



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA**

**“EFECTO DEL AGENTE QUÍMICO Y TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO  
DE CARBÓN ACTIVADO DE LA CÁSCARA DE LA SEMILLA DE MAMEY**

***(Mammea americana)”***

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. DÍAZ ROJAS YULIANA YASMITH**

**Bach. SOTO CALDERÓN KATTERINE GUISELLA**

**ASESORA:**

**Dra. BLANCA MARGARITA ROMERO GUZMAN**

**LAMBAYEQUE-PERÚ  
2020**



# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

“EFECTO DEL AGENTE QUÍMICO Y TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO  
DE CARBÓN ACTIVADO DE LA CÁSCARA DE LA SEMILLA DE MAMEY  
(*Mammea americana*)”

TESIS  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Monteza Arbulú César Augusto

  
\_\_\_\_\_  
JURADO PRESIDENTE

Dr. Santa Cruz Abraham Ignacio

  
\_\_\_\_\_  
JURADO SECRETARIO

MSc. Benel Fernández Doyle Isabel

  
\_\_\_\_\_  
JURADO VOCAL

Dra. Romero Guzmán Blanca Margarita

  
\_\_\_\_\_  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

### ***A mi Dios:***

*A ti mi Dios que me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa por darme la vida, salud y sabiduría a lo largo del estudio universitario. El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser mi fuente de inspiración y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.*

### ***A mi familia:***

*A mis padres Teresa de Jesús Rojas Montalvo y José Víctor Díaz Torres; quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mi hermana Vanessa por estar siempre presente, acompañándome y brindándome su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida, junto a mi sobrina Karolay.*

*Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levanto cada día para esforzarme más y más por el presente y el mañana, eres mi principal motivo. Muchas gracias mi pequeña Thais.*

### ***A mis mejores amigos:***

*A mis mejores amigas Lorena, Katterine y Flor por todas las experiencias vividas, por las alegrías, tristezas y por apoyarnos durante todo este tiempo, por esa amistad tan especial que espero que dure por siempre; en especial a Estalin por su apoyo incondicional, por creer en mi capacidad, por su comprensión en todo momento.*

**Bach. Yuliana Yasmith Díaz Rojas**

***A mi Dios:***

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida, por ser mi fuente de inspiración, mi fuerza cuando sentíamos que no podríamos lograrlo y por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

***A mi familia:***

*A mis padres Lucy Emilia Calderón Guerrero y Manuel Jesús Soto Vidarte, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.*

*A mis hermanos Cindy, Maggie y Juan por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

***A mis mejores amigos:***

*A mis mejores amigas Flor y Yuliana por todas las experiencias, por las alegrías, tristezas y por apoyarnos durante todo este tiempo, por esa amistad tan especial que espero que dure por siempre; en especial a José por su apoyo incondicional, por creer en mi capacidad, por su comprensión que es el mejor regalo que Dios me ha dado.*

**Bach. Katterine Guissela Soto Calderón**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas.*

*A nuestra asesora Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán por su dedicación y apoyo que, gracias a sus conocimientos, su experiencia y motivación ha logrado que nosotros culminemos esta investigación con éxito.*

*A nuestros jurados Dr. César Augusto Monteza Arbulú, Dr. Abraham Ignacio Santa Cruz y MSc. Doyle Isabel Benel Fernández por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo de investigación, por las sugerencias aportadas y consejos para el perfeccionamiento del mismo.*

*Al Sr. Floriano Saucedo técnico de Laboratorio de fisicoquímica por su inmensa paciencia, por su apoyo y sobre todo por su invaluable colaboración durante la ejecución de esta investigación.*

*Al Dr. Guillermo Ruiz, quien me apoyo en los análisis del producto terminado.*

*A nuestros padres por su apoyo incondicional en todo momento, tanto moral y material durante el desarrollo de esta investigación. Por ser nuestro ejemplo de vida, por promovernos de valores y agradecerles por todo este tiempo acompañándonos hasta lograr cada una de nuestras metas.*

## INDICE

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	5
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABLAS .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
I. MARCO TEÓRICO.....	16
1.1. Antecedentes del problema .....	16
1.2. Base Teórica.....	17
1.2.1. Mamey ( <i>Mammea americana</i> ).....	17
1.2.1.1. Clasificación botánica .....	18
1.2.2. Carbón activado (CA) .....	18
1.2.2.1. Estructura del Carbón activado (CA) .....	19
1.2.2.2. Tipos de carbón activado.....	20
1.2.2.3. Síntesis de carbón activado .....	21
1.2.2.4. Activación .....	22
1.2.2.5. Importancia y uso del carbón activado CA .....	25
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
2.1. Tipo de investigación .....	26
2.2. Variables.....	26
2.2.1. Variable independiente .....	26
2.2.2. Variable dependiente .....	26

2.3.	Población y Muestra.....	26
2.3.1.	Población.....	26
2.3.2.	Muestra .....	26
2.4.	Materiales, reactivos y equipos .....	26
2.4.1.	Materiales de laboratorio: .....	27
2.4.2.	Reactivos.....	27
2.4.3.	Equipos .....	28
2.5.	Métodos.....	28
2.5.1.	Obtención de la muestra.....	28
2.5.2.	Análisis de la Materia Prima: Caracterización.....	28
2.5.3.	Obtención de Carbón Activado.....	31
2.5.4.	Análisis del Carbón Activado .....	32
2.5.5.	Rendimiento de los carbones activados .....	32
2.6.	Análisis de datos estadístico.....	32
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
3.1.	Obtención de la semilla de mamey .....	33
3.1.1.	Identificación de los Grupos Funcionales en la cáscara de la semilla de mamey 34	
3.1.2.	Análisis de la cáscara de la semilla de mamey (CSM) .....	35
3.2.	Análisis del Carbón activado de la cáscara de semilla de mamey obtenido a diferentes temperaturas .....	36
3.2.1.	Con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	36
3.2.2.	Con KOH .....	37
3.2.3.	Determinación de los Grupos Funcionales del Carbón Activado obtenido.....	41
3.2.4.	Rendimiento del Carbón Activado según el tipo de agente químico y temperatura de carbonización .....	53
3.3.	Análisis de los Datos Estadísticos.....	58

3.3.1. Prueba ANOVA para el porcentaje de rendimiento del carbón activado de las cáscaras de semillas de mamey.....	58
IV. CONCLUSIONES .....	59
V. RECOMENDACIONES.....	60
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
VII. ANEXOS .....	66
ANEXO A: Elaboración de carbón activado .....	66
ANEXO B: Análisis de Materia Prima .....	68
ANEXO C: Análisis de producto.....	70

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Fruto de mamey (mammea americana) abierto .....	17
<b>Figura 2</b> Grupos funcionales en la superficie del carbón activado .....	20
<b>Figura 3</b> Algunos tipos de carbón activado disponibles comercialmente.....	21
<b>Figura 4</b> Semillas y cascara de mamey (Mammea americana).....	33
<b>Figura 5</b> Cáscara de semilla de mamey molida .....	33
<b>Figura 6</b> Espectro FTIR de la cáscara de semilla de mamey (CSM) .....	34
<b>Figura 7</b> Carbón activado obtenido de semilla de mamey .....	39
<b>Figura 8</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g .....	41
<b>Figura 9</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g .....	41
<b>Figura 10</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación.....	42
de impregnación 1ml/g .....	42
<b>Figura 11</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g .....	43
<b>Figura 12</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g .....	43
<b>Figura 13</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 1ml/g .....	44
<b>Figura 14</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g .....	45
<b>Figura 15</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g .....	45

<b>Figura 16</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> relación de impregnación 1ml/g .....	46
<b>Figura 17</b> Espectro FTIR del C.A carbón comercial .....	46
<b>Figura 18</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g .....	47
<b>Figura 19</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g .....	47
<b>Figura 20</b> Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g .....	48
<b>Figura 21</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g .....	49
<b>Figura 22</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g .....	49
<b>Figura 23</b> Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g .....	50
<b>Figura 24</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g .....	51
<b>Figura 25</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g .....	51
<b>Figura 26</b> Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH e .....	52
relación de impregnación 1ml/g.....	52
<b>Figura 27</b> Espectro FTIR del C.A carbón comercial .....	52
<b>Figura 29</b> Secado de las cáscaras de semillas de mamey cortadas en la estufa .....	66
<b>Figura 30</b> Molienda de las cáscaras de las semillas de mamey cortadas .....	66
<b>Figura 31</b> Activación de las cáscaras de las semillas de mamey con hidróxido se potasio y ácido fosfórico .....	67
<b>Figura 32</b> Carbón activado de las cáscaras de semillas de mamey.....	67

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación botánica del mamey .....	18
<b>Tabla 2</b> Precursores y tipo de activación .....	22
<b>Tabla 3</b> Análisis de materia prima .....	35
<b>Tabla 4</b> Análisis de carbón activado obtenido con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a 400°C.....	36
<b>Tabla 5</b> Análisis de carbón activado obtenido con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a 600°C.....	36
<b>Tabla 6</b> Análisis de carbón activado obtenido con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a 900°C.....	36
<b>Tabla 7</b> Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a diferentes temperaturas.....	37
<b>Tabla 8</b> Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 400°C.....	37
<b>Tabla 9</b> Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 600°C.....	37
<b>Tabla 10</b> Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 900°C.....	38
<b>Tabla 11</b> Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con KOH a diferentes temperaturas.....	38
<b>Tabla 12</b> Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	53
<b>Tabla 13</b> Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con KOH.....	54
<b>Tabla 14</b> Porcentaje de rendimiento del carbón activado con sus parámetros estadísticos. ...	56
<b>Tabla 15</b> Análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de rendimiento del carbón activado.....	58

## RESUMEN

El mamey (*Mammea americana*) es una fruta de clima tropical, su exquisito sabor ha originado cada vez un mayor consumo generando grandes cantidades de residuos (cáscara, semillas) los cuales son vertidos sin el adecuado control constituyendo un foco de contaminación. El objetivo de esta investigación es dar un valor agregado a estos desperdicios, utilizando la cáscara de la semilla del mamey para la obtención de carbón activado evaluando el efecto del agente químico y la temperatura de carbonización en su rendimiento, para lo cual se procedió a su caracterización, determinándose la humedad, ceniza, materia volátil y contenido de carbón fijo; identificación de grupos funcionales por FTIR. Para la preparación de los carbones activados se usó agentes químicos (Ácido Fosfórico e Hidróxido de Potasio), relación de impregnación de 0,5; 0,75 y 1 ml del agente químico / g del precursor, temperaturas de carbonización de 400, 600 y 900 °C; e identificación de los grupos funcionales en los carbones activados obtenidos por FTIR. Se concluye que la temperatura de carbonización y el agente químico influyen en el rendimiento de carbón activado, es así que a una temperatura de 900°C y como agente químico ácido fosfórico  $H_3PO_4$ , se logra un rendimiento de carbón activado de 72,67 % el cual fue contrastado con el FTIR del carbón activado comercial.

**Palabras claves:** agente químico, rendimiento, carbonización, precursor.

## ABSTRACT

The mamey (*Mammea americana*) is a fruit with a tropical climate, its exquisite flavor has led to increasing consumption, generating large amounts of waste (peel, seeds) which are discharged without adequate control, constituting a source of contamination. The objective of this research is to give an added value to these wastes, using the peel of the mamey seed to obtain activated carbon, evaluating the effect of the chemical agent and the carbonization temperature on its performance, for which we proceeded to its characterization, determining the humidity, ash, volatile matter and fixed carbon content; identification of functional groups by FTIR. For the preparation of the activated carbons, chemical agents were used (phosphoric acid and potassium hydroxide), impregnation ratio of 0.5, 0.75 and 1 ml of chemical agent / g of precursor, carbonization temperatures of 400, 600 and 900 °C; and identification of the functional groups in the activated carbons obtained by FTIR. It is concluded that the carbonization temperature and the chemical agent influence the yield of activated carbon. Thus, at a temperature of 900°C and phosphoric acid H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> as chemical agent, an activated carbon yield of 72,67 % is achieved, which was contrasted with the FTIR of commercial activated carbon.

**Keywords:** Chemical agent, yield, carbonization, precursor, impregnation index.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en el consumo de carbones activados, como agente adsorbente de contaminantes de agua y aire, ha llevado a la investigación de materias primas alternativas, de disponibilidad y bajo precio, para garantizar su producción. Varios residuos de frutas entre ellos cáscaras y semillas han demostrado ser precursores apropiados con este fin. Tal es el caso de las semillas de mamey (*Mammea americana*) los cuales van a constituir parte de los residuos orgánicos. Al respecto varias investigaciones se han realizado para la elaboración de carbón activado (CA) a partir de biomasa, así Delgadillo (2011) preparó y caracterizó CA de pepas de Níspero de palo (*Mespilus communi*) y lo aplicó como material adsorbente de fenol, concluyendo que es un buen precursor para la elaboración de CA, por su bajo contenido de cenizas (0,46 %), elevado contenido de volátiles (81,33 %) y de carbono fijo (15,28%).

Manosalva (2019) obtuvo carbón activado de la cáscara y semilla de moringa (*Moringa oleífera*) con rendimientos de  $65,60 \pm 1,46$  % para la cáscara y  $56,90 \pm 1,37$  % para la semilla, aplicándolos como materiales adsorbentes de ácido acético en solución con una capacidad de adsorción de 1250 mg de ácido acético /g de carbón activado de la cáscara de moringa y 833,33 mg de ácido acético /g de carbón activado de semilla de moringa.

Se formuló el problema de investigación:

¿Cuál es el efecto del agente químico y temperatura en el rendimiento de carbón activado de la cáscara de semilla de mamey (*Mammea americana*)?

Con la hipótesis: El rendimiento del carbón activado a partir de la cáscara de semilla de mamey es afectado por el tipo de agente químico utilizado ( $H_3PO_4$  y  $KOH$ ) y temperatura de carbonización.

Con los objetivos siguientes:

**General:**

Evaluar el efecto del agente químico y temperatura de carbonización en el rendimiento de carbón activado de la cáscara de semilla de mamey (*Mammea americana*).

**Específicos:**

Caracterizar la cáscara de la semilla de mamey (*Mammea americana*).

Optimizar el agente Químico ( $KOH$ ,  $H_3PO_4$ ) y la temperatura de carbonización para la obtención de carbón activado.

Determinar el rendimiento del carbón activado de la cáscara de la semilla de mamey (*Mammea americana*).

Darles un valor agregado a los residuos orgánicos.

## I. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes del problema

Silva (2017) obtuvo carbón activado de residuos agroindustriales (Fibra de Nopal) para la remoción de arsénico en agua de zonas de explotación minera, concluyendo que la temperatura de carbonización es el factor que presenta mayores efectos en la capacidad de adsorción.

Benavente (2018) obtuvo carbón activado a partir de La Lemna Sp. (Lenteja de Agua) por Activación Química, usando como activante  $ZnCl_2$  (cloruro de zinc), concluyendo que este es el método más adecuado.

Manosalva (2019) obtuvo carbón activado de la cáscara y semilla de moringa (*Moringa oleífera*) procedente del Distrito de Jayanca, Lambayeque cuya caracterización dió valores para la ceniza de 11,37% y 12,77% respectivamente, acordes a la norma ASTM. Las muestras se trataron con agente activante ( $H_3PO_4$  al 85%) a una temperatura de 400 °C; obteniendo carbón activado con rendimientos de  $65,60 \pm 1,46\%$  para la cáscara de moringa y  $56,90 \pm 1,37\%$  para la semilla; las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido se determinaron por su capacidad de adsorción, con 1250 mg de ácido acético/g de carbón activado de la cáscara de moringa, 833,33 mg de ácido acético/g de carbón activado de semilla de moringa.

## 1.2. Base Teórica

### 1.2.1. Mamey (*Mammea americana*)

El mamey es un fruto estacional de verano, presente en varios departamentos de la costa peruana. Los meses de mayor producción en el Departamento de Lambayeque se dan en marzo y abril.

El fruto es una drupa de forma ovoide o elipsoidal con un tallo gordo y corto, y una punta discreta en el ápice, mide de 10 a 20 cm de diámetro y pesa entre 600 y 700 gramos. Es un fruto pesado y duro hasta que llega la completa madurez donde se vuelve ligeramente blando. La piel es de color café claro o café grisáceo, amarga, de superficie áspera y corchosa, con pequeñas áreas verrugosas o costrosas esparcida que mide aproximadamente de 3 mm de grueso. Debajo tiene una membrana seca, amarga, astringente, de color blancuzco adherida a la pulpa. La pulpa es carnosa, de sabor y olor muy agradable, tiene un color amarillo claro o anaranjado, contiene de una a cuatro semillas de color café o marrón, ásperas, de forma ovoide o elipsoidal, que mide aproximadamente de 6.25 cm de longitud. (Cedeño y Viteri, 2009, p.6)



**Figura 1**

*Fruto de mamey (mammea americana) abierto*

*Nota. (2020).*

### 1.2.1.1. Clasificación botánica

Según Torres (2007):

**Tabla 1**  
Clasificación botánica del mamey

Clasificación botánica el mamey	
Reino	Plantae
División	Antofitas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Dialipétalas
Orden	Guatiferales
Familia	Guttiferae (Clusiaceae)
Género	<i>Mammea</i>
Especie	<i>americana</i>

*Nota.* Julca y Sánchez (2018)

### 1.2.2. Carbón activado (CA)

Es un material carbonoso, microcristalino y no grafítico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, que se ha sometido a un proceso de activación con gases oxidantes, o bien a un tratamiento con adición de productos químicos, con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere a los CA una alta capacidad adsorbente. (Martínez de Yuso, 2012, p. 4)

“Las propiedades texturales (formadas por intersticios y poros), así como las propiedades químicas superficiales (formadas por grupos funcionales) dependen de la materia

prima, de los tratamientos a los que ésta se haya sometido y del método de preparación”  
(Delgadillo, 2011, p. 10).

### **1.2.2.1. Estructura del Carbón activado (CA)**

El carbón activado (CA) está compuesto por:

Microcristales elementales, y están constituidas por arreglos en dos dimensiones de planos hexagonales de átomos de carbono, pero que no poseen orden cristalográfico en la dirección perpendicular a las láminas, es decir, los planos se encuentran desordenados entre sí, por lo que presentan un elevado porcentaje de la estructura altamente desordenada (Martínez de Yuso, 2012).

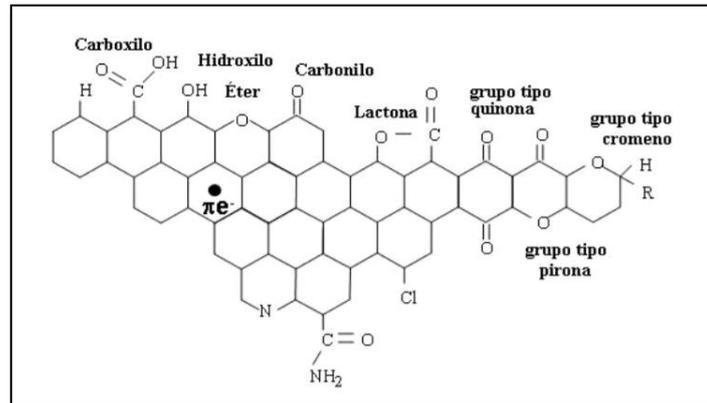
Las propiedades más importantes del carbón activado son:

- Excelente capacidad de adsorción.
- Distribución adecuada de poros.
- Alta resistencia mecánica.
- Alta concentración de sitios activos (grupos químicos que contienen oxígeno u otro tipo de heteroátomos).
- Bajo contenido de material inorgánico o cenizas. (Gómez, Rincón, y Klose, 2010, p.24)

En la figura 2 se exhibe los grupos funcionales más importantes que podrían estar presentes en la superficie del carbón activado.

## Figura 2

### Grupos funcionales en la superficie del carbón activado



Nota. Martínez de Yuso (2012)

#### 1.2.2.2. Tipos de carbón activado

Por el tamaño de los poros se clasifican en tres tipos:

- Microporos: carbón activado con la mayor cantidad de área, esto se debe principalmente a su pequeño diámetro de poro ( $d < 20 \text{ \AA}$ ). Son utilizados en la purificación de gases, el cual adsorbe moléculas muy pequeñas.
- Mesoporos: También conocidos como poros medios, su área es mucho más pequeña en comparación a la de los microporos, el diámetro de poro esta entre  $20 < d < 500 \text{ \AA}$ . Son utilizados en la purificación de líquidos y gracias al tamaño de sus poros adsorben moléculas grandes.
- Macroporos: El área del poro contribuye muy poco al área total del carbón activado, esto se debe a su gran diámetro de poro ( $d > 500 \text{ \AA}$ ). Su importancia radica en que actúan como rutas de acceso a los mesoporos

y microporos, afectando la velocidad de difusión de las impurezas en el carbón. (Montoya y Matute, 2015, pp. 11-12)

Según el tamaño de sus partículas se clasifican en:

- Carbón activado en polvo (CAP): Su tamaño es menor a 100  $\mu\text{m}$ , por lo general oscilan entre 15 y 25  $\mu\text{m}$ .
- Carbón activado granular (CAG): el tamaño oscila entre 1 y 5 mm. Los CAG se dividen en dos clases, carbón activado sin forma y carbón activado con forma definida. (Navarrete et al., 2014, p. 40)

### Figura 3

*Algunos tipos de carbón activado disponibles comercialmente*



Nota. Carrillo y Sánchez (2013)

#### 1.2.2.3. Síntesis de carbón activado

Para la síntesis de carbón activado se necesita de materiales orgánicos ricos en carbono, denominados precursores los cuales son de tipo celulósicos o lignocelulósicos, usados en fase líquida como en fase gaseosa. La textura del carbón activado se ve afectado por el tipo de precursor seleccionado, la textura

es un factor muy importante a la hora de elegir la aplicación final del carbón. También va a ser fundamental en su elección la disponibilidad y el precio del precursor ya que muchos de ellos tienen un valor bajo por ser considerados residuos que no tienen aplicación. También se produce un beneficio medioambiental, ya que permite la valorización de un residuo y su carbonización no contribuye al aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tratarse de un material lignocelulósico. (Salazar y Rodríguez, 2017, p. 44-45)

En la tabla 2 se muestra los precursores más utilizados.

**Tabla 2**  
Precursores y tipo de activación

<b>Precursores</b>	<b>Tipo de Activación</b>
Carbón de leña	Física
Aserrín de madera	Química
Virutas de residuo de resina	Química
Cascara de cocos y nueces	Física
Semilla de frutas	Química
Cascara de arroz	Química
Bagazo de caña	Química
Carbón de turba	Química
Semicoque de turba	Física
Lignito	Física y/o Química
Carbón bituminosos	Física y/o Química
Huesos y conchas	Física

*Nota.* Caracela (2017)

#### **1.2.2.4. Activación**

Salvador, 1999, “La activación es un proceso que busca aumentar el volumen y diámetro de los poros que, de manera natural, se forman previamente en la etapa de

carbonización de la materia prima, provocando inclusive la creación de porosidad adicional” (Citado por Jerez, 2014, p. 32).

- **Activación Física**

La activación física o transformación termoquímica del carbón activado, se realiza en dos etapas, pero también se puede acortar a una sola, en la que ambas etapas ocurren al mismo tiempo de forma paralela. Estas son:

**La carbonización o pirólisis**, consiste en realizar un calentamiento a temperaturas relativamente bajas (400-700 °C) en atmósfera inerte, para romper las uniones entre los átomos de carbono de esta forma se deshidrata el material y se eliminan los compuestos más volátiles, aumentando así la proporción de átomos de carbono y formando una estructura carbonosa.

**La activación**, que puede ser un proceso totalmente independiente al de la carbonización o llevarse a cabo a continuación o en paralelo a ésta, consiste en un tratamiento oxidante a altas temperaturas (800-1100 °C) en presencia de un agente oxidante que reacciona con los átomos de carbono del carbonizado, de esta forma se va produciendo un “quemado selectivo” el cual va perforando progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando el área superficial interna hasta transformarlo en un carbón activado. (González, 2017, p. 25-26).

- **Activación Química**

La activación química consiste en la reacción del agente químico activante con los compuestos químicos presentes en las partículas sólidas del precursor, para ello es muy importante el tiempo de activación, la concentración del agente químico y la temperatura (Molina-Sabio & Rodríguez Reynoso, 2004, p.19).

El proceso se lleva a cabo en dos etapas:

La primera etapa consiste en una impregnación química del material precursor con una disolución concentrada de un agente químico activante. La segunda etapa consiste en someter a la mezcla resultante a un proceso pirolítico, en el cual se produce simultáneamente la carbonización y la activación del material. (González, 2017, p.27)

El carbón activado obtenido se lava para eliminar restos del agente activante, por lo que la porosidad resulta accesible. Los agentes químicos utilizados para el proceso de activación química ( $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $AlCl_3$ ,  $MgCl_2$ ,  $KOH$ ,  $NaOH$ , etc.), los más empleados son  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$  y  $KOH$ . Los dos primeros son agentes deshidratantes que producen un hinchamiento de las partículas durante el proceso de impregnación, ya que la degradación de la celulosa y la lignina esta catalizada por ácidos. Esto supone una disminución de la resistencia mecánica del precursor. Aunque los tres agentes químicos producen un gran desarrollo de la microporosidad, existe una diferencia entre ellos: el agente  $KOH$  produce un ensanchamiento del tamaño de los microporos, el agente  $H_3PO_4$  conduce a una distribución de tamaño de poros más heterogénea. (González, 2017, p.27)

El proceso para la obtención de carbón activado (CA) comprende:

En mezclar el precursor celulósico con el agente químico formando una pasta, el cual es secada y llevada a un horno para ser carbonizado, a una temperatura entre 400 y 600 °C, ocurriendo una deshidratación obteniendo una estructura porosa y una ampliación del área superficial. El producto resultante se lava, para dejarlo tan libre como sea posible del químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar este último. La rentabilidad del proceso radica, en gran medida, en la eficiencia de dicha recuperación. (Manrique, 2013, p.28)

#### **1.2.2.5. Importancia y uso del carbón activado CA**

El CA posee gran capacidad en adsorción de sólidos, vapores y gases, de amplio uso en las industrias químicas, petroquímicas, azucarera, alimenticia y farmacéutica, etc., por su gran eficiencia en la remoción de contaminantes (Navarrete et al., 2014).

Se utiliza en la purificación de agua (potable y residuales), en la disminución del cloro en el agua de proceso que son usados en las bebidas carbonatadas y no carbonatadas, clarificación del jarabe de azúcar, auxiliar en tratamientos de intoxicación, además de retener emisiones gaseosas contaminantes por el cual es considerado como ecomaterial. (Carrasco y Londa, 2018)

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Tipo de investigación**

- De acuerdo al fin que se persigue: Aplicada
- De acuerdo al diseño de investigación: Experimental

### **2.2. Variables**

#### **2.2.1. Variable independiente**

- Temperatura de carbonización.
- Agente químico ( $H_3PO_4$  y KOH).

#### **2.2.2. Variable dependiente**

- Rendimiento del carbón activado (%).

### **2.3. Población y Muestra**

#### **2.3.1. Población**

Frutos de mamey (*Mammea americana*) adquirido del mercado de Modelo de la Ciudad de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.

#### **2.3.2. Muestra**

6 kg de cáscara de semilla de mamey.

### **2.4. Materiales, reactivos y equipos**

Material orgánico: Cáscara de la semilla de mamey (*Mammea americana*).

#### **2.4.1. Materiales de laboratorio:**

- Fiolas de 2000 ml, Clase A
- Cuchillos
- Bandeja de aluminio
- Pinzas de metal.
- Colador
- Crisoles de material refractario
- Placas Petri
- Cápsulas
- Vasos de precipitado de 50, 100, 200 mL
- Matraces Erlenmeyer de 100, 250 mL
- Pipetas volumétricas
- Varilla de vidrio
- Embudos de vidrio de vástago largo
- Espátula de acero inoxidable
- Pissetas
- Buretas
- Papel filtro
- Cinta de pH

#### **2.4.2. Reactivos**

- Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) AL 50%
- Hidróxido de Potasio (KOH) 50%
- Agua destilada

### **2.4.3. Equipos**

- Estufa Marca Memmert.
- Balanza Digital de 3 dígitos, marca BH-300 Excel.
- Mufla Marca THERMO SCIENTIFIC.
- Espectrofotómetro infrarrojo con Transformada de Fourier, Marca PERKIN ELMER, Modelo Spectrum Two, barrido de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ .
- Desecador con gel de sílice, marca Lab companion.

## **2.5. Métodos**

### **2.5.1. Obtención de la muestra**

Se procedió a pelar los frutos del mamey, retirándose la pulpa y semilla, de esta última se retiró la cáscara.

#### **2.5.1.1. Secado**

La cáscara de la semilla de mamey (CSM) se llevó a una estufa marca Memmert, a una temperatura de 110°C por un tiempo de 12 horas.

#### **2.5.1.2. Molienda**

Se empleó un molino manual para triturar la CSM y quedar apta para los análisis posteriores.

### **2.5.2. Análisis de la Materia Prima: Caracterización**

La determinación de humedad, ceniza, carbón fijo, materia volátil se realizaron por triplicado.

### 2.5.2.1. Humedad

Se determinó en una estufa (Memmert) a 110°C por 2 horas, empleando la norma ASTM D 2867-04 tomando como peso de muestra inicial 1 g CSM. El porcentaje de humedad se llega a calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100$$

**Dónde:**

**h<sub>1</sub>:** Masa inicial de la muestra en g.

**h<sub>2</sub>:** Masa final de la muestra después de la estufa en g.

### 2.5.2.2. Cenizas

Se llevó a cabo empleando la norma ASTM 2866-94. La cual indica que, ya eliminada la humedad de la CSM, se colocan los crisoles abiertos en una mufla a 550°C por 2 horas. Luego de concluido el tiempo, se pesa la muestra y se calcula el porcentaje de cenizas. De acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_c - m_R}{h_1} \times 100$$

**Donde:**

**m<sub>c</sub>:** Masa del crisol con masa de la muestra después de la mufla en g.

**m<sub>R</sub>:** Masa del crisol en g.

**h<sub>1</sub>:** Masa inicial de la muestra en g.

### 2.5.2.3. Materia Volátil

Se desarrolló conforme a la norma ASTM D 3175. Después de eliminada la humedad, la CSM se colocó en crisoles cerrados y se colocó en la mufla, durante 7 min a 950°C. Al concluir el tiempo se sacaron los crisoles, se pesó la muestra y calculamos el porcentaje de materia volátil.

Mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Materia Volátil} = \frac{m_{RH} - m_v}{h_1} \times 100$$

**Dónde:**

**m<sub>RH</sub>:** Masa crisol con muestra Post-humedad en g.

**m<sub>v</sub>:** Masa del crisol con muestra Post-volátiles en g.

**h<sub>1</sub>:** Masa inicial de la muestra en g.

### 2.5.2.4. Carbón fijo

Se obtuvo usando el método ASTM, que consiste en restar a 100 la sumatoria de los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas. El porcentaje de carbón fijo se puede calcular usando la siguiente ecuación.

$$\% \text{Carbón fijo} = 100 - \% \text{Humedad} - \% \text{M. Volátil} - \% \text{Cenizas}$$

### 2.5.2.5. Determinación de grupos funcionales de la cáscara de la semilla de mamey

Se determinó por espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier, usando un espectrofotómetro en el laboratorio de Farmacognosia de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).

### **2.5.3. Obtención de Carbón Activado**

#### **2.5.3.1. Activación Química**

10g de CSM molidas fue mezclada con 5ml de  $H_3PO_4$  (ácido fosfórico) con una relación de impregnación de 0,5: peso de agente químico/ peso de precursor (Rodríguez, 2004) y posteriormente con relaciones de impregnación de 0,75 y 1 (Delgadillo, 2011). De la misma manera se procedió con el KOH, luego las mezclas fueron colocadas en una estufa (marca MEMMERT) a una temperatura de 110°C por 24 horas para la activación química.

#### **2.5.3.2. Carbonización**

Se realizó en una mufla (Marca Thermo Scientific) durante una hora a las temperaturas: de 400, 600 y 900 °C.

#### **2.5.3.3. Lavado**

Las muestras después de la carbonización fueron enfriadas, luego lavadas con ácido (HCl al 5%) o una base (KOH al 5%) dependiendo del agente químico utilizado. Después del lavado con el ácido o con la base las muestras se enjuagaron con agua destilada hasta llegar a un pH de 5 a 7.

#### **2.5.3.4. Secado**

Después del lavado, se procedió a secarla en una estufa a una temperatura de 110°C por 48 horas.

#### **2.5.3.5. Molienda, tamizado y almacenamiento**

Las muestras fueron molidas, tamizados usando una malla N°30 y almacenadas en bolsas Ziploc para los análisis FTIR.

## **2.5.4. Análisis del Carbón Activado**

### **2.5.4.1. Determinación de los grupos funcionales del Carbón Activado**

Se llevó a cabo el análisis en un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier, en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

### **2.5.5. Rendimiento de los carbones activados**

Con el porcentaje de rendimiento podemos determinar si el precursor y el método seleccionado nos proveen de un carbón activado económico. El rendimiento se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso de carbón activado obtenido}}{\text{Peso de cáscara de semilla de mamey empleada}} \times 100$$

## **2.6. Análisis de datos estadístico**

Para el desarrollo de las pruebas estadísticas, se usó el software estadístico IBM SPSS Statistics v.25. Los datos se analizaron mediante el uso de la prueba de Análisis de varianza (ANOVA).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Obtención de la semilla de mamey

**Figura 4**

*Semillas y cascara de mamey (Mammea americana)*



*Nota.* (2020)

**Figura 5**

*Cáscara de semilla de mamey molida*

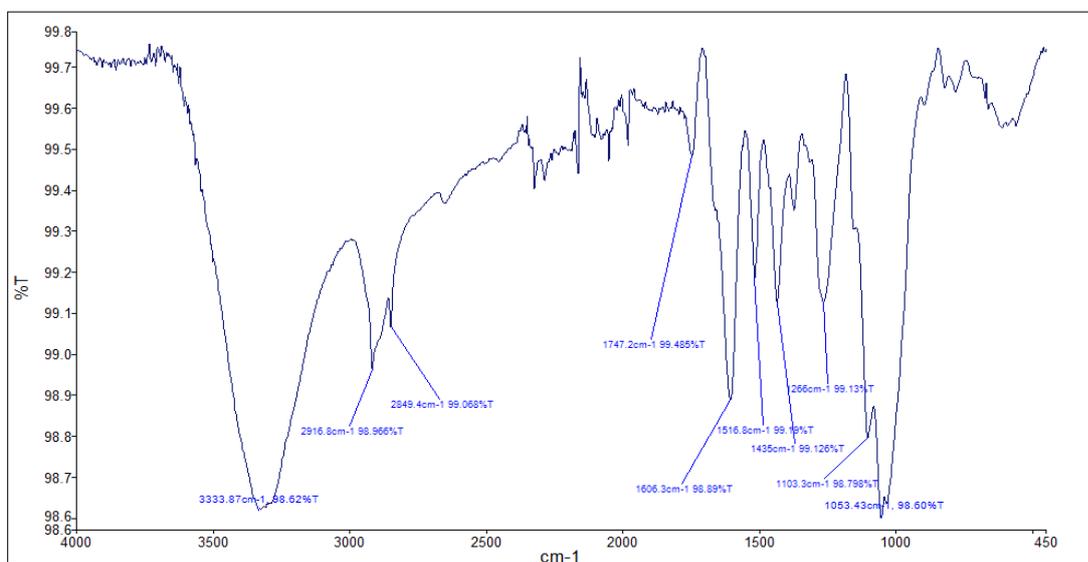


Nota. (2020)

### 3.1.1. Identificación de los Grupos Funcionales en la cáscara de la semilla de mamey

Figura 6

Espectro FTIR de la cáscara de semilla de mamey (CSM)



Nota. Reporte de laboratorio de Farmacognosia-UNT (2020)

La interpretación del análisis de los grupos funcionales de la CSM es la siguiente: estiramiento O-H a 3333.87 cm<sup>-1</sup>, posible presencia de alcohol asociado con puente de hidrógeno; estiramiento H-C sp<sup>3</sup> a 2916.8 y 2849.4 cm<sup>-1</sup>, que corresponde a cadena carbonada saturada; estiramiento que corresponde a grupo carbonilo, C=O, a 1606.3 cm<sup>-1</sup>; ausencia de

estiramiento de H-C sp<sup>2</sup> y H-C sp, H-C aromático. No se observan señales importantes que hagan pensar la presencia de C=C.

### 3.1.2. Análisis de la cáscara de la semilla de mamey (CSM)

En la tabla 3 se muestra que, la CSM posee gran contenido de materia volátil (79,58%) valores cercanos al obtenido por Savova et al. (2001) en una investigación con pepas de cerezas (82,00%) y albaricoque (80,60%). Con respecto al contenido de cenizas(0,43%) fue inferior al obtenido por Savova et al.(2001) con cáscara de almendras (2,3%), Elizalde & Hernández(2007) con semillas de mango (0,58%) y superior al obtenido por Wan, W.M.A. & Wan, W.S.A. (2004) con cáscara de coco (0,1%); el contenido de carbono fijo fue de 14,38%, superior al reportado por Ahmad et al.(2007) con madera de palma aceitera (9,63%) y ligeramente inferior al reportado por Guo & Chong,(2004)con semillas del fruto de la palma aceitera (16,40%) y por Wan, W.M.A. & Wan, W.S.A. (2004) con cáscara de coco (18,60%). Estos resultados, demuestran que cascara de la semilla de mamey es un precursor adecuado para preparar Carbón activado.

**Tabla 3**  
Análisis de materia prima

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	14,64	0,39	5,47	79,47
M2	13,93	0,49	6,12	79,98
M3	14,57	0,41	5,71	79,29
<b>X</b>	<b>14,38</b>	<b>0,43</b>	<b>5,77</b>	<b>79,58</b>
<b>σ</b>	<b>0,391</b>	<b>0,053</b>	<b>0,329</b>	<b>0,358</b>

Nota. (2020)

### 3.2. Análisis del Carbón activado de la cáscara de semilla de mamey obtenido a diferentes temperaturas

#### 3.2.1. Con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

**Tabla 4**

Análisis de carbón activado obtenido con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 400°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	27,58	16,41	15,28	40,73
M2	28,02	17,85	14,68	39,45
M3	23,81	18,75	16,30	41,14
<b>X</b>	<b>26,47</b>	<b>17,67</b>	<b>15,42</b>	<b>40,44</b>
<b>σ</b>	<b>2,314</b>	<b>1,180</b>	<b>0,819</b>	<b>0,882</b>

Nota. (2020)

**Tabla 5**

Análisis de carbón activado obtenido con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 600°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	33,96	11,79	16,23	38,02
M2	35,20	10,45	15,78	38,57
M3	31,94	10,70	17,94	39,42
<b>X</b>	<b>33,70</b>	<b>10,98</b>	<b>16,65</b>	<b>38,67</b>
<b>σ</b>	<b>1,645</b>	<b>0,713</b>	<b>1,140</b>	<b>0,705</b>

Nota. (2020)

**Tabla 6**

Análisis de carbón activado obtenido con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 900°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	46,70	11,97	9,32	32,00
M2	47,73	10,96	10,03	31,27
M3	45,79	11,48	10,82	31,89
<b>X</b>	<b>46,74</b>	<b>11,47</b>	<b>10,05</b>	<b>31,72</b>
<b>σ</b>	<b>0,971</b>	<b>0,505</b>	<b>0,750</b>	<b>0,394</b>

Nota. (2020)

**Tabla 7**

Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
400	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	26,47	17,67	15,42	40,44
600	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	33,70	10,98	16,65	38,67
900	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	46,74	11,47	10,06	31,73
<b>X</b>		<b>35,637</b>	<b>13,373</b>	<b>14,043</b>	<b>36,947</b>
<b>σ</b>		<b>10,273</b>	<b>3,729</b>	<b>3,504</b>	<b>4,604</b>

Nota. (2020)

En la tabla 7: La materia volátil disminuyó cuando se aumentó la temperatura, los valores de cenizas aumentaron con respecto al precursor de acuerdo con Delgadillo (2011) esto puede estar asociado a que el precursor y el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> se forman especies fosfato y polifosfato, que se incorporan a la matriz del carbón a través de enlaces C-O-P y no se eliminan con el proceso de lavado. El carbón fijo incrementó respecto al precursor cuando se aumentó la temperatura. El CA que mostró el valor más alto de carbón fijo fue el obtenido con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a la temperatura de 900°C con porcentaje de 46,74%.

### 3.2.2. Con KOH

**Tabla 8**

Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 400°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	32,4	15,62	8,23	43,75
M2	30,96	16,88	8,68	43,48
M3	32,34	15,86	9,28	42,52
<b>X</b>	<b>31,9</b>	<b>16,12</b>	<b>8,73</b>	<b>43,25</b>
<b>σ</b>	<b>0,815</b>	<b>0,669</b>	<b>0,527</b>	<b>0,646</b>

Nota. (2020)

**Tabla 9**

Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 600°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
---------	-----------------	-------------	-------------	---------------------

M1	43,33	13,43	7,93	35,29
M2	46,46	12,37	6,74	34,41
M3	44,69	12,72	7,91	34,66
<b>X</b>	<b>44,83</b>	<b>12,84</b>	<b>7,53</b>	<b>34,79</b>
<b>σ</b>	<b>1,569</b>	<b>0,540</b>	<b>0,681</b>	<b>0,453</b>

Nota. (2020)

**Tabla 10**

Análisis de carbón activado obtenido con KOH a 900°C

Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
M1	40,59	17,89	7,15	34,37
M2	38,87	18,06	7,43	35,64
M3	41,08	18,83	6,21	33,88
<b>X</b>	<b>40,18</b>	<b>18,26</b>	<b>6,93</b>	<b>34,63</b>
<b>σ</b>	<b>1,569</b>	<b>0,540</b>	<b>0,681</b>	<b>0,453</b>

Nota. (2020)

**Tabla 11**

Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con KOH a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
400	KOH	31,90	16,12	8,73	43,25
600	KOH	44,83	12,84	7,53	34,79
900	KOH	40,18	18,26	6,93	34,63
<b>X</b>		<b>38,97</b>	<b>15,74</b>	<b>7,73</b>	<b>37,56</b>
<b>σ</b>		<b>6,549</b>	<b>2,730</b>	<b>0,917</b>	<b>4,931</b>

Nota. (2020)

En la tabla 11: Se observa que en relación a los CA con KOH, los valores de humedad fueron cercanos al del precursor (5,77%). La materia volátil disminuyó cuando se aumentó la temperatura, los CA obtenidos tuvieron un alto contenido de cenizas que se formaron con el incremento de la temperatura que no se lograron remover con el lavado; y el carbono fijo incrementó respecto al precursor cuando se aumentó la temperatura. El CA que presento el

valor más alto de carbón fijo fue con KOH a la temperatura de 600°C con un porcentaje de 44,83%.

### **Figura 7**

*Carbón activado obtenido de semilla de mamey*



*Nota.* (2020)

Las características de un CA están ligadas fuertemente a la matriz de carbono de la cual proviene. Por lo que, es importante estudiar las propiedades del precursor.

Los precursores lignocelulósicos se caracterizan a través de su contenido de humedad, volátil, cenizas y carbón fijo donde se tiene que la humedad es el agua que retiene el material intrínsecamente en condiciones normales, las cenizas son la fracción de materia inorgánica presente originalmente en el material, los volátiles de fracción de materia orgánica. Y finalmente el contenido de carbón fijo que es el que conformará principalmente el CA (González,2017, p.22).

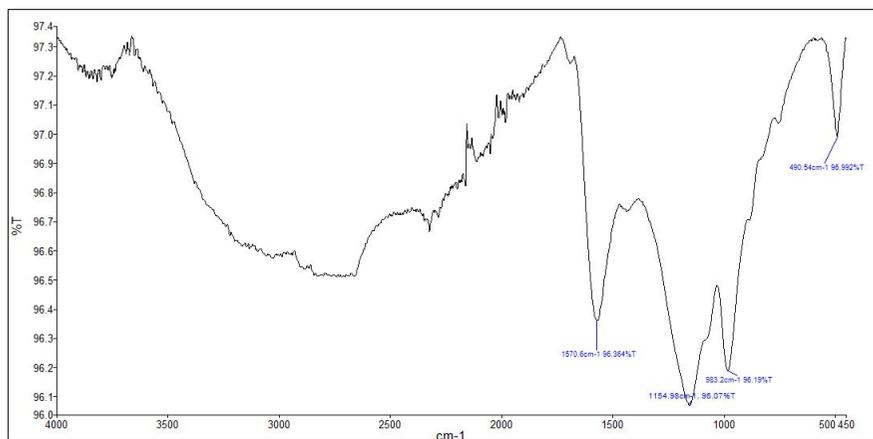
El carbón activado obtenido optimo es el que uso como agente químico  $H_3PO_4$  a una temperatura de 600°C y relación de impregnación de 0,5;cuyo precursor fue la cáscara de semilla de mamey, acorde con lo que refiere (González,2017) “se obtendrá un carbón de alta pureza, aquel precursor que cumpla con ser un sólido microparticulado con humedad <10%, cenizas entre 1 y 3% y porcentaje máximo de volátiles esperados de 60%; Carrasco (2018)

“dentro de los parámetros más importantes un CA debe tener porcentaje de cenizas según la norma ASTM D-2866 de 3-15% y humedad por norma ASTM D -2868 de 2 a 15%, valores cercanos a los obtenidos en esta investigación.

### 3.2.3 Determinación de los Grupos Funcionales del Carbón Activado obtenido

**Figura 8**

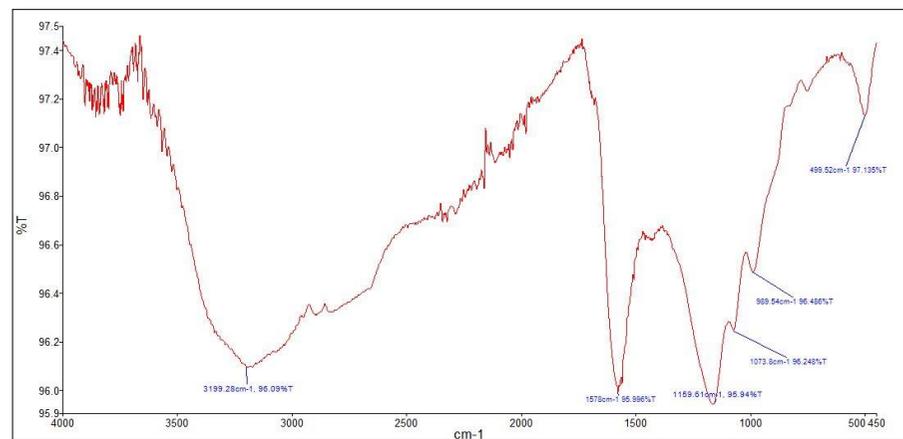
*Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 9**

*Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g*

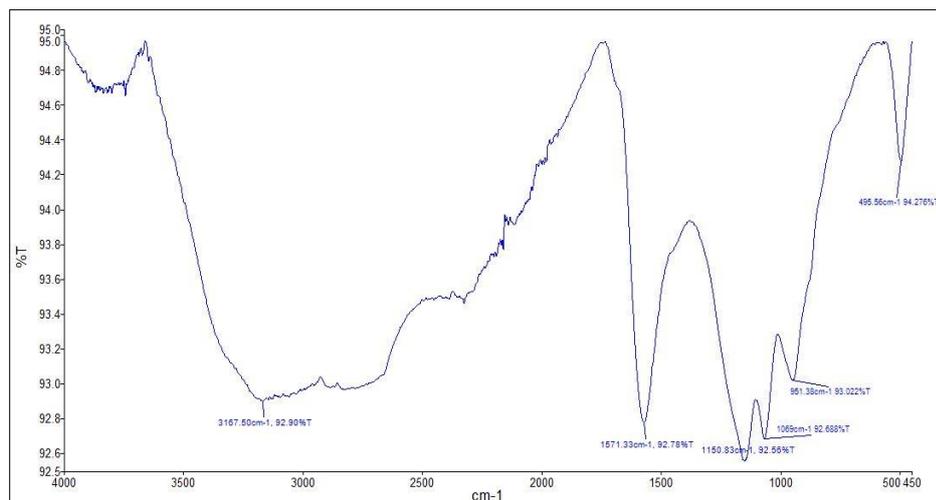


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 8 se observa a 2680 cm<sup>-1</sup> la presencia de mercaptanos (S-H), a 2300 cm<sup>-1</sup> los iones fosfato ((HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>), a 1570.6 cm<sup>-1</sup> aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1154 cm<sup>-1</sup> los sulfatos y sulfoamidas (S=O), a 983 cm<sup>-1</sup> los silicatos y a 490 cm<sup>-1</sup> presencia de cloratos ((ClO<sub>3</sub>)). En la figura 9 se observa a 3199 cm<sup>-1</sup> la presencia de OH, a 1578 cm<sup>-1</sup> las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1159 cm<sup>-1</sup> sulfatos y sulfoamidas (S=O), a 1073 cm<sup>-1</sup> aminas (C-N), a 989 cm<sup>-1</sup> (B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)<sup>-2</sup> y a 499 cm<sup>-1</sup> presencia de cloratos ((ClO<sub>3</sub>)).

### Figura 10

Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico  $H_3PO_4$  relación de impregnación 1ml/g

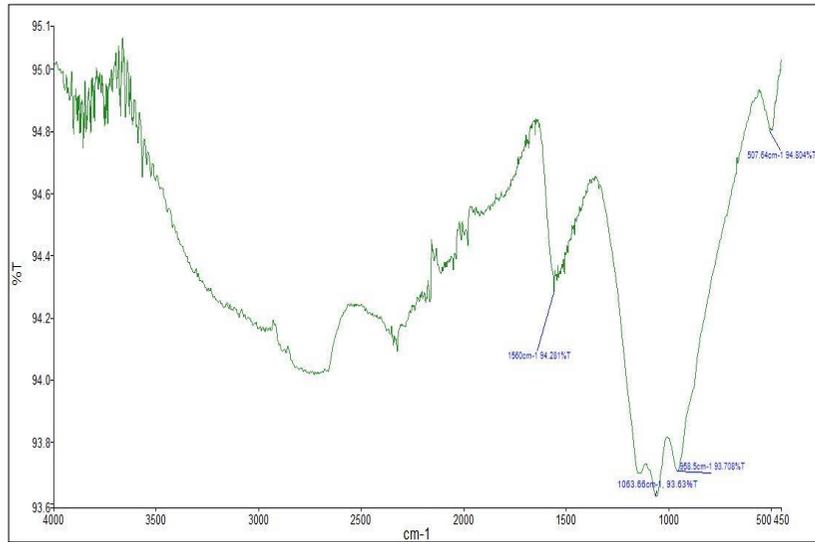


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 10 se observa a  $3167\text{ cm}^{-1}$  la presencia de OH, a  $1571\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1150\text{ cm}^{-1}$  muestra la presencia de sulfatos y sulfoamidas (S=O), el de  $1069\text{ cm}^{-1}$  muestra la presencia de aminas (C-N), el de  $951\text{ cm}^{-1}$  muestra la presencia de  $(HPO_4)^{-2}$  y el de  $495\text{ cm}^{-1}$  muestra la presencia de cloratos ( $(ClO_3)^{-}$ ).

**Figura 11**

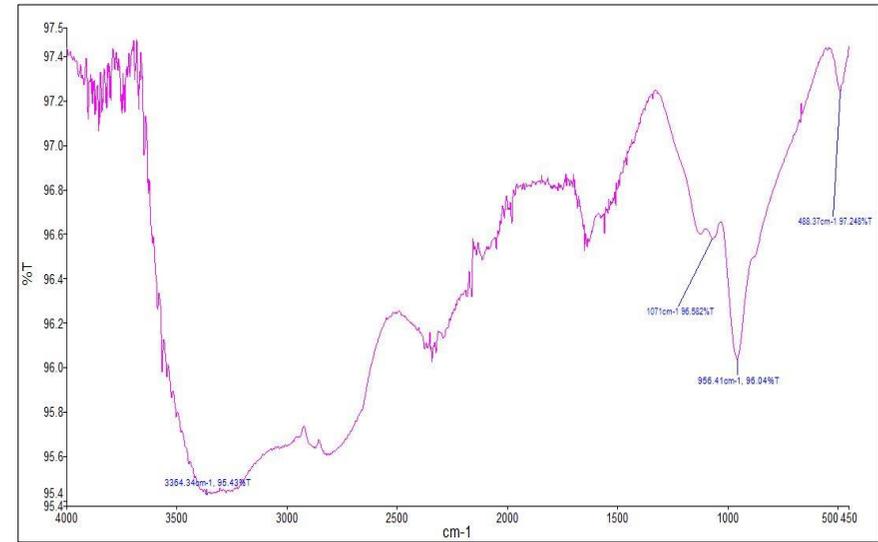
*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia -UNT (2020)

**Figura 12**

*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g*

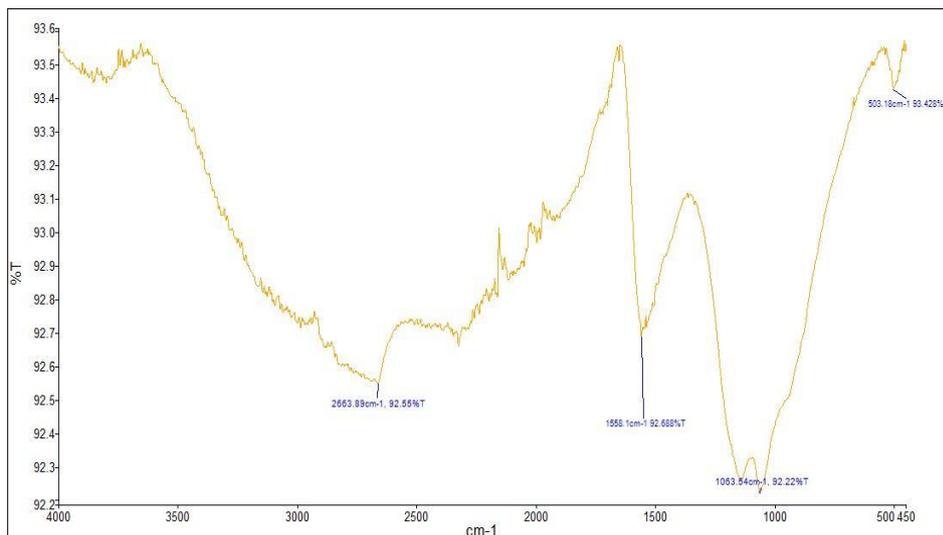


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia -UNT (2020)

En la figura 11 se observa a 2600 cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 2250cm<sup>-1</sup> los nitrilos (C≡N), a 1560 cm<sup>-1</sup> las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1063cm<sup>-1</sup> el ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, a 958 cm<sup>-1</sup> el ion (SO<sub>3</sub>)<sup>-2</sup> y a 507 cm<sup>-1</sup> presencia de cloratos (ClO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>. En la figura 12 se observa a 3364 cm<sup>-1</sup> presencia de OH, a 2300 cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 1600 cm<sup>-1</sup> los alquenos (C=C), a 1071cm<sup>-1</sup> el ion (B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)<sup>-2</sup>, a 955 cm<sup>-1</sup> el ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> y a 488 cm<sup>-1</sup> presencia de cloratos (ClO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>.

**Figura 13**

*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 1ml/g*

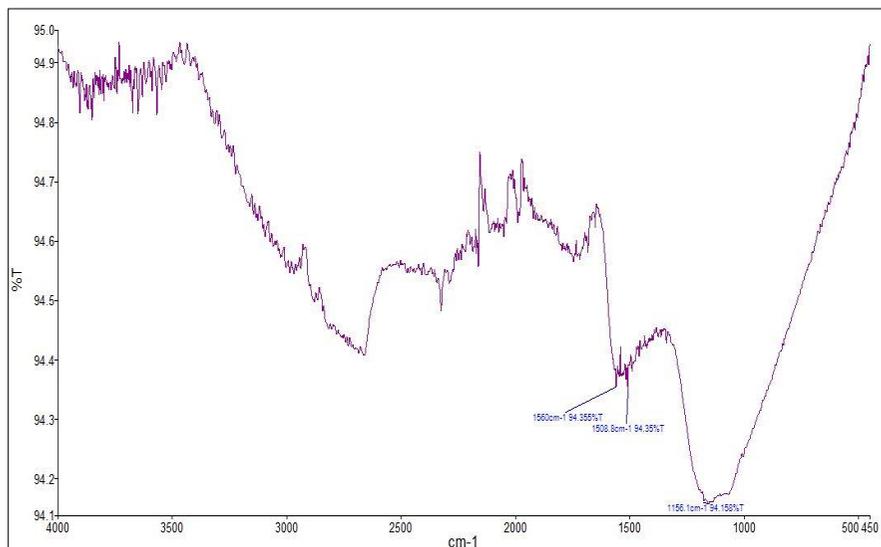


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia -UNT (2020)

En la figura 13 se observa a  $2603\text{ cm}^{-1}$  muestra la presencia de ácidos carboxílicos, a  $1558\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1063\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{HPO}_4)^{-2}$  y a  $503\text{ cm}^{-1}$  presencia de cloratos  $(\text{ClO}_3)^{-}$ .

**Figura 14**

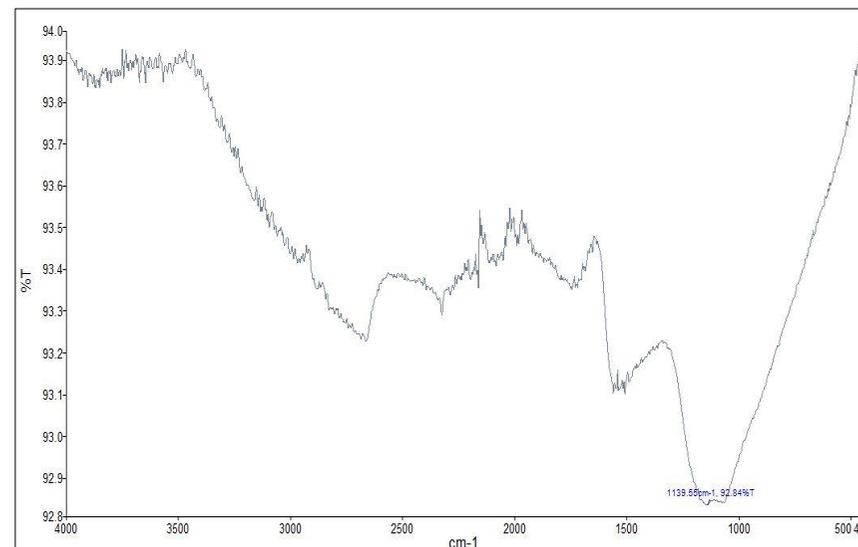
*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 15**

*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 0.75ml/g*

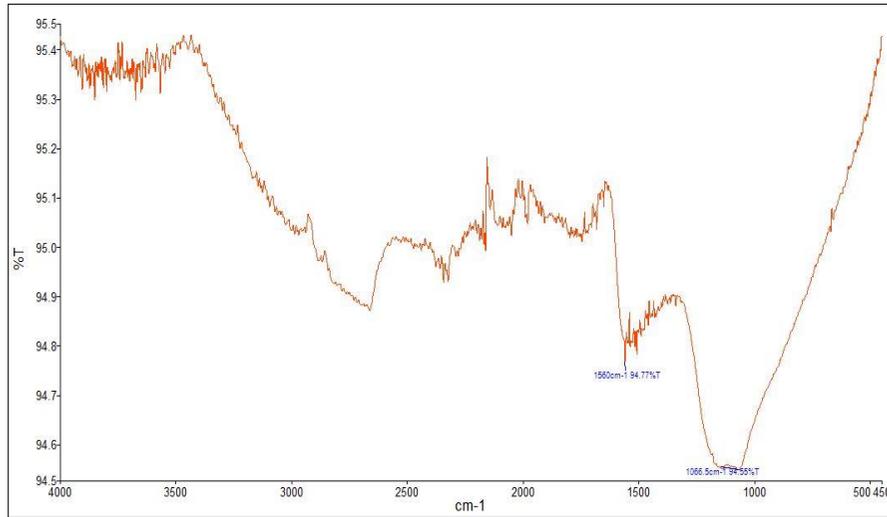


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 14 se observa a 2650 cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 1580 cm<sup>-1</sup> las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1508 cm<sup>-1</sup> enlaces de aromáticos (C=C) y a 1156 cm<sup>-1</sup> presencia de sulfatos y sulfoamidas (S=O). En la figura 15 se observa a 2625cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 2300 cm<sup>-1</sup> el ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, a 1750 cm<sup>-1</sup> enlace del éster (C=O), a 1600 cm<sup>-1</sup> las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1339 cm<sup>-1</sup> presencia de sulfatos y sulfoamidas (S=O).

**Figura 16**

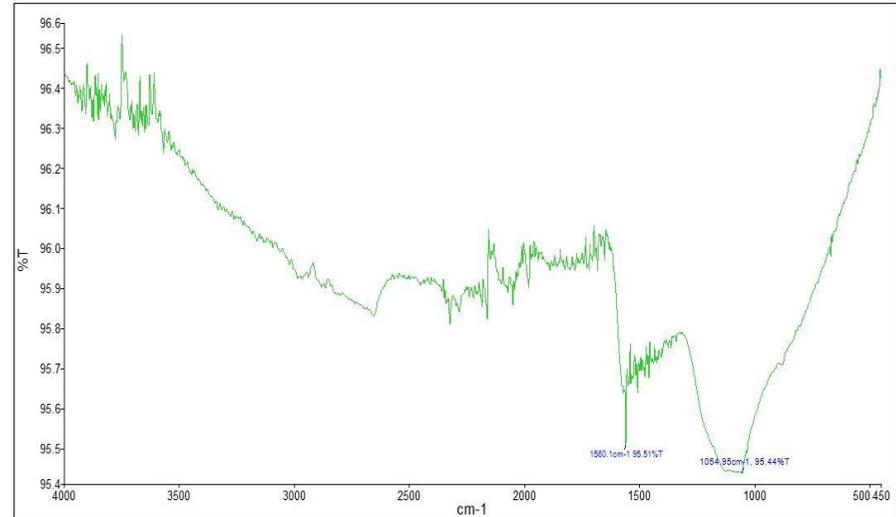
*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> relación de impregnación 1ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 17**

*Espectro FTIR del C.A carbón comercial*

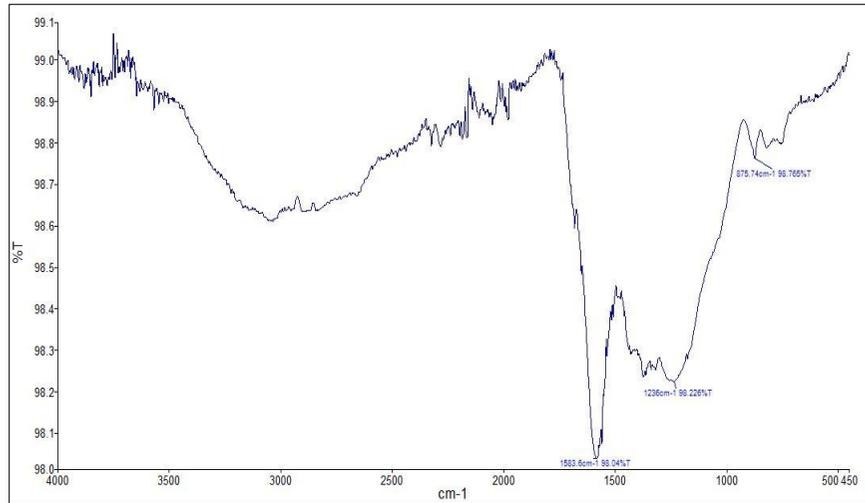


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 16 se observa a 2600 cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 2300 cm<sup>-1</sup> el ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, a 2100 cm<sup>-1</sup> el ion (SCN)<sup>-</sup>, a 1560 cm<sup>-1</sup> las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1066 cm<sup>-1</sup> presencia del ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>. En la figura 17 se muestra el espectro FTIR del carbón activado comercial, a 2650 cm<sup>-1</sup> y a 2400 cm<sup>-1</sup> presencia de ácidos carboxílicos, a 2150 cm<sup>-1</sup> enlaces de alquinos (C≡C), a 2050 cm<sup>-1</sup> el ion (SCN)<sup>-</sup>, a 1990 cm<sup>-1</sup> alquenos, quetanos, isocianatos, isotiocianatos (X=C=Y), a 1560 cm<sup>-1</sup> aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1054 cm<sup>-1</sup> presencia del ion (HPO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>.

**Figura 18**

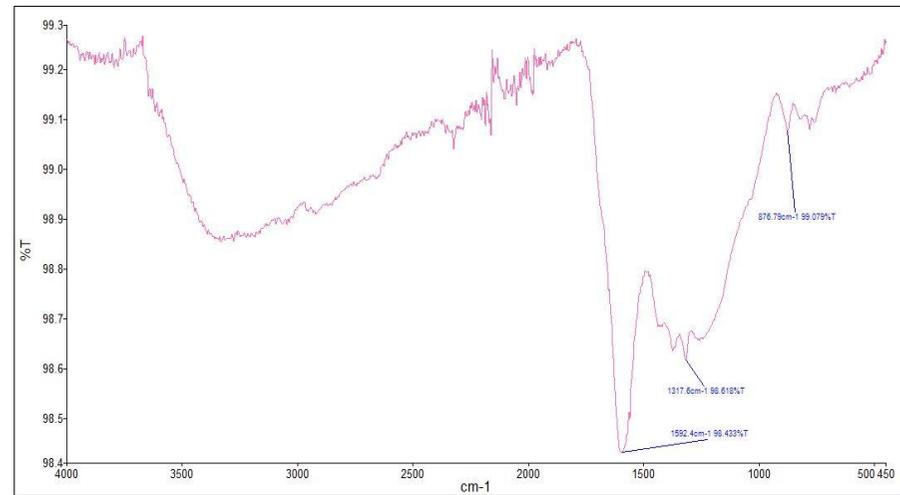
*Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 19**

*Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g*

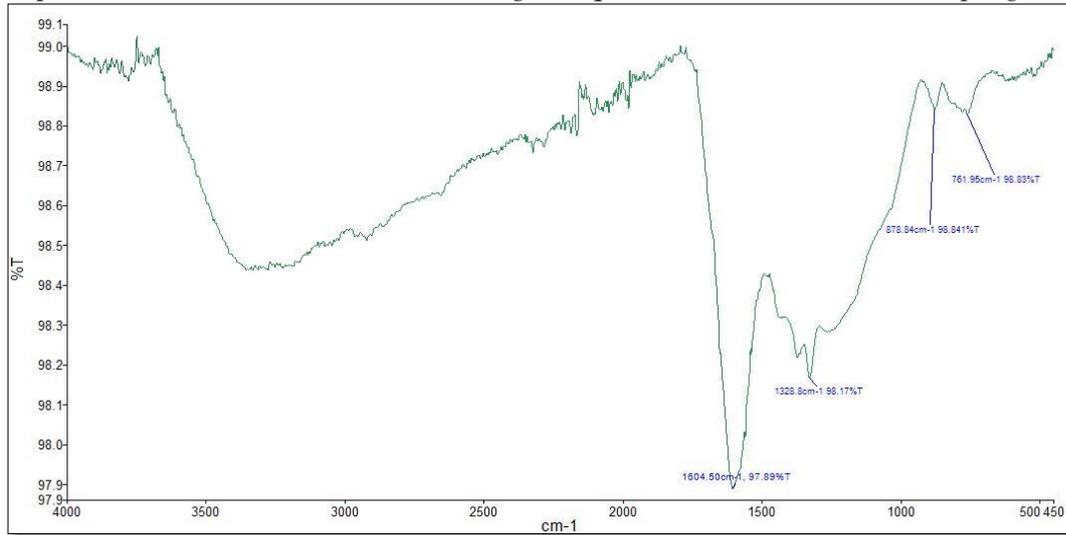


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 18 se observa a  $1563\text{ cm}^{-1}$  presencia de aminos y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1236\text{ cm}^{-1}$  las aminos (C-N) y a  $875\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion  $(\text{CO}_3)^{-2}$ . En la figura 19 se observa a  $1592\text{ cm}^{-1}$  presencia de aminos y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1317\text{ cm}^{-1}$  enlace de las aminos (C-N) y a  $876\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion  $(\text{CO}_3)^{-2}$ .

## Figura 20

*Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g*

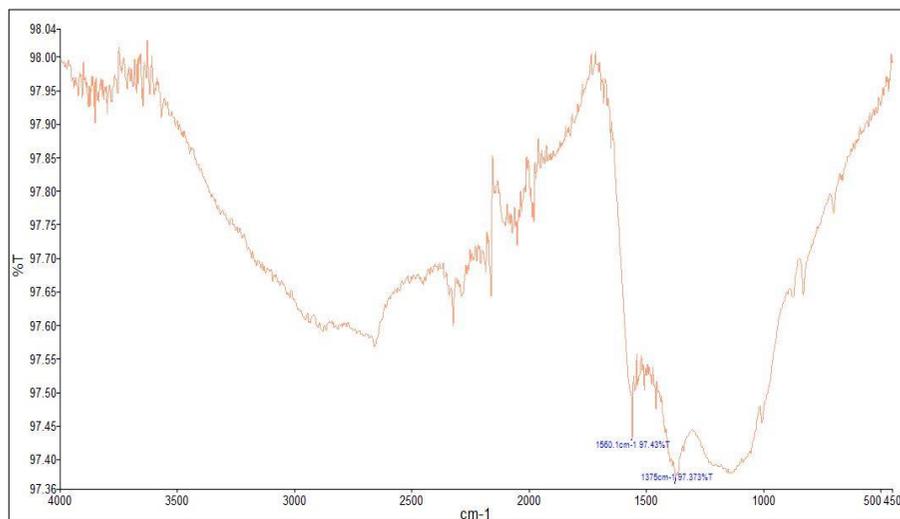


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 20 se observa a  $1604\text{ cm}^{-1}$  presencia de aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1328\text{ cm}^{-1}$  enlaces de las aminas (C-N), a  $878\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{CO}_3)^{2-}$  y a  $761\text{ cm}^{-1}$  la presencia del ion  $(\text{SCN})^-$ .

**Figura 21**

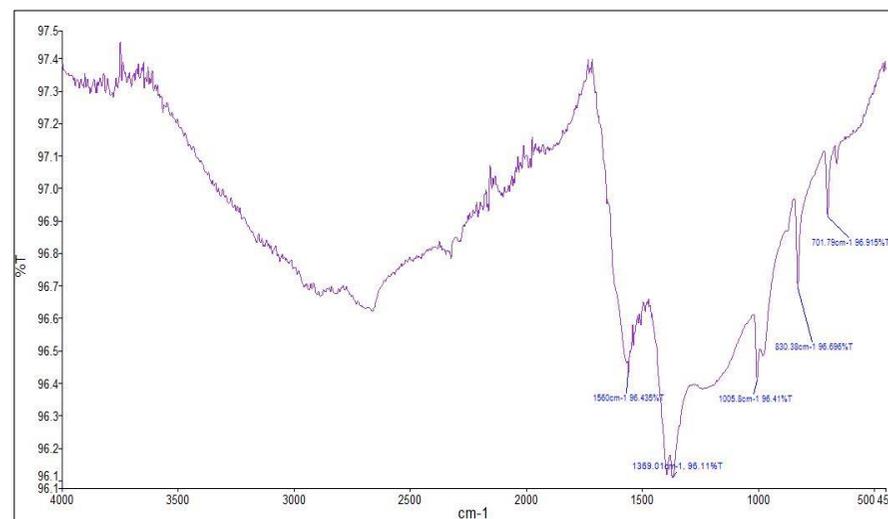
*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 22**

*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g*

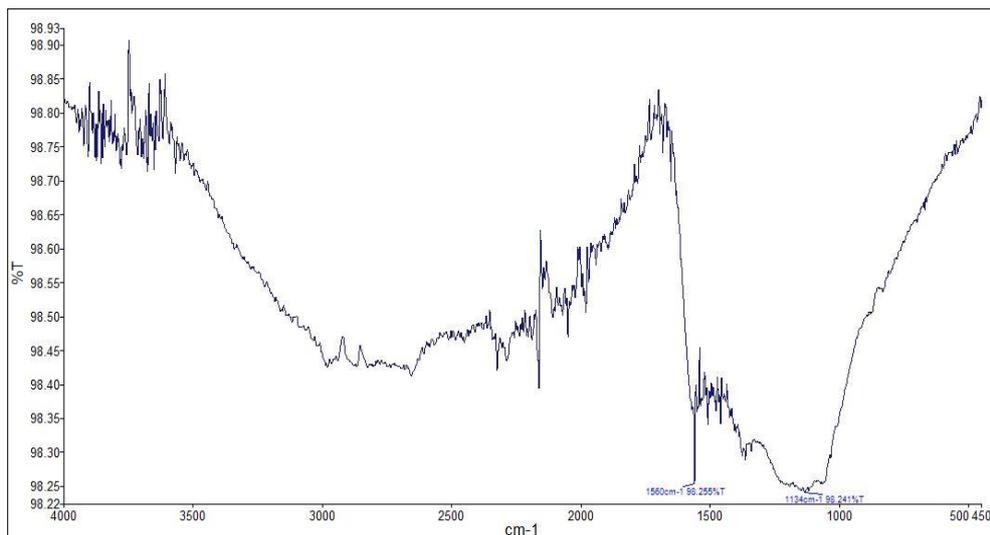


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 21 se observa a  $2650\text{ cm}^{-1}$  presencia de ácidos carboxílicos, a  $2350\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{HPO}_4)^{-2}$ , a  $2125\text{ cm}^{-1}$  los enlaces de los alquinos ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ), a  $2050\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{SCN})^-$ , a  $1560\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1375\text{ cm}^{-1}$  los sulfones, cloruros de sulfónidos ( $\text{S}=\text{O}$ ), y a  $1100\text{ cm}^{-1}$  la presencia del ion  $(\text{SO}_4)^{-2}$ . En la figura 22 se observa a  $2650\text{ cm}^{-1}$  presencia de ácidos carboxílicos, a  $2300\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{HPO}_4)^{-2}$ , a  $1560\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a  $1369\text{ cm}^{-1}$  los sulfones, cloruros de sulfónidos ( $\text{S}=\text{O}$ ), a  $1005\text{ cm}^{-1}$  enlaces de las aminas (C-N), a  $830\text{ cm}^{-1}$  el ion  $(\text{NO}_3)^-$  y a  $701\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion  $(\text{HCO}_3)^{-2}$

### Figura 23

*Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g*

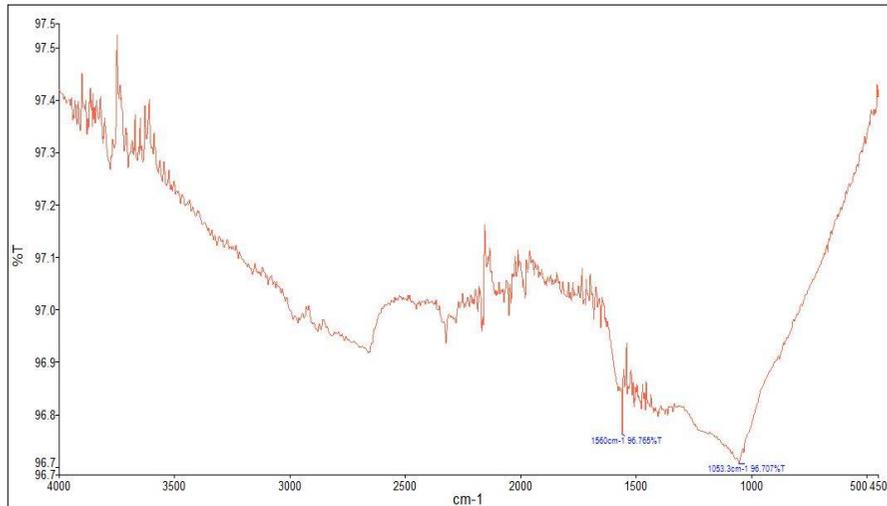


*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 23 se observa a  $2650\text{ cm}^{-1}$  presencia de ácidos carboxílicos, a  $2240\text{ cm}^{-1}$  enlaces de los nitrilos ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ), a  $1560\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) ( $\text{N-H}$ ) y a  $1134\text{ cm}^{-1}$  presencia de (sulfatos, sulfoamidas) ( $\text{S=O}$ ).

**Figura 24**

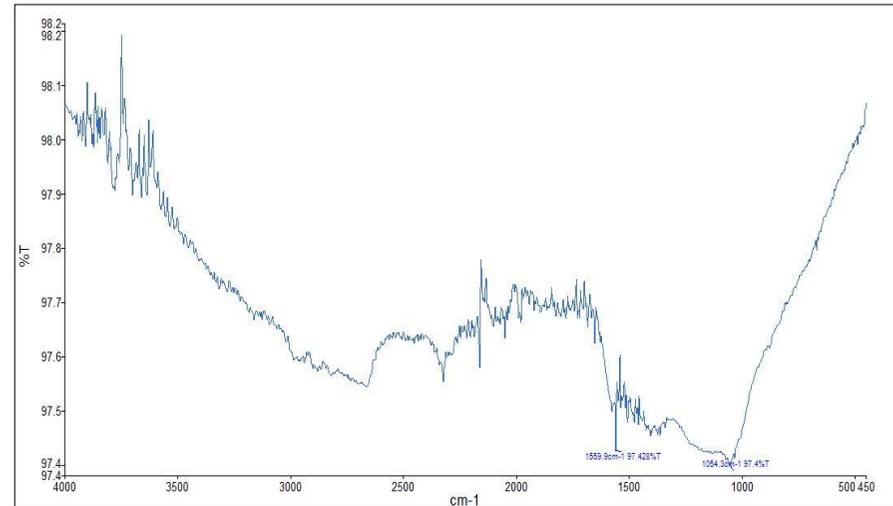
*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 25**

*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g*



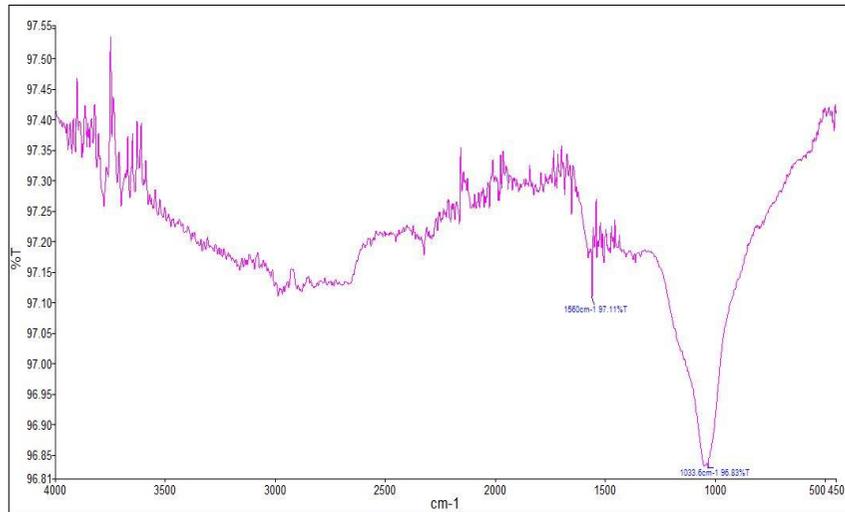
*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 24 se observa a  $2650\text{ cm}^{-1}$  presencia de ácidos carboxílicos, a  $2250\text{ cm}^{-1}$  y a  $2150\text{ cm}^{-1}$  enlaces de alquinos ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ), a  $2150\text{ cm}^{-1}$  el ion ( $\text{SCN}$ )<sup>-</sup>, a  $1560\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a  $1053\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion ( $\text{HPO}_4$ )<sup>-2</sup>.

En la figura 25 se observa a  $2650\text{ cm}^{-1}$  presencia de ácidos carboxílicos, a  $2250\text{ cm}^{-1}$  y a  $2150\text{ cm}^{-1}$  los enlaces de alquinos ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ), a  $2050\text{ cm}^{-1}$  el ion ( $\text{SCN}$ )<sup>-</sup>, a  $1559\text{ cm}^{-1}$  las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a  $1054\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion ( $\text{HPO}_4$ )<sup>-2</sup>.

**Figura 26**

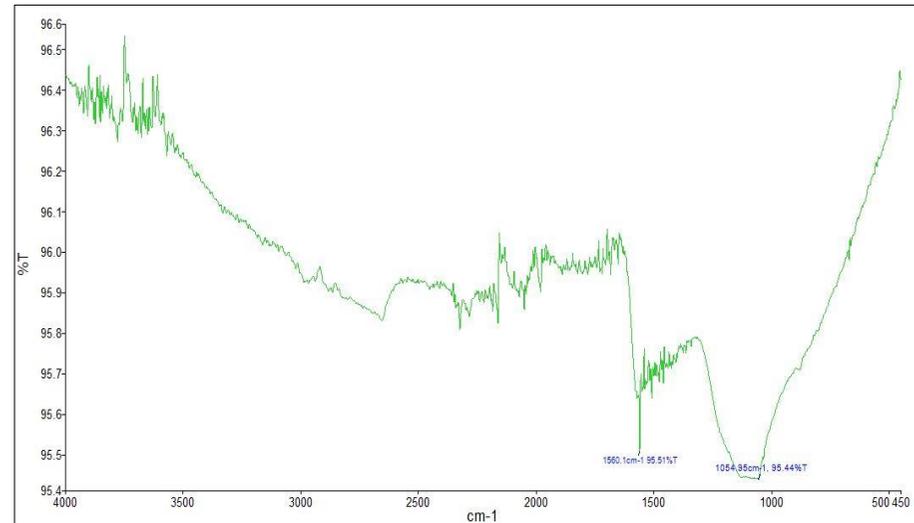
*Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH e relación de impregnación 1ml/g*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

**Figura 27**

*Espectro FTIR del C.A carbón comercial*



*Nota.* Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 26 se observa a  $3000\text{ cm}^{-1}$  presencia de alquenos (tensión) (C-H), a  $2250\text{ cm}^{-1}$  muestra enlaces de alquinos ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ), a  $2050\text{ cm}^{-1}$  el ion ( $\text{SCN}^-$ ), a  $1560\text{ cm}^{-1}$  aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a  $1033\text{ cm}^{-1}$  presencia del ion ( $\text{HPO}_4$ )<sup>-2</sup>. En la figura 27 el espectro FTIR del carbón activado comercial.

En las figuras 9,10,11,12,13,14,15,16,17,21,22,23,24 y 25 observamos la presencia de ácidos carboxílicos; lo que le atribuye un aspecto hidrofílico a la superficie del CA, el que ayuda a la producción de enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua lo que es interesante a partir del punto de vista de la utilidad de este tipo de materiales en el tratamiento de aguas. Los grupos superficiales tipo ácidos carboxílicos, lactonas, anhídridos o fenoles atribuyen carácter ácido a los CA. (González, 2017).

### 3.2.4. Rendimiento del Carbón Activado según el tipo de agente químico y temperatura de carbonización

En la tabla 12 se muestra el rendimiento del carbón activado obtenido de CSM (10g) con  $H_3PO_4$ .

**Tabla 12**  
Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con  $H_3PO_4$

N° Muestra	Agente Químico	Temperatura de carbonización (°C)	Relación de Impregnación (g/ml)	Parámetros estadísticos	Carbón Activado (g)	Rendimiento (%)
1	$H_3PO_4$	400	0,5		6,67	
2	$H_3PO_4$	400	0,5		6,69	
3	$H_3PO_4$	400	0,5		6,75	
				<b>X</b>	<b>6,703</b>	<b>67,03</b>
				<b>σ</b>	<b>0,04163</b>	<b>0,4163</b>
4	$H_3PO_4$	400	0,75		6,61	
5	$H_3PO_4$	400	0,75		6,87	
6	$H_3PO_4$	400	0,75		6,93	
				<b>X</b>	<b>6,803</b>	<b>68,03</b>
				<b>σ</b>	<b>0,170</b>	<b>1,7010</b>
7	$H_3PO_4$	400	1		7,48	
8	$H_3PO_4$	400	1		7,09	
9	$H_3PO_4$	400	1		6,92	
				<b>X</b>	<b>7,163</b>	<b>71,63</b>
				<b>σ</b>	<b>0,2871</b>	<b>2,871</b>
10	$H_3PO_4$	600	0,5		3,57	
11	$H_3PO_4$	600	0,5		3,72	
12	$H_3PO_4$	600	0,5		3,68	
				<b>X</b>	<b>3,657</b>	<b>36,57</b>

				$\sigma$	<b>0,0776</b>	<b>0,7760</b>
13	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		3,47	
14	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		3,54	
15	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		3,53	
				<b>X</b>	<b>3,513</b>	<b>35,13</b>
				$\sigma$	<b>0,03786</b>	<b>0,3786</b>
16	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		3,16	
17	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		3,16	
18	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		3,24	
				<b>X</b>	<b>3,187</b>	<b>31,87</b>
				$\sigma$	<b>0,04619</b>	<b>0,4619</b>
19	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		7,12	
20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		6,16	
21	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		5,96	
				<b>X</b>	<b>6,413</b>	<b>64,13</b>
				$\sigma$	<b>0,6201</b>	<b>6,201</b>
22	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		7,22	
23	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		7,37	
24	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		7,21	
				<b>X</b>	<b>7,267</b>	<b>72,67</b>
				$\sigma$	<b>0,08963</b>	<b>0,8963</b>
25	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		7,22	
26	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		6,30	
27	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		6,74	
				<b>X</b>	<b>6,753</b>	<b>67,53</b>
				$\sigma$	<b>0,46014</b>	<b>4,6014</b>

Nota. Valores promedio de 3 repeticiones  $\pm$  desviación estándar. (2020)

En la tabla 13 se muestra el rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM (10g) con KOH.

**Tabla 13**  
Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con KOH

N° Muestra	Agente Químico	Temperatura de carbonización (°C)	Relación de Impregnación (g/ml)	Parámetros estadísticos	Carbón Activado (g)	Rendimiento (%)
1	KOH	400	0,5		3,26	
2	KOH	400	0,5		3,23	
3	KOH	400	0,5		3,29	
				<b>X</b>	<b>3,26</b>	<b>32,60</b>
				$\sigma$	<b>0,03</b>	<b>0,3000</b>
4	KOH	400	0,75		3,16	
5	KOH	400	0,75		3,15	

6	KOH	400	0,75	3,1		
				<b>X</b>	<b>3,137</b>	<b>31,37</b>
				<b>σ</b>	<b>0,0321</b>	<b>0,3215</b>
7	KOH	400	1	2,77		
8	KOH	400	1	2,9		
9	KOH	400	1	2,64		
				<b>X</b>	<b>2,77</b>	<b>27,70</b>
				<b>σ</b>	<b>0,13</b>	<b>1,3000</b>
10	KOH	600	0,5	3,18		
11	KOH	600	0,5	3,26		
12	KOH	600	0,5	3,07		
				<b>X</b>	<b>3,17</b>	<b>31,70</b>
				<b>σ</b>	<b>0,09539</b>	<b>0,9539</b>
13	KOH	600	0,75	3,47		
14	KOH	600	0,75	3,65		
15	KOH	600	0,75	3,43		
				<b>X</b>	<b>3,517</b>	<b>35,17</b>
				<b>σ</b>	<b>0,11719</b>	<b>1,1719</b>
16	KOH	600	1	2,97		
17	KOH	600	1	2,75		
18	KOH	600	1	2,79		
				<b>X</b>	<b>2,837</b>	<b>28,37</b>
				<b>σ</b>	<b>0,11719</b>	<b>1,1719</b>
19	KOH	900	0,5	2,8		
20	KOH	900	0,5	2,46		
21	KOH	900	0,5	2,8		
				<b>X</b>	<b>2,687</b>	<b>26,87</b>
				<b>σ</b>	<b>0,19630</b>	<b>1,9630</b>
22	KOH	900	0,75	2,37		
23	KOH	900	0,75	2,72		
24	KOH	900	0,75	2,82		
				<b>X</b>	<b>2,637</b>	<b>26,37</b>
				<b>σ</b>	<b>0,23629</b>	<b>2,3629</b>
25	KOH	900	1	2,86		
26	KOH	900	1	3,26		
27	KOH	900	1	3,34		
				<b>X</b>	<b>3,153</b>	<b>31,53</b>
				<b>σ</b>	<b>0,25716</b>	<b>2,5716</b>

Nota. Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar. (2020)

**Tabla 14**

Porcentaje de rendimiento del carbón activado con sus parámetros estadísticos.

N° Muestra	Agente Químico	Temperatura de Activación (°C)	Relación de Impregnación (g/ml)	Parámetros Estadísticos	% Rendimiento
1	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,5		66,70
2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,5		66,90
3	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,5		67,50
				<b>X</b>	<b>67,03</b>
				<b>σ</b>	<b>0,4163</b>
4	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,75		66,10
5	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,75		68,70
6	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	0,75		69,30
				<b>X</b>	<b>68,03</b>
				<b>σ</b>	<b>1,7010</b>
7	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	1		74,80
8	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	1		70,90
9	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	400	1		69,20
				<b>X</b>	<b>71,63</b>
				<b>σ</b>	<b>2,871</b>
10	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,5		35,70
11	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,5		37,20
12	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,5		36,80
				<b>X</b>	<b>36,57</b>
				<b>σ</b>	<b>0,7767</b>
13	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		34,70
14	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		35,40
15	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	0,75		35,30
				<b>X</b>	<b>35,13</b>
				<b>σ</b>	<b>0,3786</b>
16	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		31,60
17	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		31,60
18	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600	1		32,40
				<b>X</b>	<b>31,87</b>
				<b>σ</b>	<b>0,4619</b>
19	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		77,20
20	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		61,60
21	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,5		59,60
				<b>X</b>	<b>66,13</b>
				<b>σ</b>	<b>9,6360</b>
22	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		72,20
23	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		73,70
24	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	0,75		72,10
				<b>X</b>	<b>72,67</b>

				<b>σ</b>	<b>0,8963</b>
25	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		72,20
26	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		63,00
27	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	900	1		67,40
				<b>X</b>	<b>67,53</b>
				<b>σ</b>	<b>4,6014</b>
28	KOH	400	0,5		32,60
29	KOH	400	0,5		32,30
30	KOH	400	0,5		32,90
				<b>X</b>	<b>32,60</b>
				<b>σ</b>	<b>0,3000</b>
31	KOH	400	0,75		31,60
32	KOH	400	0,75		31,50
33	KOH	400	0,75		31,00
				<b>X</b>	<b>31,37</b>
				<b>σ</b>	<b>0,3215</b>
34	KOH	400	1		27,70
35	KOH	400	1		29,00
36	KOH	400	1		26,40
				<b>X</b>	<b>27,70</b>
				<b>σ</b>	<b>1,3000</b>
37	KOH	600	0,5		31,80
38	KOH	600	0,5		32,60
39	KOH	600	0,5		30,70
				<b>X</b>	<b>31,70</b>
				<b>σ</b>	<b>0,9539</b>
40	KOH	600	0,75		34,70
41	KOH	600	0,75		36,50
42	KOH	600	0,75		34,30
				<b>X</b>	<b>35,17</b>
				<b>σ</b>	<b>1,1719</b>
43	KOH	600	1		29,70
44	KOH	600	1		27,50
45	KOH	600	1		27,90
				<b>X</b>	<b>28,37</b>
				<b>σ</b>	<b>1,1719</b>
46	KOH	900	0,5		28,00
47	KOH	900	0,5		24,60
48	KOH	900	0,5		28,00
				<b>X</b>	<b>26,87</b>
				<b>σ</b>	<b>1,9630</b>
49	KOH	900	0,75		23,70
50	KOH	900	0,75		27,20
51	KOH	900	0,75		28,20
				<b>X</b>	<b>26,37</b>

				$\sigma$	<b>2,3629</b>
52	KOH	900	1		28,60
53	KOH	900	1		32,60
54	KOH	900	1		33,40
				<b>X</b>	<b>31,53</b>
				$\sigma$	<b>2,5716</b>

Nota. Elaboración propia (2020)

### 3.3. Análisis de los Datos Estadísticos

Para el desarrollo de las pruebas estadísticas, se usó el software estadístico IBM SPSS Statistics v.25. A continuación, podremos encontrar las tablas y resultados obtenidos en las pruebas estadísticas.

#### 3.3.1. Prueba ANOVA para el porcentaje de rendimiento del carbón activado de las cáscaras de semillas de mamey

**Tabla 15**

Análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de rendimiento del carbón activado

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo corregido</b>	17121,219 <sup>a</sup>	5	3424,244	276,066	0,000
<b>Intersección</b>	103560,723	1	103560,723	8349,177	0,000
<b>Agente Químico</b>	9998,723	1	9998,723	806,108	0,000
<b>Temperatura de Activación</b>	4156,560	2	2078,280	167,553	0,000
<b>Agente Químico* Temperatura de Activación</b>	2965,936	2	1482,968	119,558	0,000
<b>Error</b>	595,378	48	12,404		
<b>Total</b>	121277,320	54			
<b>Total, corregido</b>	17716,597	53			

a. R al cuadrado = ,966 (R al cuadrado ajustada = ,963)

Nota. Elaboración propia (2020)

En el análisis de varianza la variable agente químico, temperatura de activación y la interacción de las variables agente químico y temperatura de activación son estadísticamente significativas ( $0,000 < 0,05$ ,  $0,000 < 0,05$  y  $0,000 < 0,050$ ) esto quiere decir que las variables antes mencionadas influyen positivamente en el porcentaje de rendimiento de la producción de carbón activado.

#### IV. CONCLUSIONES

- Se caracterizó la cáscara de la semilla de mamey (*Mammea americana*): humedad (5,48%), cenizas (0,39%), materia volátil (79,48%) y de carbón fijo (14,65%), valores que demuestran que éste residuo es un precursor adecuado para preparar Carbón activado.
- La temperatura y el agente químico influyen en el rendimiento de carbón activado, es así que a una temperatura de 900°C y como agente químico ácido fosfórico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, se logra un rendimiento de carbón activado de 72,67 % el cual fue contrastado con el FTIR del carbón activado comercial.
- Se dio un valor agregado a la cascara de semilla de mamey acorde con el Decreto Legislativo N° 1278 (2016). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

## V. RECOMENDACIONES

- Con el mejor carbón activado obtenido y como agente químico el  $\text{H}_3\text{PO}_4$  a una temperatura de  $900\text{ }^\circ\text{C}$  realizar ensayos de adsorción de sustancias contaminantes, como metales pesados o compuestos orgánicos, con el objetivo de encontrar otras aplicaciones para los carbones.
- Realizar más investigaciones con residuos orgánicos para la obtención de carbones activados.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A., Loh, M., & Aziz, J. (2007). Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on Methylene blue adsorption. *Dyes and Pigments*, 75(2), 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.034>
- Almendros, A., Lara, M., Ronda, A., Pérez, A., Blázquez, G., y Calero, C. (2015). Physico-chemical characterization of pine cone shell and its use as biosorbent and fuel. *Bioresource Technology*, 406-412. [doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.109](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.109)
- Barrantes, F. D. (2017). *Cinética de adsorción del Mn<sup>2+</sup> de las aguas residuales de la mina lunar de oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11358>
- Burgos, G., y Jaramillo, L. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y cocopara la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia de Guayas*[Tesis Pregrado Universidad de Guayaquil, Ecuador]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8941>
- Cabrera, D. Y. (2018). *Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipaa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8217>
- Caracela, P. G. (2017). *Efecto del carbón activado de lenteja de agua (Lemna sp.) en la remoción de cloro residual del agua en la industria de bebidas*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6836>
- Carrasco, B., y Londa , E. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucífera L”*[Tesis Pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31705>
- Carrillo , V. Y., y Sánchez , N. E. (2013). *Elaboración de un Filtro a base de Carbón Activado obtendo del Endocarpo de Coco con el propósito de reducir la dureza del Agua*

- Potable*[Tesis Pregrado, Universidad del Salvador, El Salvador].  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5307>
- Cedeño, L. E., y Viteri, K. V. (2009). *Estudio del comportamiento de la pulpa congelada y del aceite de semillas obtenido de dos variedades diferentes de mamey Colocarpum mammosum (mamey colorado) y Mammea americana (mamey cartagena)* [Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador].  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/21615>
- Das, D., Prasad, D., & BC, M. (2015). Preparation of Activated Carbon from Green Coconut Shell and its. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 2-7.  
doi:10.4172/2157-7048.1000248
- Delgadillo, G. A. (2011). *Preparación - caracterización de carbones activados a partir de pepas de níspero de palo (Mespilus Communi) y su aplicación como material adsorbente de fenol.*[Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima].<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5051>
- Elizalde, M., & Hernández, V. (2007). Characterization of mango pit as raw material in the preparation of activated carbon for wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 36(3), 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.02.025>
- García, R. A., y Granillo, Y. A. (2017). *Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (citrus sinensis linn obsbeck), laboratorios de química UNAN-Managua, II semestre 2016.* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua].  
<http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/4275>
- Gómez, A., Rincón, S., y Klose, W. (2010). *Carbón activado de cuesco de palma: Estudio de termogravimetría y estructura.* Kassel, Colombia y Alemania: kassel university.  
<https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
- Gonzáles, B. D. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico*[Tesis Pregrado, Universidad de Chile, Chile].  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147405>
- Grisales, A. L., y Rojas, W. (2016). *Obtención de Carbón Activado a partir de Activación Química de Pulpa de Café y su Aplicación en la Remoción de Colorantes en Aguas*

- Residuales Industriales*. [Tesis Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia]. <http://hdl.handle.net/11059/6965>
- Guevara , M. (2019). *Carbón activado a partir de la pulpa de la cereza de café mediante activación química*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Perú]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/208>
- Guo, J., & Chong, A. (1998). Characterization of chars pyrolyzed from oil palm stones for the preparation of activated carbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 46(2), 113-125. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(98\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(98)00074-6)
- Julca, L. M., y Vásquez, F. (2018). *Deshidratación osmótica de mamey (Mammea Americana L.) y su efecto en las características fisicoquímicas y organolépticas*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2099>
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2016). *DECRETO LEGISLATIVO N° 1278 (23, diciembre, 2016)*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>
- Liou, T.-H., & Wu, S.-J. (2009). Characteristics of microporous/mesoporous carbons prepared from rice husk under base- and acid-treated conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 693-703. [doi:org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.056](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.056)
- Manosalva, F. M. (2021). *Determinación de las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de moringa (Moringa Oleífera)* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8959>
- Manrique, P. L. (2013). *Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de cromo (VI)*[Tesis Pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa.] <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/4312>
- Marshahida, Y., Noraini, R., Norkamruzita, S., & Norazah, R. (2016 ). EFFECT OF ACTIVATION TEMPERATURE ON PROPERTIES OF. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_0516\\_4285.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0516_4285.pdf)

- Martínes de Yuso, A. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano*[Tesis Doctorado, Universidad San Jorge Villanueva de Gállego, España]. <https://repositorio.usj.es/handle/123456789/114>
- Molina-Sabio, M., & Rodríguez-Reinoso, F. (2004). Role of chemical activation in the development of carbon porosity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 241(1-3), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.04.007>
- Montoya, O. E., & Matute, R. H. (2015). *Evaluación del carbón activado obtenido a partir de la vaina de malinche para adsorción de fenol del agua residual de laboratorio CIDEA-UCA*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Managua, Nicaragua]. <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/1482>
- Navarrete, D. F., Quijano, N. R., & Vélez, C. D. (2014). *Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante* [Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica Del Litoral Guayaquil, Ecuador]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/29845>
- Obregón, J. P. (2016). *Comparación de los distintos tratamientos para la obtención de carbón activado a nivel laboratorio a partir del endocarpio del coco (Cocos nucifera), con base en el índice de yodo*[Tesis Pregrado, Universidad de San Carlos, Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Pabón, A., Arismendi, P., Peña, J., & Ruidiaz, M. (2014). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de cáscara de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista Investiguemos*, 19-23. <https://es.calameo.com/read/00372901514876416bafa>
- Rodríguez, F. (2004). Carbón activado - estructura, preparación y aplicaciones. *Química en Uniandes*, 54-63. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/4940?show=full>
- Salazar, D. I., & Rodríguez, L. A. (2017). *Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu<sup>+2</sup> en soluciones sintéticas*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3442>

- Sánchez, C. (2018). *Caracterización de carbón activado a partir de bambú "Guadua Angustifolia Kunth" utilizando el método químico*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3340>
- Savova, D., Apak, E., Yardim, F., Petrov, N., Budinova, T., Razvigorova, M., & Minkova, V. (2001). Biomass conversion to carbon adsorbents and gas. *Biomass and Bioenergy*, 21(2), 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00027-7)
- Silva, J. D. (2017). *Producción y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales (Fibra de Nopal) para la remoción de arsénico en agua*[Tesis Pregrado), Instituto Politécnico Nacional Zacatecas, México]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22915>
- Torres Calderón, E. E. (2007). *Identificación y caracterización in situ de germoplasma de mamey (Mammea americana L.), con potencial genético en zonas productoras de El Salvador*[Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador, El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1831>
- Vitela Rodríguez, A. V. (2011). *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanopartículas de hidrógeno (óxidos) de hierro* [Tesis Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí, México]. <http://hdl.handle.net/11627/97>
- Wan, W., & Wan, W. (2003). Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. *Bioresource Technology*, 93(1), 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.09.015>

## VII. ANEXOS

### ANEXO A: Elaboración de carbón activado

**Figura 29**

*Secado de las cáscaras de semillas de mamey cortadas en la estufa*



*Nota. (2020)*

**Figura 30**

*Molienda de las cáscaras de las semillas de mamey cortadas*



*Nota. (2020)*

**Figura 31**

*Activación de las cáscaras de las semillas de mamey con hidróxido de potasio y ácido fosfórico*



*Nota.* (2020)

**Figura 32**

*Carbón activado de las cáscaras de semillas de mamey*



*Nota.* (2020)

## ANEXO B: Análisis de Materia Prima

### A. HUMEDAD

✓ *M1:*

$$\% \text{Humedad} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 = \frac{1.0006 - 0.9458}{1.0006} \times 100 = 5.4767$$

✓ *M2:*

$$\% \text{Humedad} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 = \frac{1.0005 - 0.9392}{1.0005} \times 100 = 6.1269$$

✓ *M3:*

$$\% \text{Humedad} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 = \frac{1.0006 - 0.9434}{1.0006} \times 100 = 5.7166$$

**Donde:**

- $h_1$ : Masa inicial de la muestra en g
- $h_2$ : Masa final de la muestra después de la estufa en g

### B. CENIZAS

✓ *M1*

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_c - m_R}{h_1} \times 100 = \frac{0.004}{1.0006} \times 100 = 0.3998$$

✓ *M2*

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_c - m_R}{h_1} \times 100 = \frac{0.005}{1.0004} \times 100 = 0.4998$$

✓ *M3*

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_c - m_R}{h_1} \times 100 = \frac{0.0041}{1.0005} \times 100 = 0.4098$$

**Donde:**

- $m_c$ : Masa del crisol con masa de la muestra después de la mufla en g
- $m_R$ : Masa del crisol en g
- $h_1$ : Masa inicial de la muestra en g

**C. MATERIA VOLÁTIL**✓ *M1*

$$\% \text{Materia Volátil} = \frac{m_{RH} - m_v}{h_1} \times 100 = \frac{0.948 - 0.1529}{1.0004} \times 100 = 79.4782$$

✓ *M2*

$$\% \text{Materia Volátil} = \frac{m_{RH} - m_v}{h_1} \times 100 = \frac{0.9501 - 0.1498}{1.0006} \times 100 = 79.9820$$

✓ *M3*

$$\% \text{Materia Volátil} = \frac{m_{RH} - m_v}{h_1} \times 100 = \frac{0.9498 - 0.1465}{1.0004} \times 100 = 79.2982$$

**Donde:**

- $m_{RH}$ : Masa crisol con muestra Post-humedad en g
- $m_v$ : Masa del crisol con muestra Post-volátiles en g
- $h_1$ : Masa inicial de la muestra en g

**D. CARBÓN FIJO**

$$\% \text{Carbón fijo} = 100 - \% \text{Humedad} - \% \text{M. Volátil} - \% \text{Ceniza}$$

✓ *M1*

$$\% \text{Carbón fijo} = 100 - 5.4767 - 79.4782 - 0.3998 = 14.6453$$

✓ *M2*

$$\% \text{Carbón fijo} = 100 - 6.1269 - 79.9820 - 0.4998 = 13.3913$$

✓ *M3*

$$\% \text{Carbón fijo} = 100 - 5.7166 - 79.2982 - 0.4098 = 14.5754$$

**ANEXO C: Análisis de producto**

Se realizó los mismos cálculos que en el ANEXO B.