



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 GUISSOLA

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:

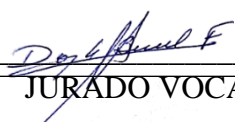
Dr. Monteza Arbulú César Augusto


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_3PO_4	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

Figura 1 Fruto de mamey (mammea americana) abierto	17
Figura 2 Grupos funcionales en la superficie del carbón activado	20
Figura 3 Algunos tipos de carbón activado disponibles comercialmente.....	21
Figura 4 Semillas y cascara de mamey (Mammea americana).....	33
Figura 5 Cáscara de semilla de mamey molida	33
Figura 6 Espectro FTIR de la cáscara de semilla de mamey (CSM)	34
Figura 7 Carbón activado obtenido de semilla de mamey.....	39
Figura 8 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g	41
Figura 9 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g	41
Figura 10 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H_3PO_4 relación.....	42
de impregnación 1ml/g	42
Figura 11 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g	43
Figura 12 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g	43
Figura 13 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 1ml/g	44
Figura 14 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g	45
Figura 15 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g	45

Figura 16 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 1ml/g	46
Figura 17 Espectro FTIR del C.A carbón comercial	46
Figura 18 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g	47
Figura 19 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g	47
Figura 20 Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g	48
Figura 21 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g	49
Figura 22 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g	49
Figura 23 Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 1ml/g	50
Figura 24 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g	51
Figura 25 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.75ml/g	51
Figura 26 Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH e	52
relación de impregnación 1ml/g.....	52
Figura 27 Espectro FTIR del C.A carbón comercial	52
Figura 29 Secado de las cáscaras de semillas de mamey cortadas en la estufa	66
Figura 30 Molienda de las cáscaras de las semillas de mamey cortadas	66
Figura 31 Activación de las cáscaras de las semillas de mamey con hidróxido de potasio y ácido fosfórico	67
Figura 32 Carbón activado de las cáscaras de semillas de mamey.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación botánica del mamey	18
Tabla 2 Precursores y tipo de activación	22
Tabla 3 Análisis de materia prima	35
Tabla 4 Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 a $400^{\circ}C$	36
Tabla 5 Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 a $600^{\circ}C$	36
Tabla 6 Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 a $900^{\circ}C$	36
Tabla 7 Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 a diferentes temperaturas.....	37
Tabla 8 Análisis de carbón activado obtenido con KOH a $400^{\circ}C$	37
Tabla 9 Análisis de carbón activado obtenido con KOH a $600^{\circ}C$	37
Tabla 10 Análisis de carbón activado obtenido con KOH a $900^{\circ}C$	38
Tabla 11 Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con KOH a diferentes temperaturas.....	38
Tabla 12 Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con H_3PO_4	53
Tabla 13 Rendimiento del carbón activado obtenido de la CSM con KOH.....	54
Tabla 14 Porcentaje de rendimiento del carbón activado con sus parámetros estadísticos. ...	56
Tabla 15 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_3PO_4 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 carnososa, 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).

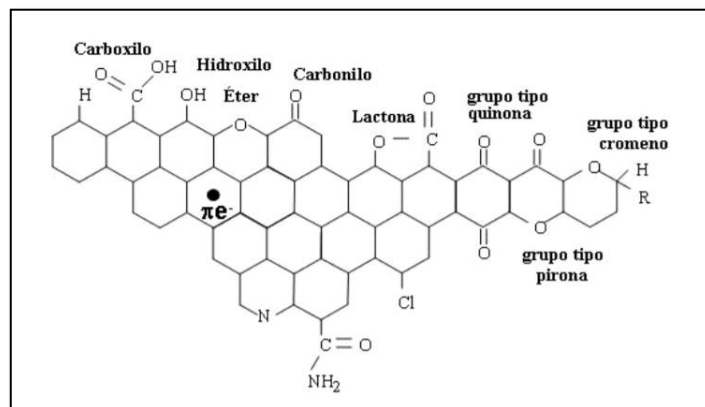
Las propiedades más importantes del carbón activado son:

- 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 μm , por lo general oscilan entre 15 y 25 μm .
- 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 CO₂ 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

Precursores	Tipo de Activación
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 el 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
- Cisoles 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 (H_3PO_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 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:

h₁: Masa inicial de la muestra en g.

h₂: 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_c: Masa del crisol con masa de la muestra después de la mufla en g.

m_R: Masa del crisol en g.

h₁: 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_{RH}: Masa crisol con muestra Post-humedad en g.

m_v: Masa del crisol con muestra Post-volátiles en g.

h₁: 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

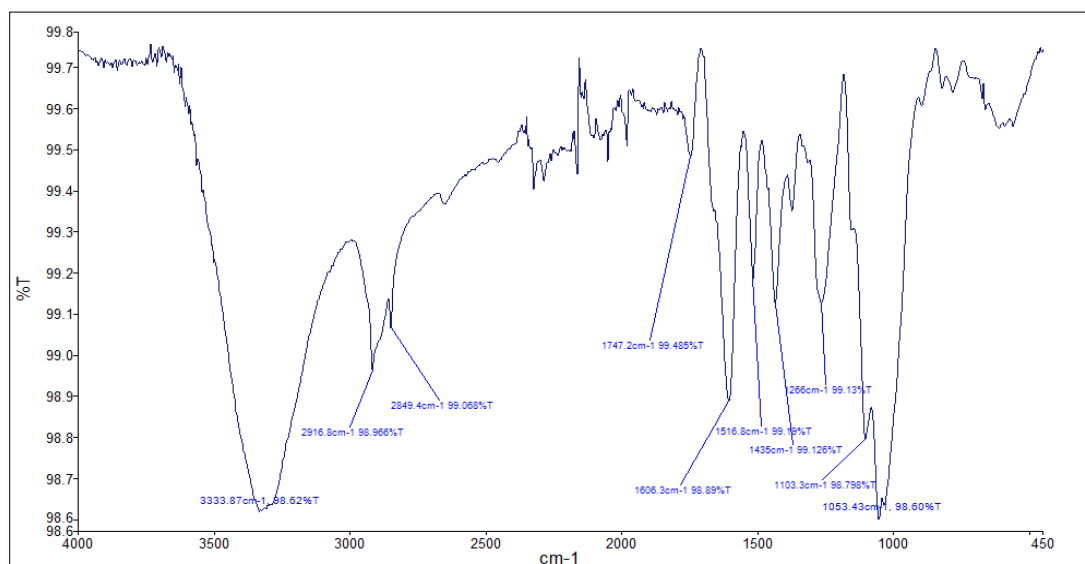


Nota. (2020)

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^{-1} , posible presencia de alcohol asociado con puente de hidrógeno; estiramiento H-C sp^3 a 2916.8 y 2849.4 cm^{-1} , que corresponde a cadena carbonada saturada; estiramiento que corresponde a grupo carbonilo, C=O, a 1606.3 cm^{-1} ; ausencia de

estiramiento de H-C sp² 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
X	14,38	0,43	5,77	79,58
σ	0,391	0.053	0.329	0,358

Nota. (2020)

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

3.2.1. Con H_3PO_4

Tabla 4

Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 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
X	26,47	17,67	15,42	40,44
σ	2,314	1,180	0,819	0,882

Nota. (2020)

Tabla 5

Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 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
X	33,70	10,98	16,65	38,67
σ	1,645	0,713	1,140	0,705

Nota. (2020)

Tabla 6

Análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 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
X	46,74	11,47	10,05	31,72
σ	0,971	0,505	0,750	0,394

Nota. (2020)

Tabla 7

Resumen de los análisis de carbón activado obtenido con H_3PO_4 a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Muestra	Carbón Fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)
400	H_3PO_4	26,47	17,67	15,42	40,44
600	H_3PO_4	33,70	10,98	16,65	38,67
900	H_3PO_4	46,74	11,47	10,06	31,73
X		35,637	13,373	14,043	36,947
σ		10,273	3,729	3,504	4,604

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_3PO_4 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_3PO_4 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
X	31,9	16,12	8,73	43,25
σ	0,815	0,669	0,527	0,646

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
X	44,83	12,84	7,53	34,79
σ	1,569	0,540	0,681	0,453

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
X	40,18	18,26	6,93	34,63
σ	1,569	0,540	0,681	0,453

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
X		38,97	15,74	7,73	37,56
σ		6,549	2,730	0,917	4,931

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).

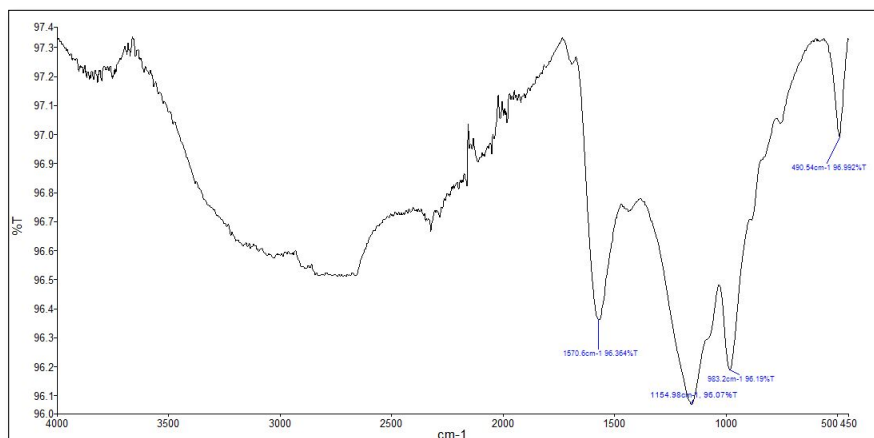
El carbón activado obtenido optimo es el que uso como agente químico H_3PO_4 a una temperatura de 600°C y relación de impregnación de 0,5;cuyo precursor fue la cáscara de semilla de mamey, acorde con lo que refiere (González,2017) “se obtendrá un carbón de alta pureza, aquel precursor que cumpla con 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

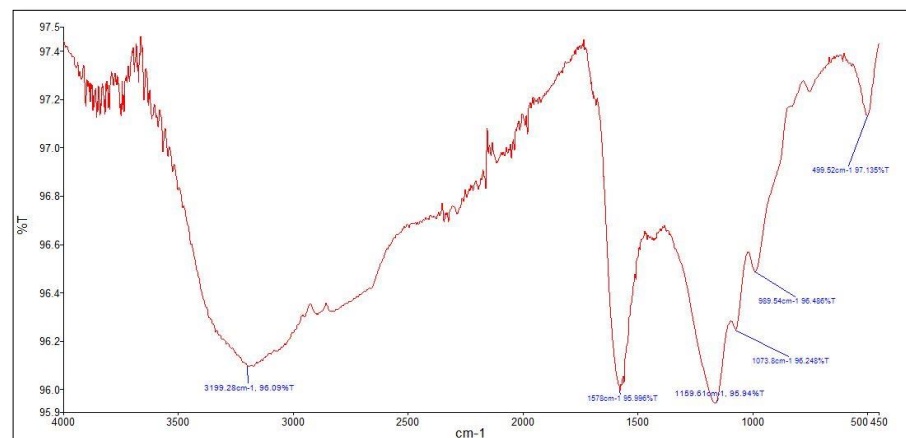
Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g



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

Figura 9

Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g

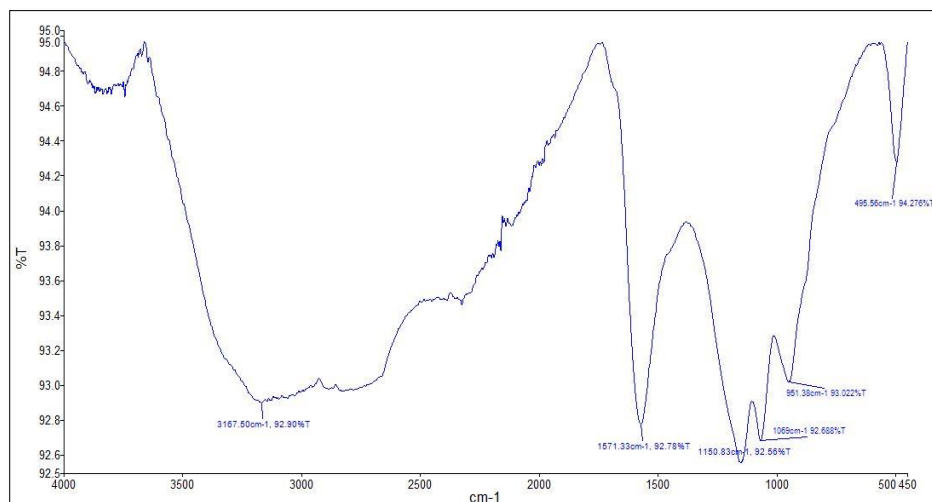


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 8 se observa a 2680 cm^{-1} la presencia de mercaptanos (S-H), a 2300 cm^{-1} los iones fosfato ($(HPO_4)^{-2}$), a 1570.6 cm^{-1} aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1154 cm^{-1} los sulfatos y sulfoamidas (S=O), a 983 cm^{-1} los silicatos y a 490 cm^{-1} presencia de cloratos ($(ClO_3)^{-}$). En la figura 9 se observa a 3199 cm^{-1} la presencia de OH, a 1578 cm^{-1} las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1159 cm^{-1} sulfatos y sulfoamidas (S=O), a 1073 cm^{-1} aminas (C-N), a 989 cm^{-1} (B_4O_7) $^{-2}$ y a 499 cm^{-1} presencia de cloratos ($(ClO_3)^{-}$).

Figura 10

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

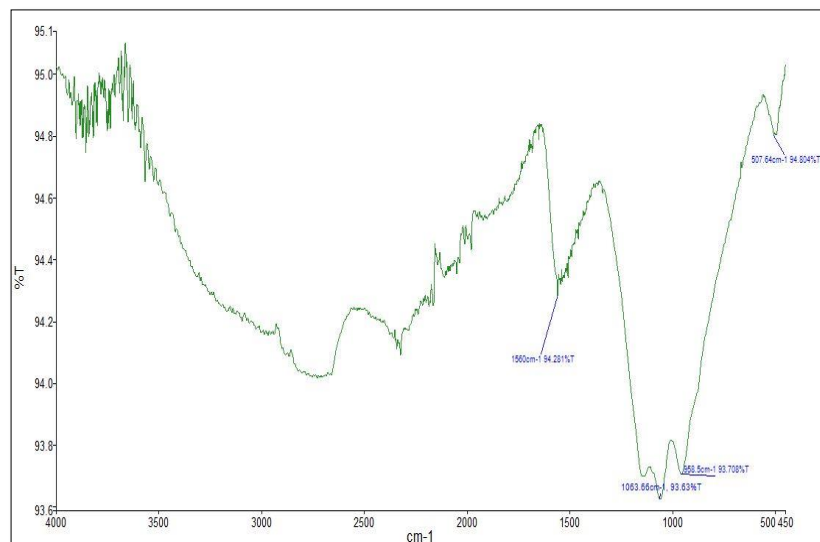


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

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

Figura 11

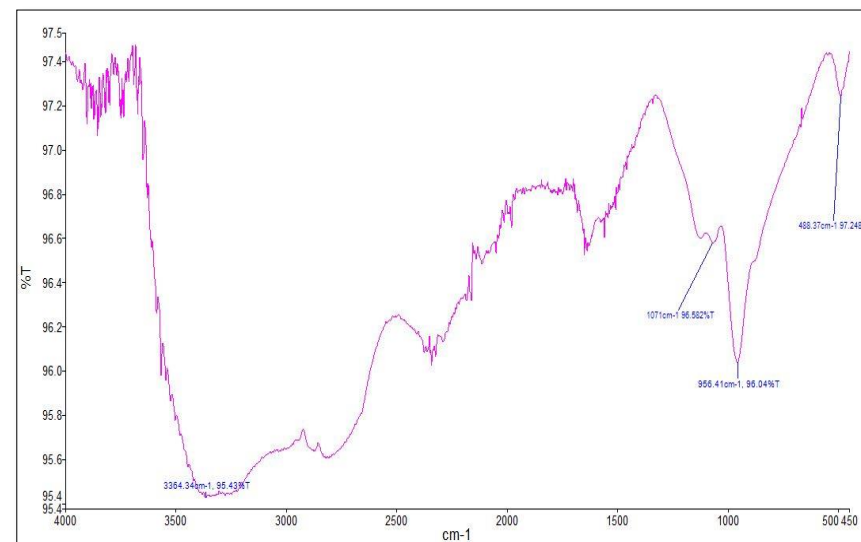
Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g



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

Figura 12

Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g

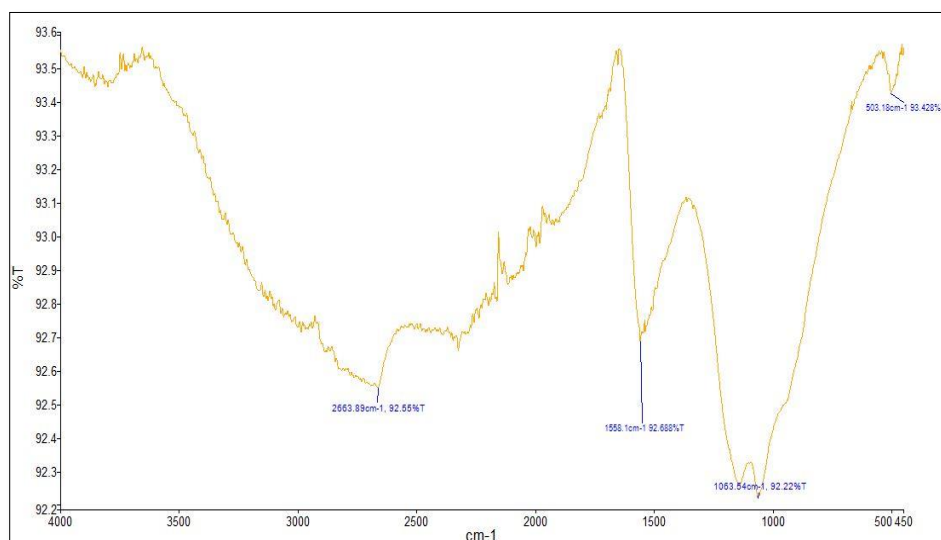


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia -UNT (2020)

En la figura 11 se observa a 2600 cm^{-1} presencia de ácidos carboxílicos, a 2250 cm^{-1} los nitrilos ($C\equiv N$), a 1560 cm^{-1} las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1063 cm^{-1} el ion $(HPO_4)^{-2}$, a 958 cm^{-1} el ion $(SO_3)^{-2}$ y a 507 cm^{-1} presencia de cloratos (ClO_3^-). En la figura 12 se observa a 3364 cm^{-1} presencia de OH, a 2300 cm^{-1} presencia de ácidos carboxílicos, a 1600 cm^{-1} los alquenos ($C=C$), a 1071 cm^{-1} el ion $(B_4O_7)^{-2}$, a 955 cm^{-1} el ion $(HPO_4)^{-2}$ y a 488 cm^{-1} presencia de cloratos (ClO_3^-).

Figura 13

Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 1ml/g

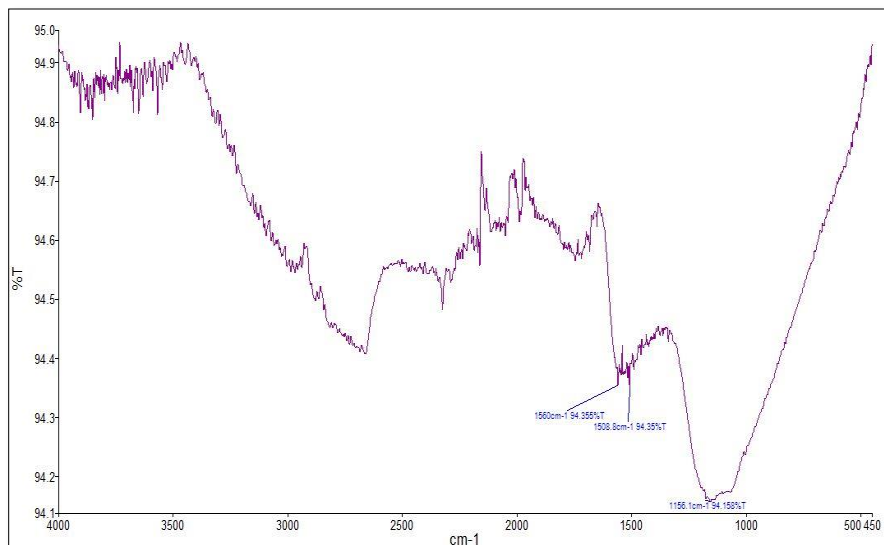


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia -UNT (2020)

En la figura 13 se observa a 2603 cm^{-1} muestra la presencia de ácidos carboxílicos, a 1558 cm^{-1} las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1063 cm^{-1} el ion $(HPO_4)^{-2}$ y a 503 cm^{-1} presencia de cloratos $(ClO_3)^{-}$.

Figura 14

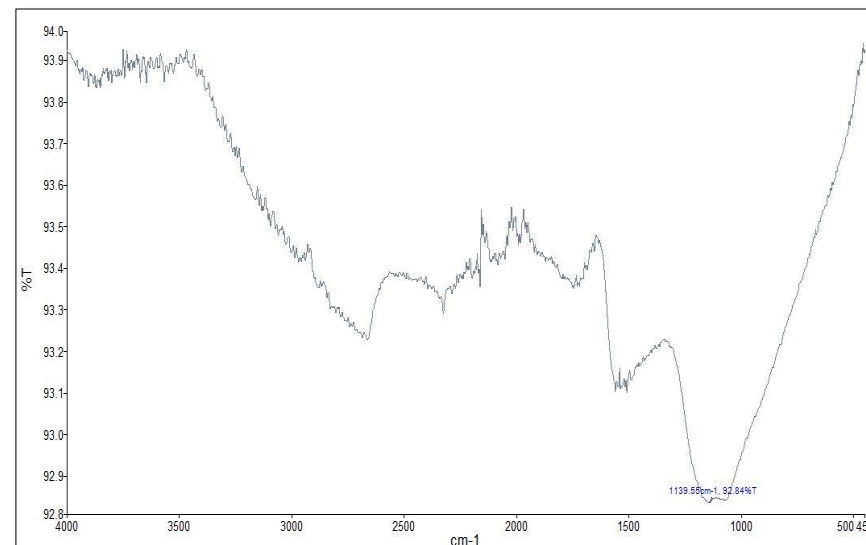
Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.5ml/g



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

Figura 15

Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 0.75ml/g

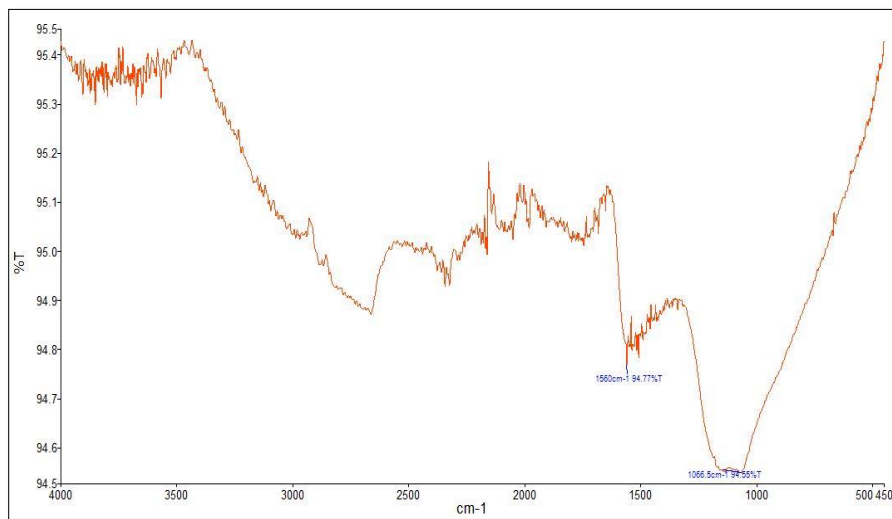


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 14 se observa a 2650 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 1580 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1508 cm⁻¹ enlaces de aromáticos (C=C) y a 1156 cm⁻¹ presencia de sulfatos y sulfoamidas (S=O). En la figura 15 se observa a 2625cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2300 cm⁻¹ el ion (HPO₄)⁻², a 1750 cm⁻¹ enlace del éster (C=O), a 1600 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1339 cm⁻¹ presencia de sulfatos y sulfoamidas (S=O).

Figura 16

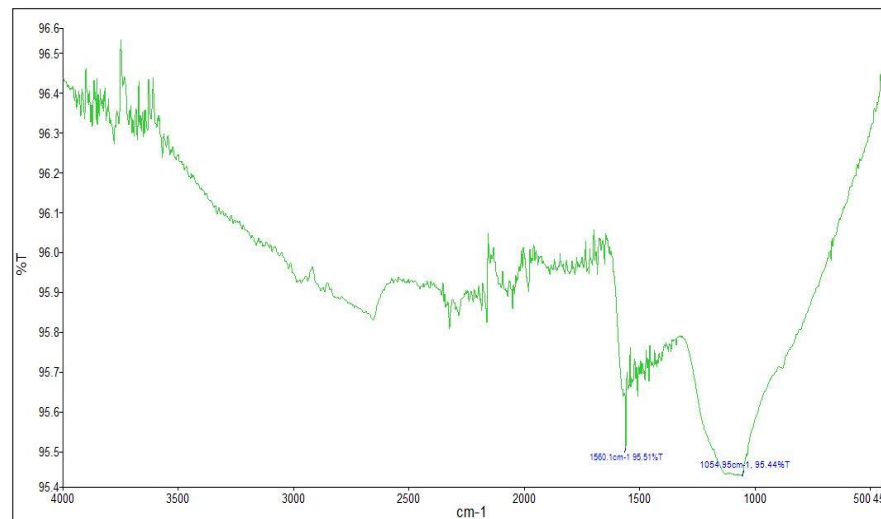
Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico H_3PO_4 relación de impregnación 1ml/g



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

Figura 17

Espectro FTIR del C.A carbón comercial

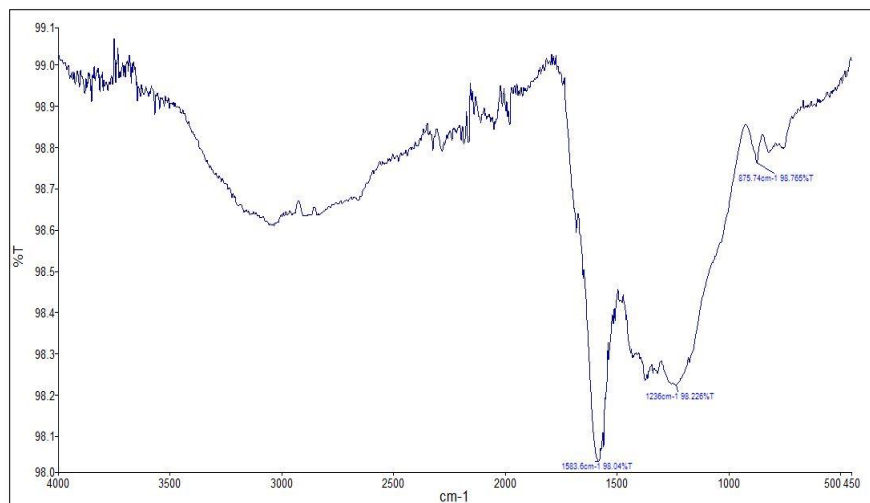


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 16 se observa a 2600 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2300 cm⁻¹ el ion $(HPO_4)^{-2}$, a 2100 cm⁻¹ el ion $(SCN)^{-}$, a 1560 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1066 cm⁻¹ presencia del ion $(HPO_4)^{-2}$. En la figura 17 se muestra el espectro FTIR del carbón activado comercial, a 2650 cm⁻¹ y a 2400 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2150 cm⁻¹ enlaces de alquinos ($C\equiv C$), a 2050 cm⁻¹ el ion $(SCN)^{-}$, a 1990 cm⁻¹ alquenos, quetanos, isocianatos, isotiocianatos ($X=C=Y$), a 1560 cm⁻¹ aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1054 cm⁻¹ presencia del ion $(HPO_4)^{-2}$.

Figura 18

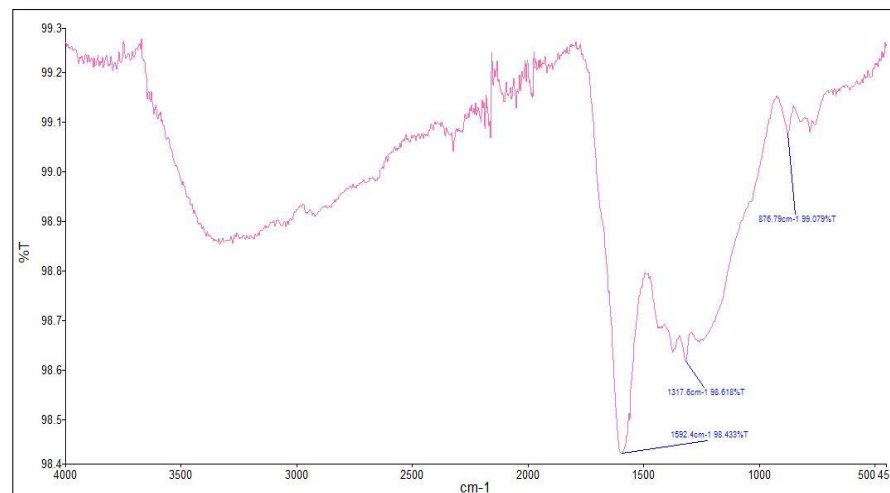
Espectro FTIR del C.A. a 400°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g



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

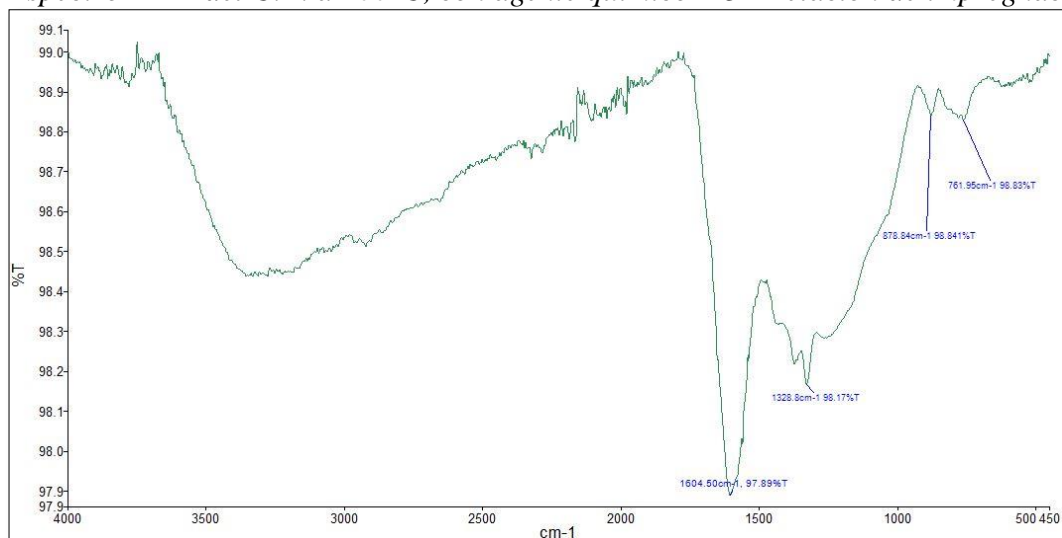


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

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

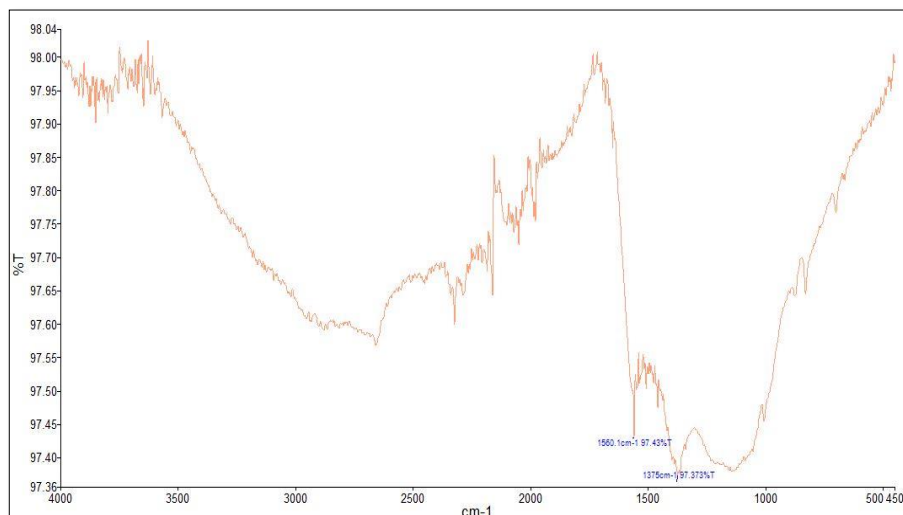


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

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

Figura 21

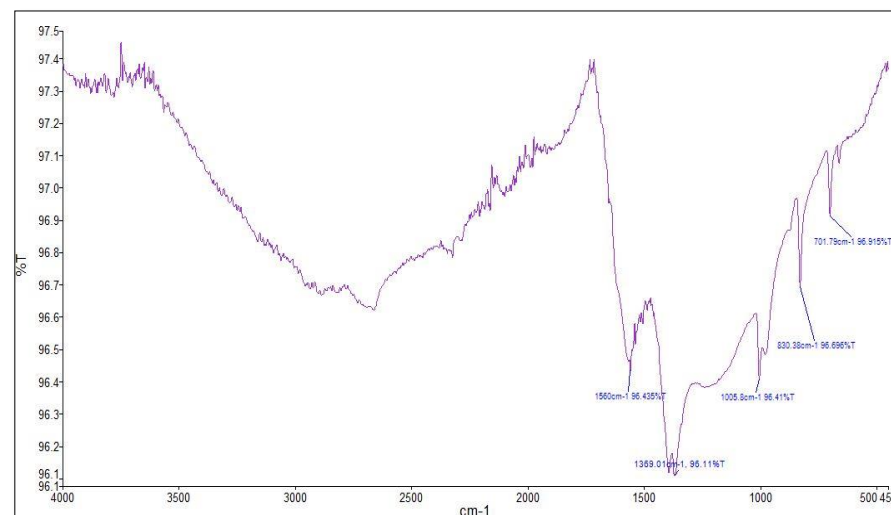
Espectro FTIR del C.A. a 600°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g



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

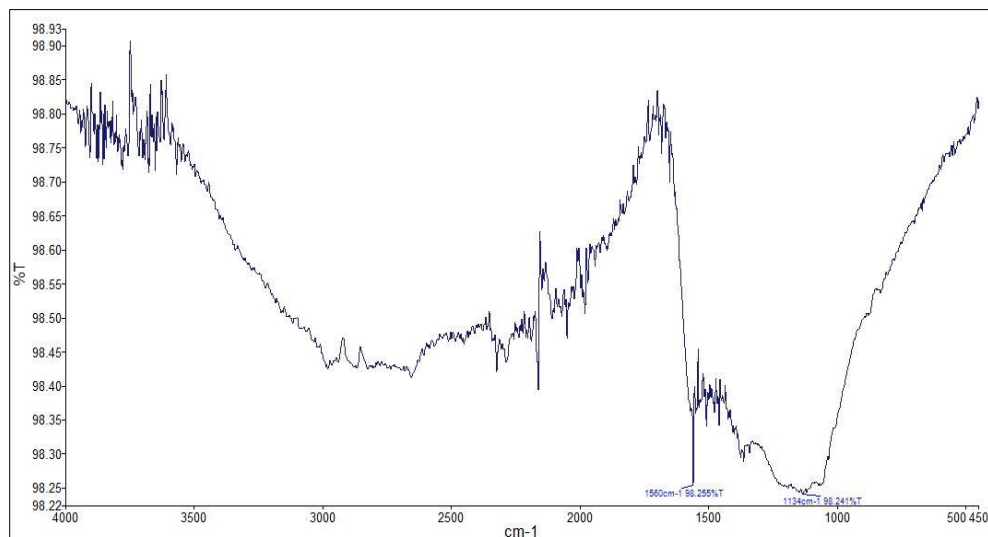


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 21 se observa a 2650 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2350 cm⁻¹ el ion (HPO₄)⁻², a 2125 cm⁻¹ los enlaces de los alquinos (C≡C), a 2050 cm⁻¹ el ion (SCN)⁻, a 1560 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1375 cm⁻¹ los sulfones, cloruros de sulfónidos (S=O), y a 1100 cm⁻¹ la presencia del ion (SO₄)⁻². En la figura 22 se observa a 2650 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2300 cm⁻¹ el ion (HPO₄)⁻², a 1560 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H), a 1369 cm⁻¹ los sulfones, cloruros de sulfónidos (S=O), a 1005 cm⁻¹ enlaces de las aminas (C-N), a 830 cm⁻¹ el ion (NO₃)⁻ y a 701 cm⁻¹ presencia del ion (HCO₃)⁻²

Figura 23

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

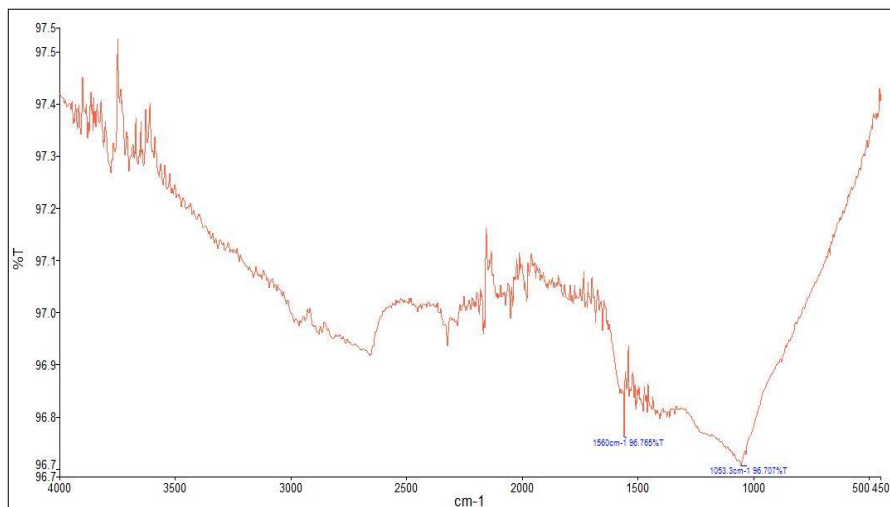


Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

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

Figura 24

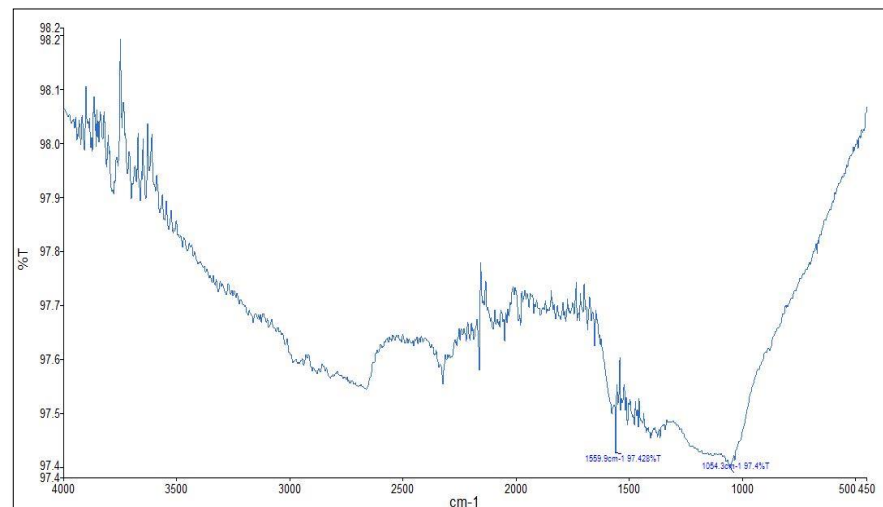
Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH relación de impregnación 0.5ml/g



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



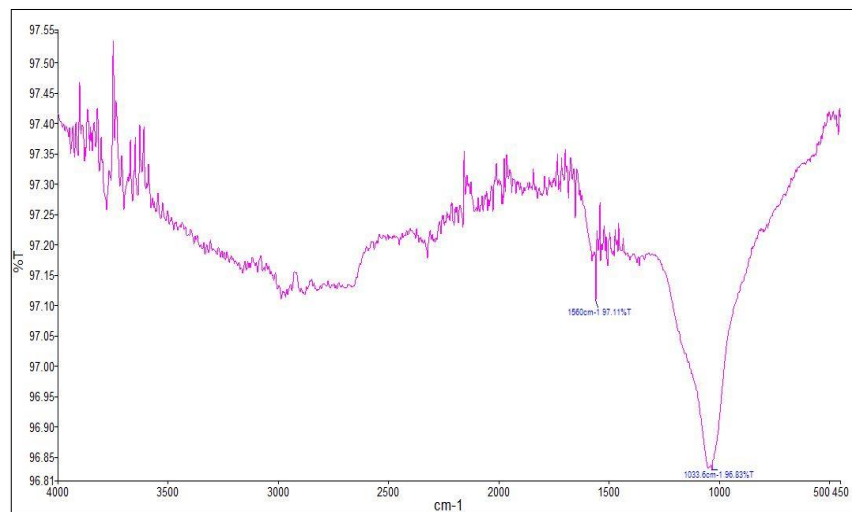
Nota. Reporte del laboratorio de Farmacognosia –UNT (2020)

En la figura 24 se observa a 2650 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2250 cm⁻¹ y a 2150 cm⁻¹ enlaces de alquinos (C≡C), a 2150 cm⁻¹ el ion (SCN)⁻, a 1560 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1053 cm⁻¹ presencia del ion (HPO₄)⁻².

En la figura 25 se observa a 2650 cm⁻¹ presencia de ácidos carboxílicos, a 2250 cm⁻¹ y a 2150 cm⁻¹ los enlaces de alquinos (C≡C), a 2050 cm⁻¹ el ion (SCN)⁻, a 1559 cm⁻¹ las aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1054 cm⁻¹ presencia del ion (HPO₄)⁻².

Figura 26

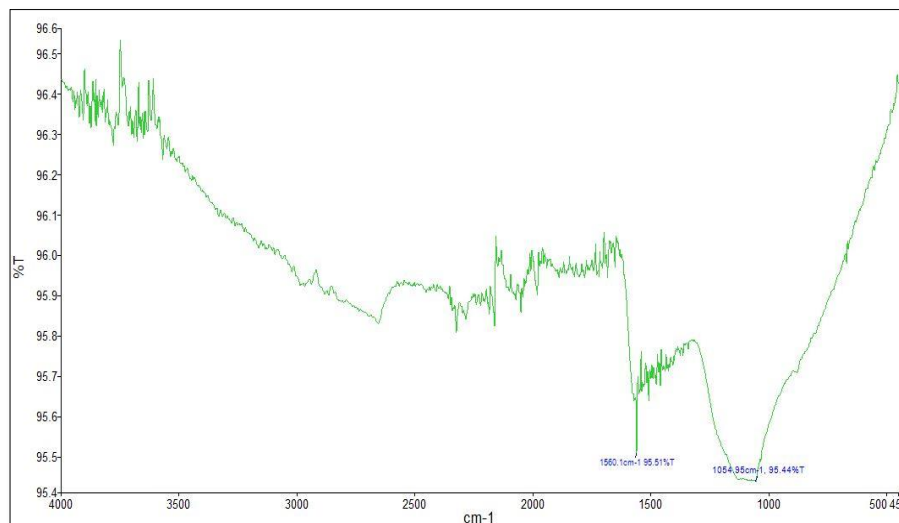
Espectro FTIR del C.A. a 900°C, con agente químico KOH e relación de impregnación 1ml/g



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 cm^{-1} presencia de alquenos (tensión) (C-H), a 2250 cm^{-1} muestra enlaces de alquinos ($\text{C}\equiv\text{C}$), a 2050 cm^{-1} el ion (SCN^-), a 1560 cm^{-1} aminas y amidas primarias y secundarias (flexión) (N-H) y a 1033 cm^{-1} presencia del ion (HPO_4)⁻². 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	
				X	6,703	67,03
				σ	0,04163	0,4163
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	
				X	6,803	68,03
				σ	0,170	1,7010
7	H_3PO_4	400	1		7,48	
8	H_3PO_4	400	1		7,09	
9	H_3PO_4	400	1		6,92	
				X	7,163	71,63
				σ	0,2871	2,871
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	
				X	3,657	36,57

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

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	
				X	3,26	32,60
				σ	0,03	0,3000
4	KOH	400	0,75		3,16	
5	KOH	400	0,75		3,15	

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

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 ₃ PO ₄	400	0,5		66,70
2	H ₃ PO ₄	400	0,5		66,90
3	H ₃ PO ₄	400	0,5		67,50
				X	67,03
				σ	0,4163
4	H ₃ PO ₄	400	0,75		66,10
5	H ₃ PO ₄	400	0,75		68,70
6	H ₃ PO ₄	400	0,75		69,30
				X	68,03
				σ	1,7010
7	H ₃ PO ₄	400	1		74,80
8	H ₃ PO ₄	400	1		70,90
9	H ₃ PO ₄	400	1		69,20
				X	71,63
				σ	2,871
10	H ₃ PO ₄	600	0,5		35,70
11	H ₃ PO ₄	600	0,5		37,20
12	H ₃ PO ₄	600	0,5		36,80
				X	36,57
				σ	0,7767
13	H ₃ PO ₄	600	0,75		34,70
14	H ₃ PO ₄	600	0,75		35,40
15	H ₃ PO ₄	600	0,75		35,30
				X	35,13
				σ	0,3786
16	H ₃ PO ₄	600	1		31,60
17	H ₃ PO ₄	600	1		31,60
18	H ₃ PO ₄	600	1		32,40
				X	31,87
				σ	0,4619
19	H ₃ PO ₄	900	0,5		77,20
20	H ₃ PO ₄	900	0,5		61,60
21	H ₃ PO ₄	900	0,5		59,60
				X	66,13
				σ	9,6360
22	H ₃ PO ₄	900	0,75		72,20
23	H ₃ PO ₄	900	0,75		73,70
24	H ₃ PO ₄	900	0,75		72,10
				X	72,67

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

				σ	2,3629
52	KOH	900	1		28,60
53	KOH	900	1		32,60
54	KOH	900	1		33,40
				X	31,53
				σ	2,5716

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.
Modelo corregido	17121,219 ^a	5	3424,244	276,066	0,000
Intersección	103560,723	1	103560,723	8349,177	0,000
Agente Químico	9998,723	1	9998,723	806,108	0,000
Temperatura de Activación	4156,560	2	2078,280	167,553	0,000
Agente Químico* Temperatura de Activación	2965,936	2	1482,968	119,558	0,000
Error	595,378	48	12,404		
Total	121277,320	54			
Total, corregido	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_3PO_4 , 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 H_3PO_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
- Barrantes, F. D. (2017). *Cinética de adsorción del Mn²⁺ 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, Arequipa]. <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 obteniendo 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. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 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⁺² en soluciones sintéticas*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3442>

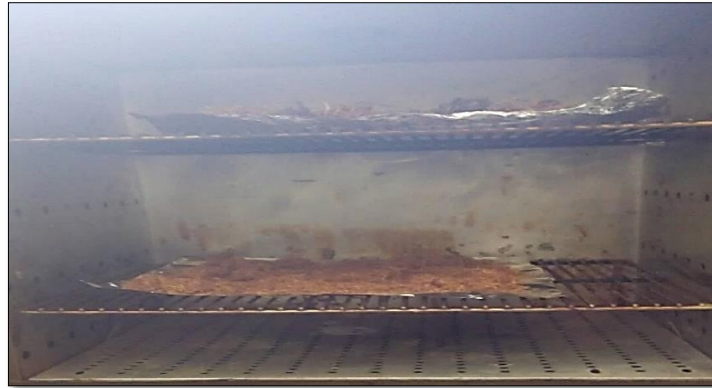
- Sánchez, C. (2018). *Caracterización de carbón activado a partir de bambú “Guadua Angustifolia Kunth” utilizando el método químico*[Tesis Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3340>
- Savova, D., Apak, E., Yardim, F., Petrov, N., Budinova, 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 hidro (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.