



Revista Cubana de Química

ISSN: 0258-5995

ISSN: 2224-5421

Universidad de Oriente

Quesada-González, Omaida; Cantos-Macías, Manuel A.; Duharte-Rodríguez, Wendy Lucía; Cascaret-Carmenaty, Dannis Adrian; Rodríguez-Matos, Josefina  
Biocarbones ecuatorianos con potencialidades energéticas  
Revista Cubana de Química, vol. 34, núm. 2, 2022, Mayo-Agosto, pp. 285-302  
Universidad de Oriente

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443571996002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

## **Biocarbones ecuatorianos con potencialidades energéticas** Ecuadorian biochar with energy potential

Omaida Quesada-González<sup>1\*</sup><https://orcid.org/0000-0001-8878-4628>

Manuel A. Cantos-Macías<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7589-0210>

Wendy Lucía Duharte-Rodríguez<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0385-7926>

Dannis Adrian Cascaret-Carmenaty<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6515-7138>

Josefina Rodríguez-Matos<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9457-3955>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí, República de Ecuador

<sup>3</sup> Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Sancti Spíritus, Cuba

\*Autor para la correspondencia: oquesada@uo.edu.cu

### **RESUMEN**

El craqueo pirolítico de los residuos forestales es un proceso complejo que determina las características del biocarbón obtenido, por lo que surge la necesidad de caracterizarlos. El objetivo de este trabajo es precisar, a través de diseño de experimento, las variables experimentales que influyen en la pirólisis del aserrín de las maderas ecuatorianas Teca, Fernán Sánchez y Guachapelí, y sus valores más favorables para alcanzar mayores rendimientos en este proceso, de modo que permita elucidar un procedimiento experimental para la obtención de biocarbones, así como la caracterización de los mismos. El diseño de experimento aplicado demostró que la temperatura es el único parámetro que afecta significativamente la pirólisis y permite proponer un procedimiento experimental para la obtención de los biocarbones. La MEB y el FT-IR de los biocarbones demuestran la efectividad del proceso, y los EDX de los biocarbones obtenidos demuestran una relación

estequiométrica de C/O 5:1 enriquecida en carbón, así como la composición elemental de sus cenizas.

**Palabras clave:** residuos madereros; pirólisis; biocarbones.

## **ABSTRACT**

The pyrolytic cracking of forest residues is a complex process that determines the characteristics of the biochar obtained. The objective is to specify through experimental design, the experimental variables that influence the pyrolysis of sawdust from Ecuadorian Teak, Fernán Sánchez and Guachapelí woods and their most favorable values to achieve higher yields in this process, so that it allows elucidating a Experimental procedure for obtaining biochars, as well as their characterization. The applied experiment design showed that temperature is the only parameter that significantly affects pyrolysis and allows us to propose an experimental procedure to obtain biochar. The SEM and the FT-IR of the biochars demonstrate the effectiveness of the process and the EDX of the biochars obtained show a stoichiometric ratio of C/O 5:1 enriched in charcoal, as well as the elemental composition of its ashes.

**Keywords:** wood residues; pyrolysis; biochars.

Recibido: 7/1/2022

Aprobado: 20/2/2022

## **Introducción**

Los combustibles fósiles han sido las fuentes de energía líderes para satisfacer el creciente consumo energético mundial, debido al desarrollo industrial y a las constantes innovaciones tecnológicas.<sup>(1)</sup> Sin embargo, en las últimas decenas se modifica este escenario energético, debido a que las reservas de los mismos son limitadas y a la problemática ambiental asociada, principalmente a su combustión, que genera contaminantes como los óxidos de azufre, nitrógeno, carbono, hidrocarburos volátiles y material particulado que afectan la calidad del aire, dando lugar al smog fotoquímico, hollín, lluvia ácida y el calentamiento global.<sup>(2)</sup>

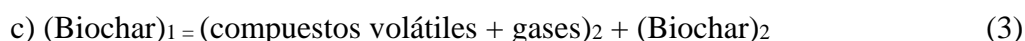
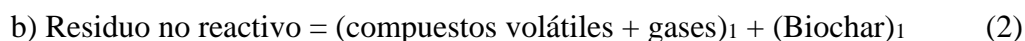
Las energías renovables como la solar, hidráulica, eólica y la biomasa, entre otras, forman parte de una solución viable, aunque algunas demandan de sistemas de almacenamiento energético para su consumo.<sup>(3)</sup>

Esta investigación centra la atención en la biomasa, que puede definirse como la materia orgánica fijada por la fotosíntesis y la materia derivada de las transformaciones naturales o artificiales de dichos compuestos orgánicos. Esta definición se utiliza cuando se refiere al aprovechamiento energético de la biomasa.<sup>(1)</sup>

Dentro de la biomasa vegetal, se estudia la biomasa residual agroforestal y, particularmente, la proveniente de maderas ecuatorianas como Teca, Fernán Sánchez y Guachapelí, las que han sido ampliamente cultivadas en ese país, por ser especies de rápido crecimiento.<sup>(4)</sup> Las maderas son consideradas una de las más importantes fuentes renovables de energía.

La pirólisis es el proceso de conversión termoquímico que requiere de energía en forma de calor y agentes inertes, para que la degradación de la biomasa se verifique satisfactoriamente.<sup>(5)</sup> El rendimiento y propiedades del biocarbón obtenido, dependen de la materia prima de partida (en este caso aserrín de madera) y de las condiciones y parámetros de operación del proceso de pirólisis<sup>(6, 7)</sup>, de ahí la necesidad de continuar investigando en estos aspectos. El rendimiento de los biocarbones disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y la velocidad de calentamiento de la biomasa.<sup>(8)</sup>

La formación de carbón vegetal a partir de biomasa es compleja. Demirbas [9] sugiere que los mecanismos y etapas de formación de biochar durante la pirólisis pueden ser representados a través de las siguientes reacciones:



En la etapa inicial (1), se produce la eliminación de la humedad de la biomasa y algunos compuestos volátiles. En la etapa intermedia (2), se produce el biocarbón primario (biochar)<sub>1</sub>, el cual se origina tras una rápida volatilización de compuestos orgánicos, con la consiguiente generación de gases. En la etapa final (3), el biocarbón primario se descompone lentamente

formando sólidos residuales con un alto contenido en carbono fijo. Este residuo se reordena formando el biocarbón secundario (biochar)<sub>2</sub> o residuo final de la transformación térmica.<sup>(9)</sup>

Los biocarbones obtenidos presentan diversas aplicaciones: pueden ser empleados como remediadores de suelo; para fines medioambientales en el tratamiento de residuales líquidos, sólidos y gaseosos; como cátodos en bioceldas de combustibles o baterías en general; como soportes de materiales sólidos para la obtención de composites, o simplemente como fuente de energía, entre otros.<sup>(10, 11)</sup>

El objetivo de esta investigación es precisar a través de diseño de experimento, las variables experimentales que influyen en la pirólisis del aserrín de las maderas ecuatorianas Teca, Fernán Sánchez y Guachapelí, y sus valores más favorables para alcanzar mayores rendimientos en este proceso, de modo que permita elucidar un procedimiento experimental para la obtención de biocarbones, así como la caracterización de los mismos.

## **Materiales y métodos**

### **Toma de muestra**

Las maderas Teca, Fernán Sánchez y Guachapelí fueron adquiridas en el Centro de Comercialización de Portoviejo, Manabí, República del Ecuador. Las muestras objeto de estudio se escogieron en forma de pequeños trozos durante un mes, en particular los días 1, 10, 20 y 30. Estos trozos fueron transportados hasta el laboratorio BIOLAB de la Universidad Carlos III, en España, en donde fueron triturados, tamizados y homogenizados.<sup>(4, 12)</sup>

### **Obtención de biocarbones**

Para estudiar el proceso de descomposición pirolítica del aserrín de las maderas ya referidas, se aplicó un diseño de experimento factorial fraccionado de cribado 2<sup>2</sup> con tres puntos centrales, utilizando el software *Statgraphics, Centurion XV*.<sup>(13)</sup>

Las variables independientes son el tiempo y la temperatura, y la variable respuesta es el porcentaje de masa volatilizada, calculada a partir de la diferencia entre la masa inicial y la masa final para cada experimento de pirólisis. En la tabla 1 se asignan los límites de las variables de trabajo.

**Tabla 1-** Límites de los niveles de las variables independientes en el Diseño Experimental aplicado

Factores	Bajo	Alto	Unidades	Continuo
Temperatura	400	600	Grados centígrados	Sí
Tiempo	45	90	minutos	Sí

### **Diseño Base**

Número de factores experimentales: 2

Número de bloques: 1

Número de variables respuestas: 1

Número de corridas: 7, incluyendo 3 puntos centrales por bloque

Grados de libertad para el error: 3

El orden de los experimentos ha sido aleatorizado, lo que aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

Para la pirólisis se utiliza un horno tubular y como atmósfera inerte nitrógeno. Uno de los biocarbones obtenidos (el más favorable según diseño de experimento) es almacenado para su posterior caracterización.

## **Métodos de caracterización de materiales carbonosos**

### **Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)**

El estudio de microscopía fue realizado en un equipo modelo Quanta 200 FEI con régimen de trabajo a 20 kV. Las muestras fueron recubiertas con una capa fina de una aleación de oro/paladio. Acoplado a este equipo, existe un detector de Espectrometría de Dispersión de Rayos X (EDX), el cual nos ofrece información sobre la distribución de los elementos en la superficie de la biomasa.

### **Espectroscopia Infrarroja (FT-IR)**

Los espectros infrarrojos se registraron entre  $4\,000\text{ cm}^{-1}$  y  $400\text{ cm}^{-1}$  en un ATR-FTIR modelo Perkim Elmer FTIR BX. Las datas fueron procesadas para la confección de los gráficos con el software Origin 6.1.<sup>(14)</sup>

## **Difracción de Rayos X (DRX)**

Los difractogramas se obtuvieron en muestras preparadas en polvo, en un espectrómetro de rayos X modelo Rigaku-Geigerflex. Se utilizó la radiación Cu-K $\alpha$  (0,154 0 nm), con filtro de Ni y monocromador de grafito. La tensión y corriente del filamento generador fueron de 40 kV y 25 mA, respectivamente. Los difractogramas fueron registrados a un paso de 0,02° y a una velocidad de goniómetro de 2°/min entre 5 y 80° (2 $\theta$ ). Para la confección de los gráficos se utilizó el software Origin 6.1.<sup>(14)</sup> Para la identificación de las fases se utilizó el programa Hihg Score.

## **Resultados y discusión**

En esta investigación inicialmente se procede a precisar los parámetros experimentales para la obtención del biocarbón, a través de diseño de experimento, y posteriormente se procede a caracterizar el mismo.

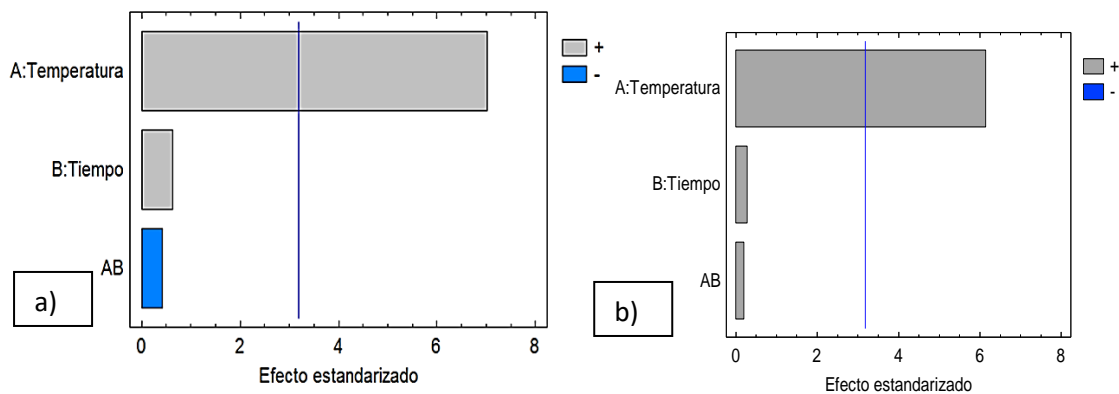
## **Diseño de experimento**

La tabla 2 muestra el análisis de varianza para cada uno de los efectos principales en los diseños aplicados a las maderas Teca y Fernán Sánchez. Se demuestra, para ambas maderas, que la temperatura es el único factor que afecta significativamente la variable respuesta, teniendo valores -P menor que 0,05 con un nivel de confianza del 95,0 %.

**Tabla 2-** Análisis de varianza para masa

	Cuadrado medio		Razón-F		Valor-P	
	Teca	Fernán Sánchez	Teca	Fernán Sánchez	Teca	Fernán Sánchez
A:Temperatura	73,746 9	58,082 7	49,36	37,79	0,005 9	0,008 7
B:Tiempo	0,600 3	0,128 0	0,40	0,08	0,571 2	0,791 7
AB	0,259 1	0,061 1	0,17	0,04	0,705 1	0,854 7
R-cuadrada %	94,332 7	92,668 1				
R-cuadrada (ajustada por g.l.) %	88,665 4	85,336 2				

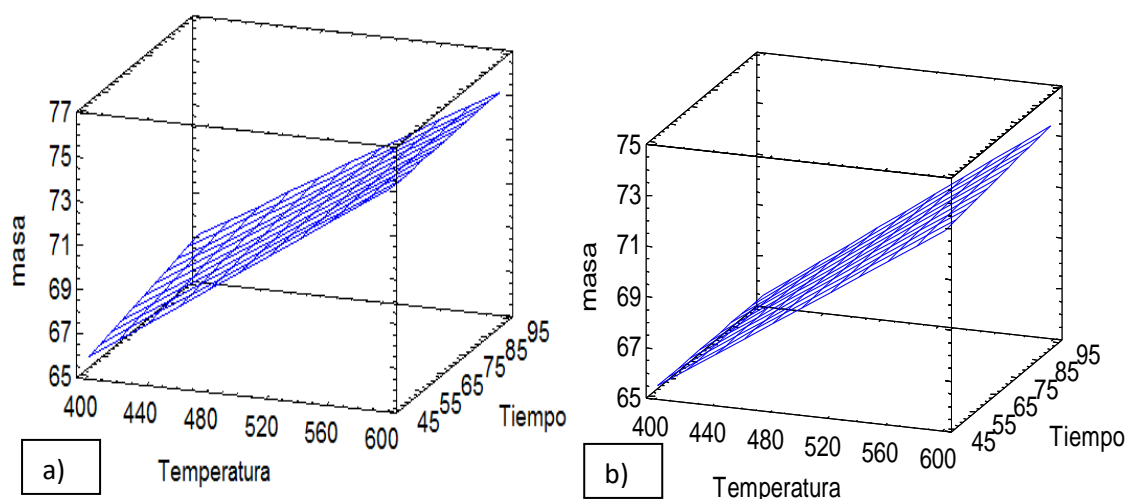
El diagrama de Pareto muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de magnitud. La longitud de cada barra es proporcional al efecto estandarizado, lo que es equivalente a calcular un estadístico-t para cada efecto. En este caso, solo la temperatura es significativa para ambos análisis (figura 1), lo que coincide con lo reflejado anteriormente.



**Fig. 1-** Diagrama de Pareto para: a) Teca y b) Fernán Sánchez

Al observar los diagramas de superficie de respuesta (figura 2), se demuestra la mayor influencia de la temperatura con respecto al tiempo, sobre la variable respuesta. De estos diagramas podría inferirse la necesidad de estudiar intervalos de temperatura superiores a 600 °C, pero es ampliamente conocido en la literatura que pirolizar a temperaturas superiores a esta, incrementa las pérdidas del carbón por volatilización del mismo.



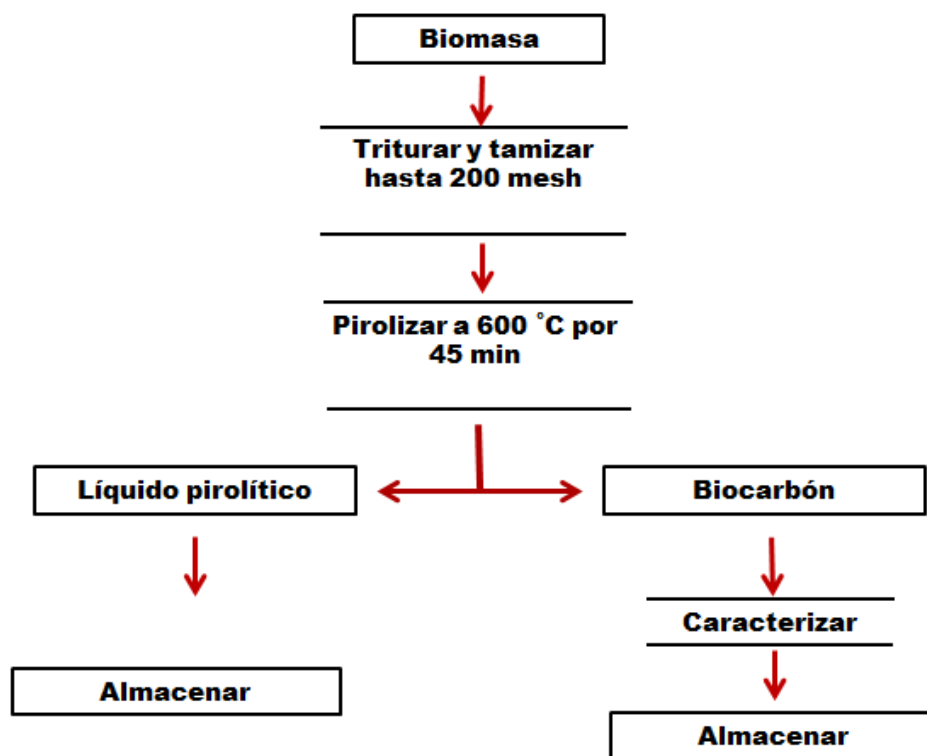


**Fig. 2-** Diagrama de superficie de respuesta para: a) Teca y b) Fernán Sánchez

Las expresiones matemáticas /1/ y /2/ constituyen el modelo ajustado precisado al aplicar el diseño:

$$\begin{aligned} \text{masa}_{\text{Teca}} &= 44,3458 + 0,0506 \cdot T & /1/ \\ \text{masa}_{\text{F.S.}} &= 51,5648 + 0,0344 \cdot T & /2/ \end{aligned}$$

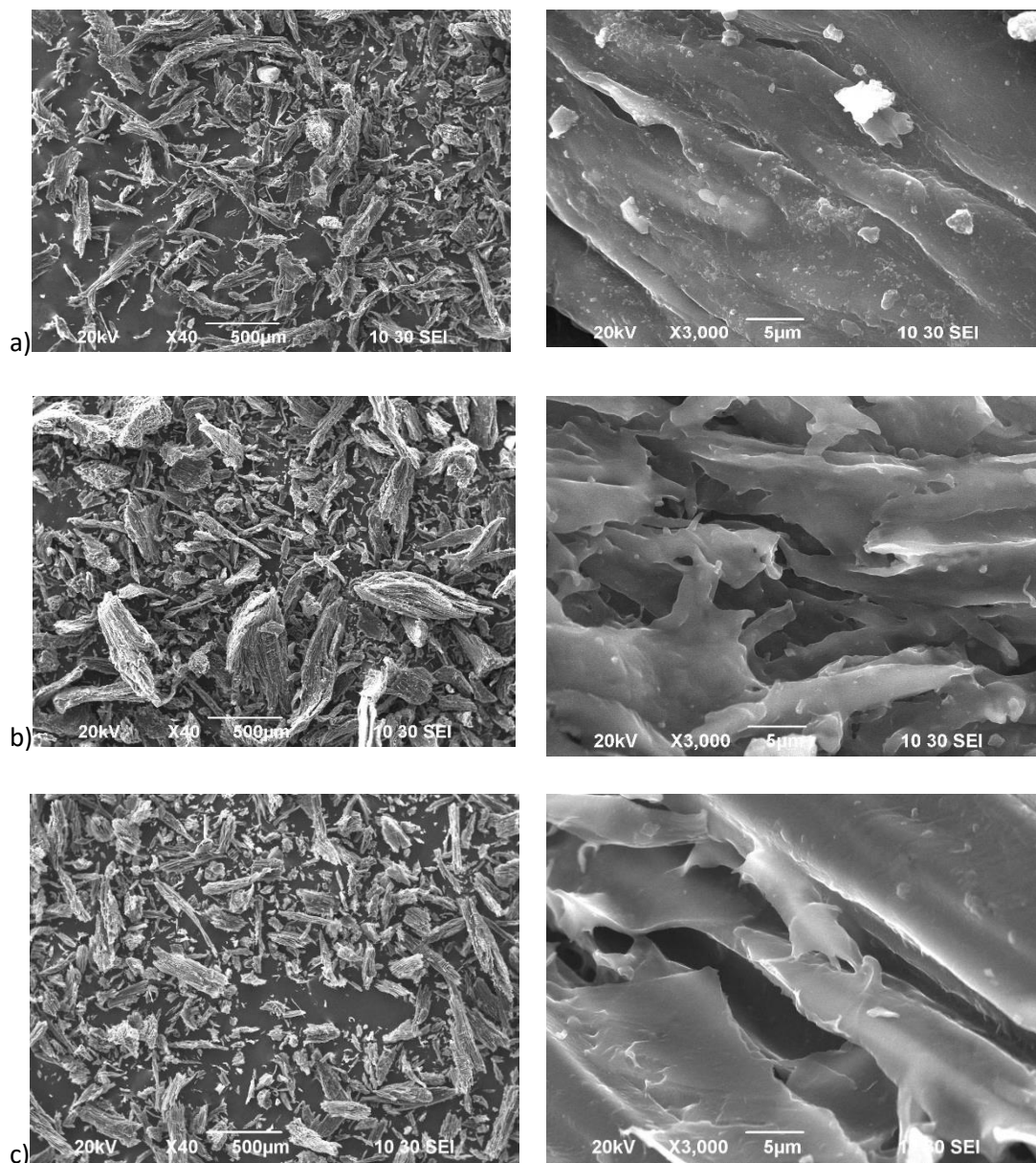
Debido al comportamiento análogo de los resultados del análisis estadístico para Teca y Fernán Sánchez, se propone un único diagrama de flujo para la obtención de los biocarbones, el que se hace extensivo para el biocarbón de la madera Guachapelí (figura 3). Lo anterior se justifica porque las tres maderas muestran comportamientos similares antes, durante y después de pirolizar, y porque desde el punto de vista del escalado tecnológico, es más favorable.



**Fig. 3-** Diagrama de flujo para la obtención de biocarbones a partir de las maderas estudiadas

### **Caracterización de los biocarbones por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y Espectrometría Dispersiva de Rayos X (EDX)**

Las micrografías de los biocarbones obtenidos para Teca a), Guachapelí b) y Fernán Sánchez c) se muestran en la figura 4. En las mismas se aprecia un cambio en la morfología superficial de las microfibras, con relación a las maderas, lo que indica la ocurrencia de las reacciones involucradas en la pirólisis. El mayor craqueo pirolítico de las microfibras del carbón procedente de Fernán Sánchez demuestra la menor dureza de esta madera, aspecto que fue relacionado con el más alto contenido de oxígeno, identificado a través del análisis elemental de las maderas <sup>(12)</sup>, que refiere una composición enriquecida en carbohidratos, lo que favorece una mayor degradación a estructuras más sencillas, durante el proceso de termoconversión.

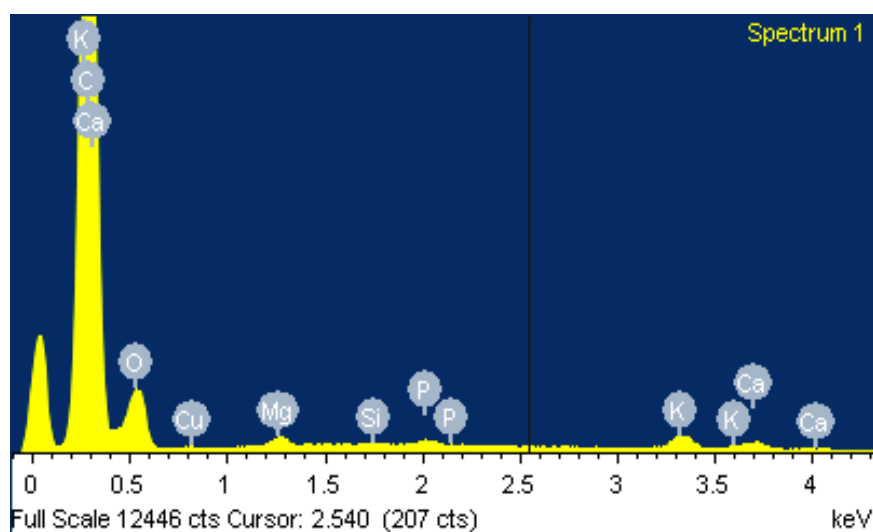


**Fig. 4-** Micrografía con diferentes resoluciones de los biocarbones obtenidos a partir de a) Teca, b) Guachapelí y c) Fernán Sánchez

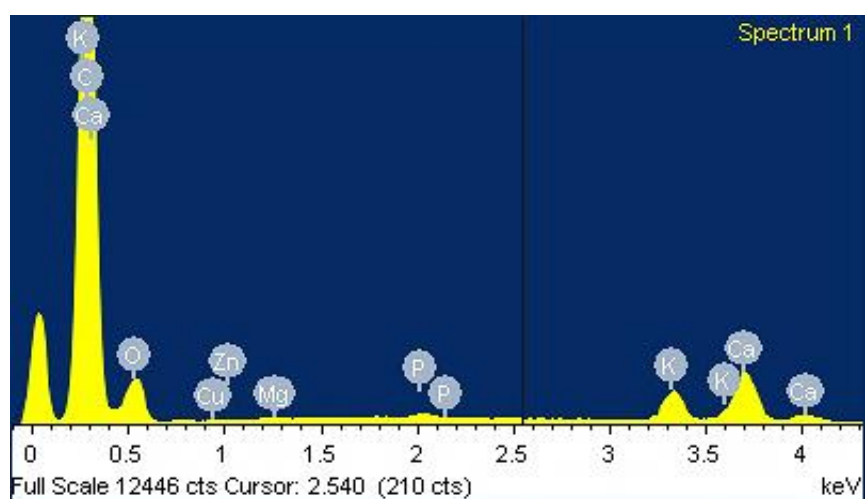
En las figuras 5-7 se distinguen las líneas  $K\alpha$  y  $K\beta$  de los principales elementos detectados por EDX, y que se cuantifican en la tabla 3 para los biocarbones obtenidos.

Por esta técnica solo se determina el contenido de elementos con número atómico mayor que el boro (B), por eso no se registran líneas de hidrógeno. En el caso del biocarbón de Teca, se vuelve a identificar restos de silicio, de manera similar a su madera, lo que se explica por los suelos arenosos en que se desarrolla esta especie. Los componentes inorgánicos corresponden a las cenizas. La presencia de potasio y calcio son de importancia significativa cuando el

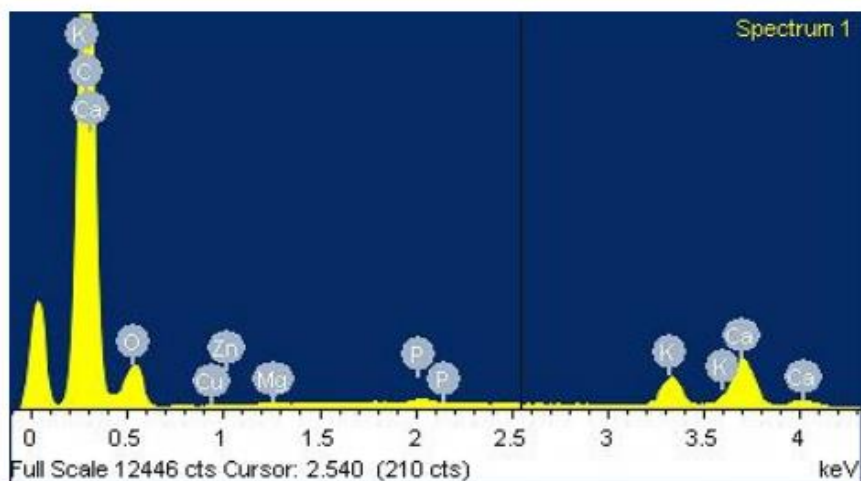
biocarbón obtenido es utilizado como remediador de suelos, debido a que estos minerales son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.



**Fig. 5-** Principales elementos químicos detectados por EDX para el biocarbón procedente de Teca



**Fig. 6-** Principales elementos químicos detectados por EDX para el biocarbón procedente Fernán Sánchez



**Fig. 7-** Principales elementos químicos detectados por EDX para el biocarbón procedente de Guachapeli

En la tabla 3 se cuantifican los contenidos de carbono y oxígeno para los biocarbones obtenidos, los que difieren a los detectados en las biomásas estudiadas.

**Tabla 3-** Análisis composicional por EDX de los biocarbones procedentes de Teca, Guachapeli y Fernán Sánchez

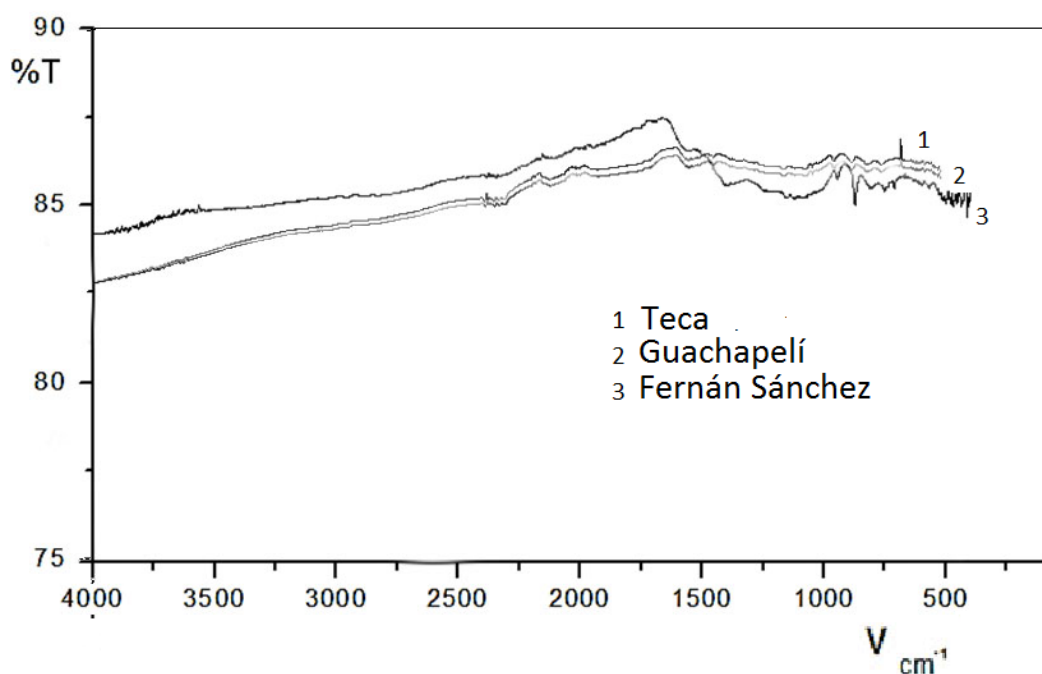
Elemento	Fernán Sánchez	Teca	Guachapeli
C	81,10	83,63	67,84
O	14,22	14,86	11,25
Mg	0,05	0,25	-
Si	-	0,05	-
P	0,17	0,15	-
K	1,42	0,51	12,31
Ca	2,49	0,27	1,37
Cu	0,29	0,29	4,14
Zn	0,26	-	2,79

Pinedo reportó % C y % O de 80,48 % y 13,54 %, respectivamente, para carbones activados modificados químicamente <sup>(15)</sup>, que resultan similares a los biocarbones obtenidos. La relación estequiométrica C:O 5:1 para estos biocarbones demuestran la efectividad de la pirólisis y el mayor contenido de carbono, aspecto que garantiza el mayor poder calórico del

mismo. La composición elemental inorgánica de las cenizas es un aspecto no abordado con anterioridad. EDX corrobora una menor diversidad de cationes presentes en la misma.

### **Caracterización de los biocarbones por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FT-IR)**

La figura 8 muestra los espectros FT-IR para los biocarbones obtenidos a partir de las especies forestales estudiadas. De forma general, desaparecen las bandas características de los constituyentes fundamentales de la biomasa, lo que indica la degradación del material durante la pirólisis. En el intervalo de frecuencias entre  $3\,700\text{ cm}^{-1}$  y  $3\,590\text{ cm}^{-1}$ , no se identifican los picos correspondientes a enlaces O-H. Su desaparición se atribuye a la pérdida de agua debido a las temperaturas alcanzadas en el proceso. Los enlaces O-H ( $3\,200\text{--}3\,000\text{ cm}^{-1}$ ) y CH ( $3\,100\text{--}3\,000\text{ cm}^{-1}$ ) atribuidos a la hemicelulosa, celulosa y lignina, tampoco se observan, lo que permite inferir que a las temperaturas alcanzadas existe una cierta degradación de los componentes presentes en la madera, corroborado por la no existencia de sus picos representativos.



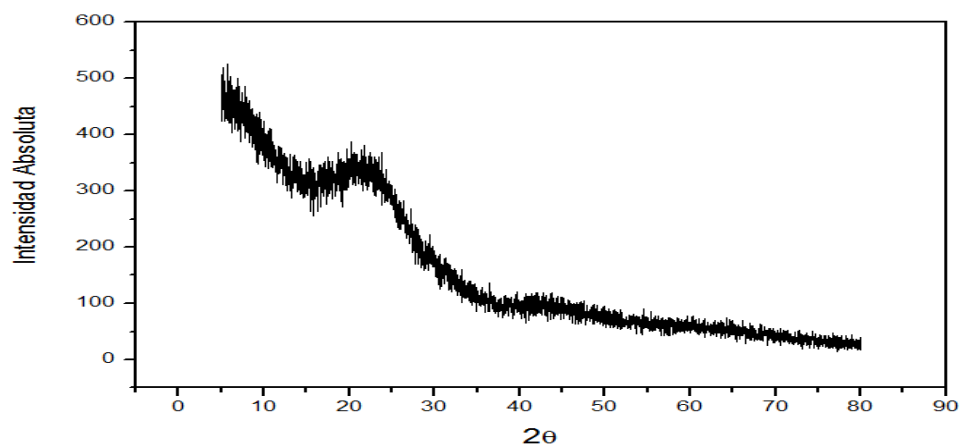
**Fig. 8-** Espectro FT-IR de biocarbones de Teca, Guachapelí y Fernán Sánchez

Las pequeñas vibraciones encontradas entre  $1\,750\text{--}1\,650\text{ cm}^{-1}$  muestran la deformación axial del carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) de ácidos, aldehídos y cetonas, formados, principalmente, por la disociación de celulosa y hemicelulosa.<sup>(16)</sup> En el rango entre  $1\,600\text{--}1\,580\text{ cm}^{-1}$  se encuentran pequeñas vibraciones asociadas a enlaces aromáticos  $\text{C}=\text{C}$  y  $\text{C}=\text{O}$  asociados a cetonas y quinonas. Los picos representados en el rango de  $1\,400\text{--}1\,000\text{ cm}^{-1}$  corresponden a la lignina, debido a la presencia de anillos del tipo  $\text{C}=\text{C}$ . Estos son algo más pronunciados que los encontrados para la hemicelulosa y la celulosa, lo que demuestra la mayor estabilidad química y térmica de la lignina.<sup>(16)</sup>

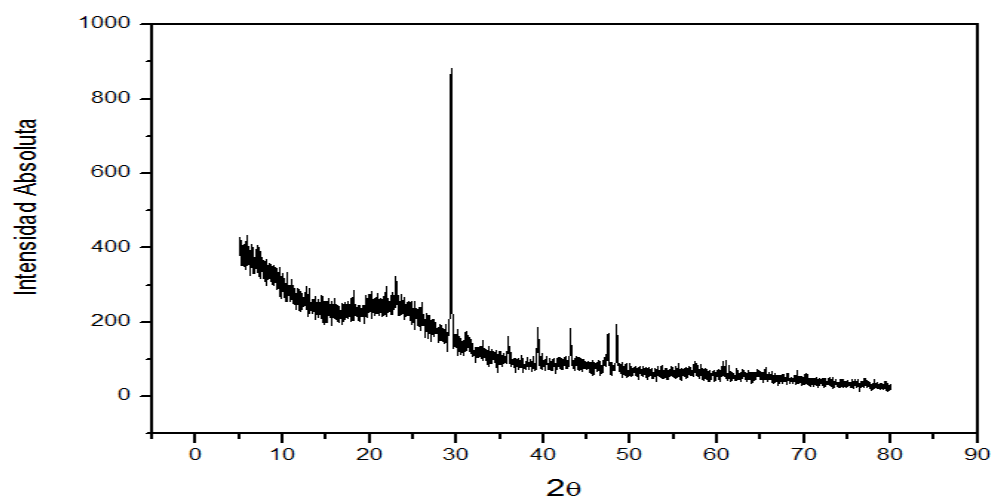
### **Caracterización de los biocarbones obtenidos por Difracción de Rayos X (DRX)**

Una de las características típicas observadas en los biocarbones es el aumento gradual de la aromaticidad al aumentar la temperatura de pirólisis. Las biomásas en su forma general, tienden a sufrir transformaciones estructurales que conducen a la formación de anillos aromáticos al aumentar la temperatura.<sup>(15)</sup>

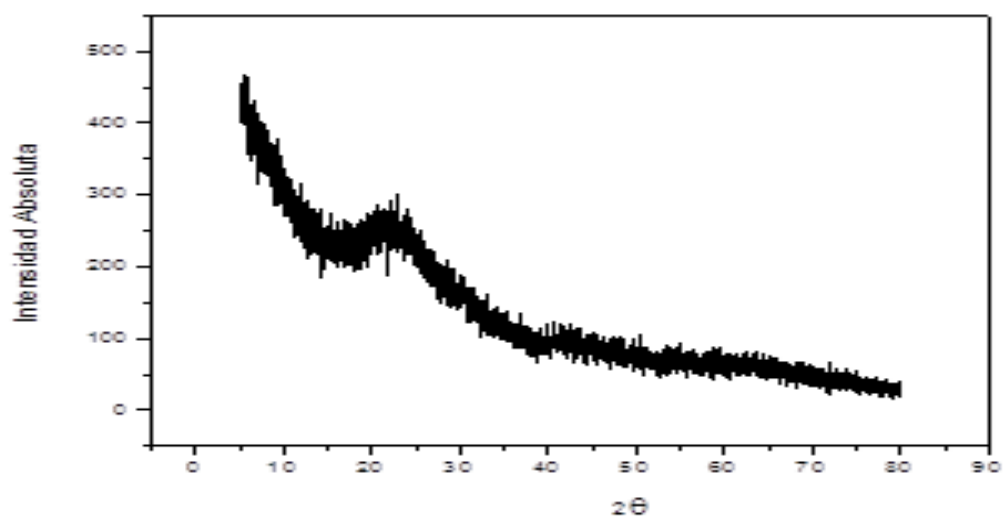
Las figuras 9-11 muestran los difractogramas de los biocarbones obtenidos. Estos corresponden a una estructura amorfa, concordante con lo esperado en un sólido poroso. En las figuras se observan dos picos anchos característicos, los cuales fueron identificados usando la base de datos JCPDS del International Centre for Diffraction Data (ICDD-2007). El pico de menor intensidad ubicado alrededor de los  $44^\circ$  se asigna al plano gráfico  $d_{100}$ , y el de mayor intensidad ubicada alrededor de los  $24^\circ$  se asigna al plano gráfico  $d_{002}$ . Este último se distingue como un pico ancho característico de carbones. Ambos picos son similares a los reportados por Pinedo<sup>(15)</sup> en sus carbones activados modificados. En el difractograma de Fernán Sánchez, la identificación de otros picos a menores a distancia interplanares, hace inferir la presencia de material inorgánico, que puede estar relacionado con la mayor cantidad de cenizas, demostrada por el EDX y análisis inmediato y la presencia de carbonato de calcio.



**Fig. 9-** Difractograma de Teca



**Fig. 10-** Difractograma de Fernán Sánchez



**Fig. 11-** Difractograma de Guachapelí



La utilización eficiente de los recursos y la optimización de los servicios genera, como resultado, menores impactos ambientales y costos operativos más bajos. El uso de residuos forestales tiene un gran valor ambiental y económico, porque posibilita la utilización de grandes cantidades de desperdicios sólidos para la obtención de carbones con diversas aplicaciones, por tanto, le confiere valor de uso, valor agregado.<sup>(17)</sup>

## Conclusiones

El diseño de experimento aplicado demostró, que la temperatura es el único parámetro que afecta significativamente los resultados, y permite proponer un procedimiento experimental para la obtención de los biocarbones. La MEB y el FT-IR de los biocarbones obtenidos demuestran la efectividad de la pirólisis, corroboran la menor dureza de Fernán Sánchez, y el EDX indica una relación estequiométrica de C:O enriquecida en carbono. Los difractogramas de rayos X demuestran la obtención de un carbón grafitico amorfo con cierto grado de porosidad.

## Referencias bibliográficas

1. SEBASTIÁN NOGUÉS, F. G. G.; REZEAU ADELINE. *Energía Renovable. Energía de la Biomasa (I)*. Prensa Universitaria de Zaragoza, 1ra edición, España. 2010. p. 17-160. ISBN 978-84-92774-91-3.
2. MOHAN, D.; PITTMAN, C. U.; STEELE. P. H. "Pyrolysis of Wood/Biomass for bio-oil: A critical Review". *Energy and fuels*, 2006, **20**(3), p. 848-889. ISSN 0887-0624.
3. BALAT, M.; KIRTAY, E.; BALAT, H. "Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems". *Energy Conversion and Management* , 2009, **50**, p3147-3157. ISSN 0196-8904.

4. QUESADA, O.; CANTOS, M.; ALFONSO, F. E. “Guachapelí contra Marabú y la cinética de su pirólisis”. *Revista Cubana de Química*, 2014, **20** (3): p. 8-10. ISSN 2224-5421.
5. SULLIVAN, A. L. “Thermal decomposition and combustion chemistry of cellulosic biomass”. *Atmospheric Environment*, 2012, **47**: p. 133-141. ISSN: 1352-2310.
6. DEMÇIRBA, A.; ARIN, G. “An Overview of Biomass Pyrolysis”. *Energy Sources*, 2002, **24**, p. 471–482. DOI: org/10.1080/009083190948667
7. GRIECO, E.; BALDI, G. “Analysis and modelling of wood pyrolysis”. *Chemical Engineering Science*, 2011, **66**, p 650–660. ISSN 385-8947.
8. HAWASH, S. I.; FARAH, J. Y.; EL-DIWANI, G. “Pyrolysis of agriculture wastes for bio-oil and char production”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2017, **124**, p. 369–372. ISSN 0165-2370.
9. DEMIRBAS, A. “Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, **72** (2): p. 243-248. ISSN 0165-2370.
10. KIM, K. H.; CHO, T. S.; CHOI, J. W. “Influence of pyrolysis temperature on physico chemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*)”. *Bioresource Technology*, 2012. **118**: p. 158–162. ISSN 0960-8524.
11. AZARGOHAR, R.; KOZINSKI, S. N.; DALAI, A. K.; SUTARTO, R. “Effects of temperature on the physico chemical characteristics of fast pyrolysis bio-chars derived from Canadian waste biomass”. *Fuel Processing Technology*, 2014. **125**: p. 90–100. ISSN: 0378-3820.
12. CANTOS-MACÍAS, M. A.; QUESADA-GONZÁLEZ, O. “Cinética de la pirólisis de residuos madereros ecuatorianos”. *Revista Cubana Química*, 2018, **30**(3), p. 400-422. ISSN: 2224-5421.
13. STATGRAPHICS. *Centurion XV, Version 15.2.06*, in *Stat Point*. 2007. Inc. p. Herndon.
14. ORIGIN. *Origin Lab Version 6.1052(B232)*, in *One Roundhouse Plaza*. 2000, Northampton: USA.

15. PINEDO, A. F. Preparación y caracterización de un material compuesto a base de carbón activado y armazones metal orgánicos aplicados en la adsorción de dimetilamina, in Título de Magíster en Ingeniería y Ciencia de los Materiales. 2016, Pontificia Universidad Católica del Perú: Lima. p. 50-90. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6934>
16. FENG, X.; TESFAYE, J. Y.; DOWELL, F.; WANG, D. Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini-review. 2013, USDA-ARS/UNL Faculty. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1227>
17. DEMIRBAS-FATIH, M.; BALAT, M.; BALAT, H. “Potential contribution of biomass to the sustainable energy development”. *Energy Conversion and Management* 2009, 50(7): p. 1746-1760. ISSN 0196-8904.

### **Conflicto de interés**

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

### **Contribución de los autores**

Omaida Quesada González: concepción y diseño metodológico de la investigación, análisis e interpretación de los resultados, escritura, revisión del artículo y respuesta a las observaciones de los árbitros.

Manuel A. Cantos Macías: concepción de la investigación, realización de parte experimental e interpretación de los resultados.

Wendy Lucía Duharte Rodríguez: realización de experimentos y análisis de los resultados.

Josefina Rodríguez: realización experimental e interpretación de los resultados.

Dannis Adrian Cascaret-Carmenaty: realización experimental e interpretación de los resultados y escritura del artículo.