



## CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DEL ÁCIDO PIROLEÑOSO OBTENIDO DE 3 ESPECIES FORESTALES, CON FINES AGRÍCOLAS EN SAN GABAN, PUNO (PERÚ)

### CHARACTERIZATION OF CHEMICAL COMPONENTS OF PYROLEINOUS ACID OBTAINED FROM 3 FORESTRY SPECIES, WITH AGRICULTURAL PURPOSES IN SAN GABAN, PUNO (PERU)

Mario Catacora-Pinazo<sup>1</sup>, Iván Quispe-Apaza<sup>1</sup>, Edgar Julian-Laime<sup>2</sup>, Rosario Zanabria-Mallqui<sup>3</sup>, María Roque-Cruz<sup>1</sup> y Percy Zevallos-Pollito<sup>4</sup>

#### Historia del Artículo:

Recibido: 30 de noviembre de 2019  
Aceptado: 15 de diciembre de 2019

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria, Programa Nacional de Innovación Agraria, Puno, Perú.

[mcatacora@inia.gob.pe](mailto:mcatacora@inia.gob.pe)  
[vegetalprotector@gmail.com](mailto:vegetalprotector@gmail.com)  
[mjroquecruz@gmail.com](mailto:mjroquecruz@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Centro del Perú, Escuela de Posgrado de Facultad de Ingeniería Química, Huancayo, Junín, Perú.

[dockjulian@gmail.com](mailto:dockjulian@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria, Programa Nacional de Estudios e Investigación para el Desarrollo Forestal y Cambio Climático, Cusco, Perú.

[zanabria27rm@gmail.com](mailto:zanabria27rm@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Departamento Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú

[pazpolli@unamad.edu.pe](mailto:pazpolli@unamad.edu.pe)

### RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar los componentes químicos y principios activos del ácido piroleñoso obtenido de bambú leñoso (*Guadua sarcocarpa*), pisonay (*Erythrina ulei*) y cetico (*Cecropia sciadophylla*), utilizando un horno piloto de destilación seca de la madera. El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Sub Estación Experimental-EE Agraria San Gabán (Puno). Se utilizó un diseño DBCA para el análisis de la obtención del ácido piroleñoso a partir de las tres especies utilizando destilación seca a 350 °C por 180 minutos. Para determinar los compuestos orgánicos se realizó un análisis de cromatografía de gases-ACG. Para evaluar diferencias significativas en el rendimiento de ácido piroleñoso entre las tres especies se utilizaron el análisis de varianza (ANVA). El ANVA mostró diferencias significativas para el rendimiento de ácido piroleñoso entre las 3 especies ( $P$ -valor < 0,05). Se encontró un mayor rendimiento de ácido piroleñoso en bambú leñoso y cetico (22,7 L), en

comparación con el pisonay (17,9 L). En el ácido piroleñoso del bambú leñoso se encontraron 12 compuestos químicos orgánicos, en mayor proporción 2-propanona, 1-hidroxi- y 2-furanmethanol. En pisonay, se encontraron 19 compuestos, en mayor proporción 2-propanona, 1-hidroxi-, y fenol, 2-metoxi-. En cetico se encontraron 23 compuestos, en mayor proporción 2-propanona, 1-hidroxi- y fenol. El ácido piroleñoso obtenido en tiene diversas aplicaciones en la industria forestal (preservante de la madera, biorepelente, biofungicida y abono foliar) y como una alternativa en la obtención de productos orgánicos y también que sean capaces de garantizar el uso eficiente de los recursos naturales.

**PALABRAS CLAVE:** Ácido piroleñoso, biomasa vegetal, bio-carbón, pirolisis, San Gabán.

### ABSTRACT

The present study aimed to characterize the chemical components and active ingredients of pyroleinous acid obtained from woody bamboo (*Guadua sarcocarpa*), pisonay (*Erythrina ulei*) and cetico (*Cecropia sciadophylla*), using a pilot stove for dry distillation of wood. The experiment was carried out at the Experimental Sub Station-EE Agraria San Gabán (Puno). A DBCA design was used for the analysis of obtaining pyroleinous acid from the three species using dry distillation at 350 ° C for 180 minutes. To determine the organic compounds an analysis of gas chromatography-ACG was performed. To evaluate significant differences in the yield of pyroleinous acid between the three species, the analysis of variance (ANVA) was used. The ANVA showed significant differences for pyroleinous acid yield among the 3 species (P-value <0.05). A higher yield of pyroleinous acid was found in cetico and bamboo (22.7 L), compared to pisonay (17.9 L). In the pyroleinous acid of woody bamboo were found 12 organic chemical compounds, in greater proportion 2-propanone, 1-hydroxy- and 2-furanmethanol. In pisonay, 19 compounds were found, in greater proportion 2-propanone, 1-hydroxy-, and phenol, 2-methoxy-. In cetico 23 compounds were found, in greater proportion 2-propanone, 1-hydroxy- and phenol. The pyroleinous acid obtained in has various applications in the forestry industry (wood preservative, biorepellent, biofungicide and foliar fertilizer) and as an alternative in obtaining organic products and also that are able to guarantee the efficient use of natural resources.

**KEYWORDS:** Biocarbon, plant biomass, pyroligneous acid, pyrolysis, San Gabán.

### INTRODUCCIÓN

El bioaceite es un producto derivado de la pirolisis de madera, consiste en la descomposición de biomasa en condiciones ambientales controladas (Mohan et al., 2007). Muchos países vienen promocionando el uso de recursos naturales renovables como medida de mitigación de los efectos del cambio climático y los riesgos en la salud (Grewal, Abbey, & Gunupuru, 2018). En este enfoque, estrategias sobre el manejo de la biomasa vegetal vienen siendo aplicada, como la de convertir la biomasa en

combustibles líquidos, sólidos o gaseosos, como producto de varios procesos de extracción (pirolisis, carbonización, gasificación, entre otros) (Grewal et al., 2018).

Para el caso particular de la pirolisis, los productos derivados pueden ser separados vía destilación de líquidos condensados, como el alquitrán y el ácido piroleñoso (de Lima et al., 2019). El ácido piroleñoso, de interés del presente estudio, tiene características únicas que los hacen valiosos y con un elevado número de aplicaciones (de

Lima et al., 2019) en la agricultura, mejoras en la cosecha de productos, germinación de semillas, inhibidor de patógenos y hongos de plantas y como fertilizante orgánico (Batista, Ré-Poppi, & Raposo, 2012).

La búsqueda y la aplicación de tecnologías en la obtención de portadores energéticos y de productos químicos orgánicos como es el caso del ácido piroleñoso tiene gran interés en el mundo actual, entre ellas cabe destacar el pirólisis de la biomasa forestal. Esto debido al uso de productos químicos sintéticos utilizados en la preservación de la madera que se ha estado incrementando a escala global en las últimas décadas y generando impactos adversos en el ambiente. Para ello es importante buscar opciones innovadoras para la obtención de productos orgánicos y también que sean capaces de garantizar el uso eficiente de los recursos forestales y la preservación del medio ambiente, ya que en el proceso de la pirólisis ocurren reacciones muy complejas que favorecen a la obtención de productos orgánicos y con múltiples usos (Santos et al., 2018).

En Latinoamérica, varios estudios han reportado la obtención de ácido piroleñoso aprovechando los residuos maderables. En Ecuador, Burbano-salas (2018) reportó la obtención de carbón, alquitrán y ácido piroleñoso, como sub producto del aprovechamiento de residuos de poda de áreas verdes con fines agropecuarios. Para México, Fregoso-Madueño et al. (2017) reportan la obtención de ácido piroleñoso a partir de desechos de aserrío de la industria forestal maderable, y sus aplicaciones como fungicida para evitar la pudrición de la madera. En Colombia, Prías Barragán, Rojas González, Echeverry Montoya, Fonthal y Ariza Calderón (2011) identificaron las variables óptimas para la obtención de carbón y ácido piroleñoso a partir de Guagua angustifolia, especie utilizada en el presente estudio.

En el Perú, Gomez-Castro (2011) reporta con éxito el uso del ácido piroleñoso en la preservación de madera aserrada de marupa, catahua y cumala, obtenido de residuos de madera de mediana y alta densidad. En la Amazonía de Madre de Dios, (Gonzales, Salas, Cueva-Galvez, & Teruya-Chinén, 2002), reporta la obtención de carbón y ácido piroleñoso utilizado dos especies de Guadua (*Guadua angustifolia* y *Guadua sarcocarpa*). Gonzales et al. (2002) encontraron que con *G. sarcocarpa* se puede obtener una mayor proporción de ácido piroleñoso y una mejor calidad de carbón que con *G. angustifolia*.

Por otro lado, la generación de carbón vegetal ha sido propuesta como una herramienta para mitigar la pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Escalante et al., 2016). Para fabricar biocarbón se requiere hacer un proceso de pirólisis (transformación térmica de la biomasa) y contar con una tecnología limpia cuidando el medio ambiente. Para que esto sea posible se debe recuperar los subproductos químicos que se liberan en forma de gases, trayendo consigo un proceso más eficiente que reduzca la contaminación atmosférica. Los gases condensables del proceso de destilación seca de la madera; el resultado de la destilación seca de la madera mediante la condensación “son los líquidos piroleñosos que contienen una fracción acuosa denominada ácido piroleñoso (la mayor parte) y una fracción líquido oleosa de color oscuro que recibe el nombre de alquitrán” (Escalante et al., 2016).

La composición y rendimiento del bioaceite dependen de las condiciones del proceso y de las composiciones de la biomasa usada. Se han realizado extensos estudios sobre las composiciones químicas y las aplicaciones basadas en materiales de partida con roble, sakura, té verde, bambú, eucalipto, planta de manglar, residuos de podas y de agricultura (Burbano-Salas, 2018; de Lima et al., 2019; Grewal et al., 2018; Li et al., 2018; Santos

et al., 2018). Sin embargo, no ha habido ninguna investigación sistemática en el análisis químico avanzado del bioaceite de Bambú leñoso, pisonay y cetico.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar los componentes químicos y principios activos del ácido piroleñoso obtenido de bambú leñoso (*Guadua sarcocarpa*), pisonay (*Erythrina ulei*) y cetico (*Cecropia sciadophylla*), especies de crecimiento y desarrollo rápido y de fácil propagación los cuales no tienen valor comercial u otro tipo de valor agregado. El presente estudio es importante porque analizará la obtención del ácido piroleñoso y las propiedades químicas de los diferentes tipos de ácidos piroleñosos obtenidos como subproductos de la elaboración de biocarbón de las materias primas forestales no utilizados actualmente, como el bambú leñoso, pisonay y cetico. El presente estudio brinda información necesaria para evaluar el uso potencial del líquido piroleñoso como biorepelente, biofungicida, enraizador, abono foliar y como preservante de la madera; para lo cual se describe el proceso de producción y se realiza la caracterización de los principios activos del producto obtenido.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Sub Estación Experimental Agraria San Gabán (Puno). Está ubicada a 620 m s.n.m. en la selva alta de la región Puno, localizado entre las coordenadas 13°25'52,07" S y 70°23'06,31" O. La temperatura media anual es de 23,3 °C y la precipitación promedio anual es de 5 224 mm.

### Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloque Completo al Azar (DBCA) para el análisis de la obtención

del ácido piroleñoso a partir de las tres especies utilizando una destilación seca de la madera a 350 °C con tres repeticiones y un tiempo de residencia de 180 minutos. Cada repetición tuvo un peso de 75 kg. De estas especies, dos especies fueron arbóreas cetico (*Cecropia sciadophylla* Mart.) y pisonay (*Erythrina ulei* Harms) y un bambú leñoso (*Guadua sarcocarpa* Londoño & P.M.).

### Obtención de materia prima

Para las tres especies, se colectó la materia prima de las purmas (bosques sucesionales) ubicadas dentro de la Sub Estación Experimental San Gabán, utilizando machetes, hacha y una motosierra (Figura 1B.01 y 1B.02). Posteriormente la materia prima fue dimensionada al tamaño del diámetro de la entrada de horno de destilación de seca. Se estimó la cantidad de material necesario para realizar los experimentos y a partir de ello extraerlos mediante tumbado y trozado, la cantidad de árboles a extraer dependió del volumen de cada árbol; esta cantidad se modificó dependiendo de las necesidades del experimento.

### Acondicionamiento de la materia prima

En cuanto al Bambú leñoso, los culmos fueron apilados transversalmente para aumentar la circulación del aire y tengan un secado más rápido (Figura 1B.04). En cuanto al pisonay y el cetico se dimensionaron y rajaron los troncos también al largo establecido, para luego apilarlos y que puedan secar al aire (Figura 1B.03). En los tres (03) casos se tomaron periódicamente un muestreo de humedad con un higrómetro de pines para poder tener un registro del ritmo de secado y poder disponer del material cuando tengan una humedad por debajo del 20% para realizar los ensayos de pirolisis mediante el horno de destilación seca de la madera.

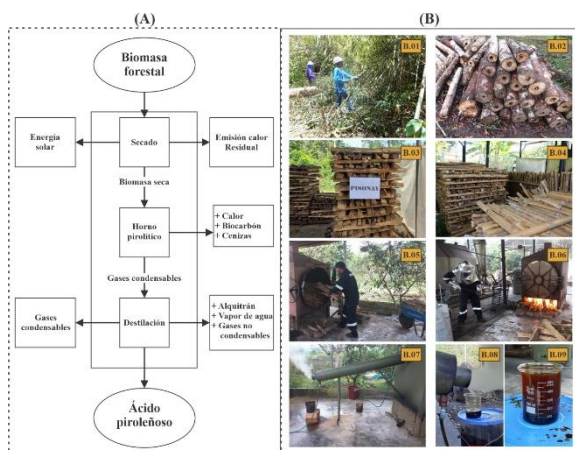
## Proceso de producción del ácido piroleñoso

Del proceso de producción de biocarbón, se obtiene en este caso a través del proceso de destilación seca de la madera, en este proceso se obtiene una serie de subproductos aprovechables (Figura 1A y 1B.06), dentro de los cuales está el ácido piroleñoso y el alquitrán liviano (Figura 1B.08 y 1B.09). Se utilizó un horno piloto de destilación seca de la madera (Figura 1B.06), al cual va acoplada a un sistema de enfriamiento (chimenea condensadora), por el cual circula agua fría en su interior a contrapresión para la condensación de los gases (líquidos piroleñosos). La destilación se realizó a 350 °C, considerando la baja densidad de las maderas estudiadas y resultados obtenidos de las primeras pruebas de ensayo realizadas en la SEE San Gabán, para obtener buen rendimiento de bio-aceite y biocarbón. La densidad promedio de *C. sciadophylla* es

Una vez que se obtuvo el producto condensado (líquido piroleñoso) se almacenó en recipientes de vidrio graduados y se puso a reposar para poder separar las dos fases que se formaron: una de ácido piroleñoso y otra de alquitrán liviano (Figura 1B.08 y 1B.09). Luego el ácido piroleñoso fue filtrado y se determinó el pH para cada muestra, siendo 3,5 para bambú leñoso, 3,9 para pisonay y 3,3 para cetico.

## Caracterización de los componentes químicos y de los principios activos del ácido piroleñoso de las tres especies estudiadas

Los ácidos piroleñosos obtenidos fueron almacenados en recipientes herméticos para su posterior uso en campo, de cada uno de los tratamientos realizados se tomó una muestra de 250 ml para su posterior análisis de composición química en laboratorio. Para determinar estos compuestos y sus cantidades se realizó un análisis de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS), en el laboratorio LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería.



0,36 y para *E. ulei* es 0,11 (Zanne et al., 2009).

### Figura 1

(A) Diagrama del proceso empleado de obtención de ácido piroleñoso de 3 especies forestales (bambú leñoso, pisonay y cetico), Fuente: Burbano-salas (2018). (B) Fotografías del proceso realizado durante la obtención del ácido piroleñoso. Obtención de materia prima de la especie bambú leñoso (B.01) y cetico (B.02). Secado de materia prima de pisonay (B.03) y bambú leñoso (B.04). Ingresando la materia en el horno pirolítico (B.05). Horno de destilación de la madera (B.06). Recuperación de gases condensables obtenidos del proceso de destilación seca (B.07). Obtención de ácido piroleñoso del proceso de destilación (B.08 y B.09).

Fuente: Elaboración propia.



## RESULTADOS

### Rendimiento de ácido piroleñoso

En la tabla 1 se muestra las fracciones promedio de los subproductos obtenidos del proceso de destilación seca de la madera de las materias primas de las especies forestales bambú leñoso (*G. sarcocarpa*), pisonay (*E. ulei*) y cetico (*C. sciadophylla*).

El ANVA mostró diferencias significativas para el rendimiento de ácido piroleñoso entre las 3 especies ( $P$ -valor  $< 0,05$ , tabla 1). El ANVA mostró diferencias significativas para el rendimiento de ácido piroleñoso entre las 3 especies ( $P$ -valor  $< 0,05$ ; tabla 1). Se encontró un mayor rendimiento promedio de ácido piroleñoso en bambú leñoso y cetico (22,7 L en promedio); en comparación con el pisonay que obtuvo un menor rendimiento (17,9 L en promedio). El *post hoc* test de Tukey mostró diferencias significativas entre estas (tabla 1).

Por otro lado, para el biocarbón no se encontró diferencias significativas en el rendimiento de las tres especies estudiadas ( $P$ -valor  $> 0,05$ ; Tabla 1). Sin embargo, bambú leñoso presentó un mayor rendimiento de biocarbón (27 kg) y cetico presentó el menor rendimiento en biocarbón (23,5 kg) (tabla 1).

En cuanto al rendimiento porcentual, en bambú leñoso se encontró que un 50% de lo obtenido es biocarbón, el ácido piroleñoso con un 42% y seguidamente el alquitrán liviano y el agua, ambos con un 4%. En pisonay se encontró que un 33,02% de lo obtenido corresponde al biocarbón, un 23,82% al ácido piroleñoso, un 1,65% al alquitrán liviano y el agua en un 5,56%. En el cetico se encontró que un 31,29% de lo obtenido corresponde al biocarbón, un 30,27% de ácido piroleñoso, un 2,42% de alquitrán liviano y un 4,04% de agua.

**Tabla 1**

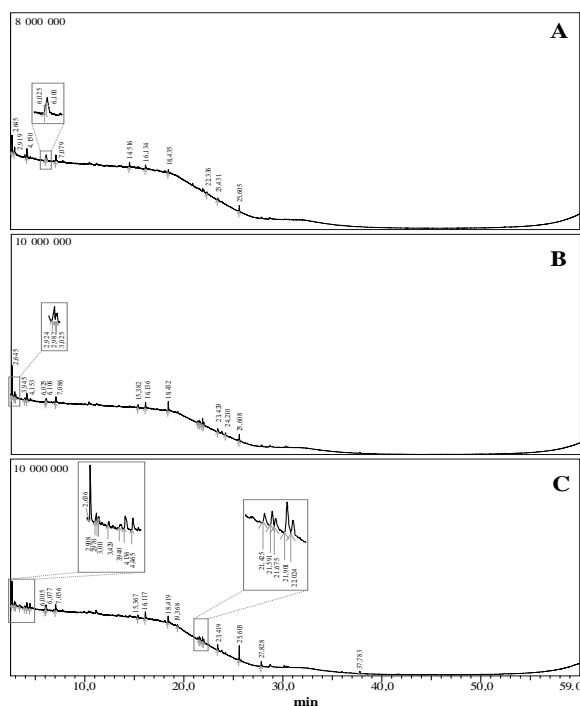
Comparación de promedio y análisis de varianza (ANVA) para el rendimiento de ácido piroleñoso y masa de carbón obtenido mediante pirolisis de tres especies forestales en la selva alta de Puno.

Especie	Especie			ANVA	
	Bambú leñoso	Cetico	Pisonay	F-valor	$P$ -valor
Masa inicial (kg)	75	75	75		
Tiempo de residencia (min)	180	180	180		
Humedad inicial de la biomasa (%)	15,5 ± 3,8 A	14,2 ± 1,6 A	16,2 ± 1,3 A	0,47	0,66
Masa del biocarbón (kg)	27 ± 2 A	23,5 ± 0,8 A	24,8 ± 3,8 A	4,7	0,11
Humedad del biocarbón (%)	0	0	0		
Ácido piroleñoso (L)	22,7 ± 0,7 A	22,7 ± 2,9 A	17,9 ± 1,9 B	17,8	0,01
Alquitrán (L)	2,1	1,8	1,2		
Agua (L)	2,4 ± 0,8 A	3 ± 1,4 A	4,2 ± 4,2 A	0,36	0,71

Fuente: Elaboración propia.

## Componentes químicos del ácido piroleñoso de las tres especies

Los resultados obtenidos de la cromatografía (figura 2A) de los gases del ácido piroleñoso para bambú leñoso revelaron la presencia de 12 compuesto químicos orgánicos (tabla 2A). Los tres compuestos presentes en mayor proporción fueron 2-propanona, 1-hidroxi- (21,79 %), 1-hidroxi-2-butanona (14,04 %) y 2-furanmetanol (11,32 %). En el ácido piroleñoso de pisonay se encontraron 23 compuesto químicos orgánicos (figura 2B y tabla 2B). Los tres compuestos presentes en mayor contenido relativo fueron el 2-propanona, 1-hidroxi- (22,83 %), 1-hidroxi-2-butanona (8,87 %) y fenol, 2-metoxi- (8,24 %). En el ácido piroleñoso de pisonay se encontraron 19 compuesto químicos orgánicos (figura 2C y tabla 2C). Los tres compuestos presentes en mayor contenido relativo fueron el 2-propanona, 1-hidroxi- (17,72 %), fenol, 2,6-dimetoxi- (10,19 %) y 1-hidroxi-2-butanona (7,55 %).



**Figura 2**

Cromatogramas Gram-Schmidt del ácido piroleñoso obtenido de tres especies forestales en la selva alta de Puno. A = bambú

leñoso (*Guadua sarcocarpa*), B = pisonay (*Erythrina ulei*) y C = catico (*Cecropia sciadophylla*).

Fuente: Elaboración propia.

### (A) bambú leñoso

Nº	Nombre del compuesto	CR (%)
<b>Componentes ácidos</b>		
1	Ácido propanoico	8,65
2	1-Hidroxi-2-butanona	14,04
3	Fenol	7,05
4	1,2-Benzenediol, 3-metoxi- (Pirogalol)	2,41
<i>Total, componentes ácidos</i>		32,15
<b>Componentes alcoholes</b>		
5	2-Propanona, 1-hidroxi- (Hidroxiacetona)	21,79
6	2-Furanmetanol, tetrahidro- (Furfuril)	4,66
7	2-Furanmetanol (Alcohol furfurílico)	11,32
<i>Total, Componentes alcoholes</i>		37,77
<b>Componentes fenoles</b>		
8	Fenol, 2-metoxi- (Guayacol)	5,13
9	Benceno, (eteniloxi)-	1,96
10	Fenol, 2,6-dimetoxi-	7,18
<i>Total, Componentes fenoles</i>		14,27
<b>Componentes neutros</b>		
11	Furfural	9,31
12	2-Ciclopenteno-1-ona, 2-hidroxi-3-metil-	6,5
<i>Total, Componentes neutros</i>		15,81
<b>Total componentes</b>		<b>100,00</b>

### (B) Pisonay

Nº	Nombre del compuesto	CR (%)
<b>Componentes ácidos</b>		
1	Ácido propanoico	6,20
2	Ácido acético, hidroxi-, methyl ester	2,53
3	1-Hidroxi-2-butanona	8,87
4	Ácido butanoico, anhídrido (Anhídrido butírico)	3,01
5	Ácido 5-Oxotetrahidrofurano-2-carboxílico	1,48
6	1,2-Benzenediol, 3-methoxi- (Pirogalol)	2,00
7	Metacrilic acid, etil ester (Metacrilato de etilo)	3,11
<i>Total, componentes ácidos</i>		27,20
<b>Componentes alcoholes</b>		
8	2-Propanona, 1-hidroxi- (Hidroxiacetona)	22,83
9	1,2-Ethanediol (Etilenglicol)	2,06
10	2-Furanmetanol, tetrahidro- (Furfuril)	4,57
11	2-Furanmetanol (Alcohol furfurílico)	6,60
<i>Total, Componentes alcoholes</i>		36,06
<b>Componentes fenoles</b>		
12	Fenol, 2-methoxi- (Guayacol)	8,24
13	Fenol, 2,6-dimetoxi-	5,31
<i>Total, Componentes fenoles</i>		13,55
<b>Componentes neutros</b>		
14	1,3-Dioxolane, 2,2-dimetil-	2,86
15	2-Ciclopenteno-1-ona	3,41
16	1,2-Ciclopentanodiona, 3-metil-	5,53
17	Cresol	2,45
18	Catecol	6,96
19	1,2-Benzenediol, 4-metil-diacetato	1,98
<i>Total, Componentes neutros</i>		23,19
<b>Total componentes</b>		<b>100,00</b>

(C) Cetico		
Nº	Nombre del compuesto	CR (%)
<b>Componentes ácidos</b>		
1	Ácido propanoico	2,78
2	Ácido acético	1,64
3	Ácido butanoico	2,88
4	Metacrilic acid, etil ester (Metacrilato de etilo)	2,53
5	1,2-Bencenediol, 3-metoxi- (Pirogalol)	3,19
<i>Total, componentes ácidos</i>		13,02
<b>Componentes alcoholes</b>		
6	Glicerina	1,41
7	2-Propanona, 1-hidroxi- (Hidroxiacetona)	17,72
8	Succindialdehido	4,54
9	2-Furanmetanol (Alcohol furfurílico)	5,47
10	2-Furanmetanol, tetrahidro- (Furfuril)	2,09
<i>Total, Componentes alcoholes</i>		31,23
<b>Componentes fenoles</b>		
11	Fenol, 2-metoxi- (Guayacol)	5,28
12	Fenol, 2,6-dimetoxi-	10,19
<i>Total, Componentes fenoles</i>		15,47
<b>Componentes neutros</b>		
13	1-Hidroxi-2-butanona	7,55
14	3-Metoxi-2,2-dimetiloxirane	3,72
15	Óxido de propileno	1,35
16	1,3-Dioxane, 2-metil-	2,07
17	1,2-Ciclopentanodiona, 3-metil-	5,85
18	Cresol	2,56
19	Catecol	4,43
20	3,5-Dimetilpirazole	6,16
21	4-etilciclohexanona	1,25
22	1,2,4-Trimetoxibenceno	3,55
23	2,4,6(1H,3H,5H)-Pirimidinetrione, 5-etil-5-	1,85
<i>Total, Componentes neutros</i>		40,34
<b>Total componentes</b>		<b>100,00</b>

**Tabla 2**

Constituyentes del ácido piroleñoso de tres especies forestales en la selva alta de Puno obtenidos mediante cromatografía de gases. A = bambú leñoso, B = pisonay y C = cetico. Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

La presente investigación confirma la aplicación de un horno piloto.

El rendimiento en ácido piroleñoso y carbón vegetal encontrado en el presente estudio para *G. sarcocarpa* difiere de los resultados en encontrados por [Gonzales et al. \(2002\)](#), en la Amazonía de Madre de Dios. Nuestro estudio reporta un 7 % más en rendimiento de carbón que [Gonzales et al. \(2002\)](#), pero un 12 % menos en rendimiento de ácido piroleñoso. Aunque, estas diferencias podrían estar influenciadas por la mayor temperatura (500 °C) y masa inicial (1 t) empleada por

[Gonzales et al. \(2002\)](#). Esto debido a que una mayor temperatura durante la pirolisis genera una mayor cantidad de bio-aceite ([de Lima et al., 2019](#)).

Por otro lado, en las otras especies forestales estudiadas, un mayor rendimiento de ácido piroleñoso fue encontrado en la especie con mayor densidad (7% más en *C. sciadophylla* que en *E. ulei*). Estos resultados concuerdan con los reportados por [Lopez \(2001\)](#) en la extracción de ácido piroleñoso de 6 especies de la Amazonía de Loreto (Perú). Sin embargo, los rendimientos de ácido piroleñoso obtenidos en el presente estudio para *C. sciadophylla* son superiores a los reportados por [Lopez \(2001\)](#) en especies de alta densidad (>0,7 g/cm<sup>3</sup>), como *Ormosia macrocalyx*, *Lecythis peruviana*, *Caraipa densiflora* y en especies de baja densidad como *Maquira coriacea* y *Virola sp.*, a pesar que *C. sciadophylla* es una especie de densidad baja (<0,4 g/cm<sup>3</sup>) y que [Lopez \(2001\)](#) utilizó una mayor temperatura de destilación (450 °C) que el presente estudio.

La presencia de ácido propanoico, fenol y hidroxiacetona en el ácido piroleñoso de *G. angustifolia*, concuerda con los resultados de [Gallón, López, Torres y López \(2011\)](#) en *G. angustifolia* generados mediante pirolisis de residuos forestales de la producción de pisos en Colombia.

El ácido piroleñoso obtenido en el presente estudio tiene aplicaciones en diversas áreas ([Mathew & Zakaria, 2015](#)), específicamente en la industria forestal puede ser aplicada como preservante de la madera, biorepelente, biofungicida, enraizador, abono foliar y como una alternativa en la obtención de productos orgánicos y también que sean capaces de garantizar el uso eficiente de los recursos forestales y la preservación del medio ambiente, ya que en el proceso de la pirolisis ocurren reacciones muy complejas que favorecen a la obtención de productos



orgánicos y con múltiples usos (Santos et al., 2018).

## CONCLUSIONES

El mayor porcentaje obtenido de rendimiento de ácido piroleñoso obtenidos del proceso de destilación seca, lo tiene el bambú leñoso (*G. sarcocarpa*) y el cetico (*C. sciadophylla*), ambos con 30,27% y en menor porcentaje el pisonay (*E. ulei*) con 23,82%.

El mejor porcentaje de rendimiento de biocarbón lo tiene el bambú leñoso con 36,13%, seguido del pisonay con 33,02% y por último el cetico con un 31,29%; para el rendimiento del alquitrán liviano lo tiene el bambú leñoso con un 2,81%.

En cetico se encontró la mayor cantidad de compuestos químicos orgánicos (23), seguido por pisonay (19). Mientras que, en bambú leñosos solo se encontraron 12 compuestos orgánicos. El componente ácido 1-hidroxi-2-propanona se encontró en altas proporciones en las tres especies estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge Luis Maicelo Quintana, jefe del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), por autorizar la publicación del presente Artículo científico. A la Dra. Blanca Arce Barbosa, Directora Ejecutiva de Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), programa que ha financiado la ejecución del proyecto PNIA 147\_PI y la publicación de este Artículo científico. Al MVZ. Rene Alfredo Pinazo Herencia, director de la Estación Experimental Agraria “Illpa Puno”, por su apoyo en la gestión del proyecto y hacer realidad el presente Artículo científico. Al Dr. José Eloy Cuellar Bautista, Ex Director de la Sub Dirección de Investigación y Estudios Ambientales, por su apoyo científico. Al equipo de investigación del proyecto PNIA 147\_PI “Recuperación y

evaluación de la calidad de uso del ácido piroleñoso, obtenido del proceso de pirólisis para la elaboración de biocarbón con fines agrícolas, San Gabán, Puno”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, J., Ré-Poppi, N., & Raposo, J. L. (2012). Characterization of pyrolytic acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(4), 610–617.  
<https://doi.org/10.1590/s0103-50532012000400005>
- Burbano-Salas, D. (2018). Uso del Kikuyo (*Pennisetum Clandestinum* L), residuo de la poda de áreas verdes para la obtención de ácido piroleñoso con fines agropecuarios. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 21(41), 3–8.
- de Lima, G. G., Mendes, C., de Marchi, G., Vicari, T., Cestari, M. M., Gomes, M. F., ... Leme, D. M. (2019). The evaluation of the potential ecotoxicity of pyrolytic acid obtained from fast pyrolysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180(May), 616–623.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.058>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., ... Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Fregoso-Madueño, J. N., Goche-Télles, J. R., Rutiaga-Quiñones, J. G., González-

- Laredo, R. F., Bocanegra-Salazar, M., & Chávez-Simental, J. A. (2017). Alternative uses of sawmill industry waste. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(02), 243–260. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>
- Gallón, A. I. M., López, G. R., Torres, H. D. P., & López, C. (2011). Identification of volatile compounds in vinegar from *Guadua angustifolia* Kunth. (guadua). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(2), 190–201. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962011000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000200008)
- Gomez-Castro, Z. (2011). *Comportamiento del ácido piroleñoso en la profilaxis al ataque de termes en la madera aserrada de tres especies forestales* (Universidad de la Amazonia Peruana). Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/2126>
- Gonzales, H., Salas, G., Cueva-Galvez, G., & Teruya-Chinén, R. (2002). *Estudio de carbonización y sus productos de 02 especies de “paca” (Guadua angustifolia y Guadua sarcocarpa) provenientes de la zona de Iberia-Tahuamanu, Madre de Dios*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima- Perú.
- Grewal, A., Abbey, Lord, & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.008>
- Li, R., Narita, R., Nishimura, H., Marumoto, S., Yamamoto, S. P., Ouda, R., ... Watanabe, T. (2018). Antiviral Activity of Phenolic Derivatives in Pyroligneous Acid from Hardwood, Softwood, and Bamboo. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(1), 119–126. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01265>
- Lopez, J. (2001). *Obtencion y Evaluación de Liquido Piroleñoso de los residuos de Madera Aserrada en el Ciefor Puerto Almendras* (Universidad Nacional de la Amazonía Peruana). Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/5150>
- Mathew, S., & Zakaria, Z. A. (2015). Pyroligneous acid—the smoky acidic liquid from plant biomass. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(2), 611–622. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6242-1>
- Mohan, D., Pittman, C. U., Bricka, M., Smith, F., Yancey, B., Mohammad, J., ... Gong, H. (2007). Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310(1), 57–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.01.020>
- Prías Barragán, J., Rojas González, C., Echeverry Montoya, N., Fonthal, G., & Ariza Calderón, H. (2011). Identificación De Las Variables Óptimas Para La Obtención De Carbón Activado a Partir Del Precursor *Guadua Angustifolia* Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 157–166.
- 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*.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.048>

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., ... Chave, J. (2009). Global wood density database. En *Dryad*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10255/dryad>.