_Pigs
 28. Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso. Revista Tecnología en Marcha. 20 de noviembre de 2017 [citado 23 de mayo de 2024]; Available in: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1464
 29. Estrella Hablich ST. Uso del ácido piroleñoso obtenido de la cáscara de arroz (*Oriza sativa* L.) para el manejo de *Prodiplosis longifila* G. en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). 2019 [citado 23 de mayo de 2024]; Available in: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3623>
 30. Coello D. Manejo de pulgones transmisores de enfermedades virales en el cultivo de pimiento (*Capsicum*

- annum L.), en la zona de Vinces [Internet]. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil; 2014. Available in: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3123>
31. Lee SH, H'ng P, Chow MJ, Sajap A, Tey BT, Salmiah U, et al. Effectiveness of pyroligneous acids from vapour released in charcoal industry against biodegradable agent under laboratory condition. *Jordan J Appl Sci* [Internet]. 1 de diciembre de 2011;11:3848-53. Available in: https://www.researchgate.net/publication/224879814_Effectiveness_of_Pyroligneous_Acids_from_Vapour_Released_in_Charcoal_Industry_Against_Biodegradable_Agent_under_Laboratory_Condition
 32. Wititsiri S. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarin J Sci Technol SJST* [Internet]. 1 de junio de 2011 [citado 23 de mayo de 2024]; 33(3):349-54. Available in: <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/33-3/0125-3395-33-3-349-354.pdf>
 33. Laboratory evaluation of the anti-stain efficacy of crude wood vinegar for *Pinus densiflora*: BioResources [Internet]. [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/>
 34. Chalermisan Y, Peerapan S. Wood vinegar: by-product from rural charcoal kiln and its role in plant protection. *Asian J Food Agro-Ind* [Internet]. 2009 [citado 23 de mayo de 2024]; Available in: <https://www.semanticscholar.org/paper/Wood-vinegar%3A-by-product-from-rural-charcoal-kiln-Chalermisan-Peerapan/cd0f6f597939a751006dc0e571d3b7ce2dc78363>
 35. Aguirre J. El vinagre de madera, posible sustituto de los herbicidas químicos | Líder en Información Social Servimedia [Internet]. 2016 [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <https://www.servimedia.es/noticias/611439>
 36. Arce R. GD. Evaluación técnica del vinagre para el manejo de malezas [Internet]. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013.; 2001 [citado 23 de mayo de 2024]. Available in: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1418>