

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA
TESTA DE LA ALMENDRA DE CACAO CON ÁCIDO FOSFÓRICO
A 60%”**

PRESENTADO POR:

JOHN SMITH RODRÍGUEZ ESTACIO

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

Asesor: Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos

Co- Asesor: Mg. Adán Díaz Ruiz

Co - Asesor: Mg. Marlo Alberto Pérez Jiménez

Jaén – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S. Cruz Hoyos', is written over a horizontal line.

Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos

ASESOR



ANEXO 08

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Sala de Docentes de la Universidad Nacional de Jaén ubicado en el distrito de Jaén de la Provincia de Jaén, siendo las 15:30 horas del día dieciocho de junio del año 2019, se reunieron los docentes ordinarios: Mg. Polito Michael Huayama Sopla (Presidente de Jurado), Ing. Mg. Sc. James Tirado Lara (Secretario) y el Dr. Eudualdo Díaz Gonzales (Vocal), en su condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de la Tesis intitulada: **"PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA TESTA DE LA ALMENDRA DE CACAO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A 60%"**, cuyo autor es el Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias: **JOHN SMITH RODRÍGUEZ ESTACIO** y Asesor, **Mg. SEGUNDO ALIPIO CRUZ HOYOS**, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis..

Luego de la sustentación y defensa de la Tesis, el Jurado Evaluador **ACORDO: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias **JOHN SMITH RODRÍGUEZ ESTACIO** obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota en escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
14	CATORCE	APROBADO

En señal de conformidad, se procede a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Mg. Polito Michael Huayama Sopla
Presidente Jurado Evaluador

Ing. Mg. Sc. James Tirado Lara
Secretario del Jurado Evaluador

Dr. Eudualdo Díaz Gonzales
Vocal del Jurado Evaluador



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, JOHN SMITH RODRÍGUEZ ESTACIO,
identificado con DNI N° 76692679, estudiante/egresado o Bachiller de la Carrera Profesional de
INGENIERIA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
de la Universidad Nacional de Jaén; declaro bajo juramento que Soy Autor del **Trabajo de Investigación:**
PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA TESTA DE ALHENDRA
DE CACAO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A 60%.

1. El mismo que presento para optar: () Grado Académico de Bachiller (☒) Título Profesional
 2. El **Trabajo de Investigación** no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
 3. El **Trabajo de Investigación** presentado no atenta contra derechos de terceros.
 4. El **Trabajo de Investigación** no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
 5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
- Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del **Trabajo de Investigación**, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del **Trabajo de Investigación**.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 17 de julio de 2019.


Firma – Huella Digital

DEDICATORIA

A Dios, por darme las fuerzas para seguir adelante ante, los obstáculos presentes en la vida; permitiendo terminar mis estudios, y a la vez concluir con la presente investigación.

A mi madre Luz Magdalena Estacio, una mujer de esfuerzo, la que siempre me brindó su apoyo incondicional para concluir mis estudios.

A mis abuelos Augusto Estacio Huamán y Teodosia Delgado Ríos, por brindarme su apoyo a pesar de adversidades de la vida, y brindarme sus consejos de superación académica.

AGRADECIMIENTO

Al Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos por haberme guiado, asesorado y a la vez permitirme el acceso al laboratorio de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Al Mg. Adán Díaz Ruiz, Co – asesor; por apoyarme, orientado en el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Mg. Marlo Alberto Pérez Jiménez Co – asesor, gerente de la empresa Peruinka Industrias S.A., por haberme facilitado con la testa de almendra de cacao.

A mi alma mater Universidad Nacional de Jaén, y a la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXO	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Generalidades del cacao.....	4
2.2.1. Historia del cacao	4
2.2.2. Definición del fruto de cacao	4
2.2.3. Taxonomía.....	5
2.2.4. Variedades de cacao	5
2.2.5. Producción de cacao en el Perú.....	6
2.2.6. Estructura del grano de cacao.....	6
2.2.7. Composición físico-químico de la testa de almendra de cacao	7
2.2.8. Descripción de la composición más importante de la cascarilla de cacao	8
A. Fibra	8
B. Cenizas	9
2.2.9. Procesos donde se obtiene la testa de almendra de cacao	9
2.3. Carbón activado	10
2.3.1. Historia.....	10
2.3.2. Concepto de carbón activado	10
2.3.3. Característica para producir un carbón activado	11
2.3.4. Clasificación de acuerdo a su función.....	11
2.3.5. Clasificación del carbón activado de acuerdo al tamaño de diámetros.....	11
2.3.6. Número de mallas estándar americanas	12
2.3.7. Producción de carbón activado en el Perú	13
2.3.8. Importación de Carbón Activado en el Perú	13
2.3.9. Usos del carbón activado	14
2.4. Proceso de Activación para producir carbón activado	15

2.5.	Reactivo empleado en la activación química	15
2.5.1.	Ácido fosfórico	15
2.6.	Parámetros físico.-químicos del carbón activado	16
2.6.1.	pH	16
2.6.2.	Humedad	16
2.6.3.	Materia volátil	17
2.6.4.	Cenizas	17
2.6.5.	Carbón fijo	17
2.6.6.	Densidad aparente.....	17
2.6.7.	Capacidad de adsorción.....	18
III.	METODOLOGÍA	19
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	19
3.2.	MATERIALES	19
3.2.1.	Materia prima.....	19
3.2.2.	Materiales.....	19
3.2.3.	Reactivos	20
3.2.4.	Equipos.....	20
3.3.	METODOLOGÍA	20
3.3.1.	Diseño Experimental	24
3.3.2.	Prueba Estadística.....	24
3.3.3.	Método de evaluación físico-químico del carbón activado	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1.	Resultados de método de análisis.....	29
4.1.1.	Características físico-químicas de las muestras de carbón activado de la testa de almendra de cacao.....	29
4.1.2.	Análisis de varianza para los efectos principales e interacción de las muestras.....	33
4.2.	Discusión	44
V.	CONCLUSIONES.....	48
VI.	RECOMENDACIONES.....	49
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	50
VIII.	ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cacao.....	5
Tabla 2. Análisis de la cascara de cacao fermentada y tostada.	7
Tabla 3. Rangos de mallas estándares	12
Tabla 4. Importación de carbón activado entre los años (2005-2014)	13
Tabla 5. Propiedades físico – químicas del ácido fosfórico	16
Tabla 6. Numero de ensayos.....	24
Tabla 7. Varianza para los efectos principales e interacción de las muestras.	33
Tabla 8. ANVA, para la variable dependiente: Humedad.....	34
Tabla 9. Prueba Post-Anva para la temperatura al 95 % de confianza.....	34
Tabla 10. Post-Anva para el tiempo al 95% de confianza.....	35
Tabla 11. ANVA, para la variable dependiente: Densidad	35
Tabla 12. Post-Anva, para la temperatura al 95% de confianza.....	36
Tabla 13. Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza.....	36
Tabla 14. ANVA, para la variable dependiente: pH.....	37
Tabla 15 . Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza.....	38
Tabla 16 . Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza.....	38
Tabla 17. ANVA, para la variable dependiente: Cenizas.....	39
Tabla 18. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza.....	39
Tabla 19. Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza.....	40
Tabla 20. ANVA, para la variable dependiente: Materia Volátil.....	40
Tabla 21. ANVA, para la variable dependiente: Carbón Fijo	41
Tabla 22. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza.....	42
Tabla 23. Post-Anva, para el tiempo al 95% de confianza.....	42
Tabla 24. ANVA, para la variable dependiente: Capacidad de adsorción.	43
Tabla 25. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza.....	43
Tabla 26. Post – Anva, para el tiempo al 95% de confianza	44
Tabla 27. Promedios, desviación estándar, coeficiente de variabilidad de los parámetros físicoquímicos.....	55
Tabla 28. Parámetros físicos-químicos del carbón activado obtenido.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal del cacao	4
Figura 2. Testa de almendra de cacao.....	7
Figura 3: Flujograma de la Producción de Carbón Activado a partir de la Testa de la Almendra de Cacao con Ácido Fosfórico a 60%.	23
Figura 4. Trituración de la testa de almendra de cacao.	57
Figura 5. Testa de almendra de cacao.....	57
Figura 6. Masa total para obtener carbón activado.....	57
Figura 7. Tamizado de la testa de almendra de cacao.	57
Figura 8. Lavado una vez con agua destilada hasta obtener un pH entre 0.7 – 0.8.....	58
Figura 9. Impregnación de la testa de almendra de cacao con ácido fosfórico a 60% de concentración.....	58
Figura 10. Deshidratación de la testa de almendra de cacao, después de haberse impregnado.	58
Figura 11. Carbonización a 300°C.	58
Figura 12. Carbonización a 250 °C.	59
Figura 13. Carbonización a 200 °C.	59
Figura 14. Tamizado del carbón activado	59
Figura 15. Disminución de la granulometría del carbón activado.....	59
Figura 16. Carbón activado granular de la testa de almendra de cacao.....	60
Figura 17. Envasado de carbón activado	60
Figura 18. Midiendo el pH del carbón activado.	60
Figura 19. Midiendo el volumen del carbón activado para determinar la densidad.....	60
Figura 20. Incineración a 650 °C para determinar cenizas.....	61
Figura 21. Incineración a 950 °C para determinar la materia volátil	61
Figura 22. Análisis Espectrofotométrico de la capacidad de adsorción.	61
Figura 23. Deshidratación a 105 °C para determinar la humedad.....	61
Figura 24. Observando la decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado.....	62
Figura 25. Características del carbón activado óptimo.	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de Humedad para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.	29
Gráfico 2. Densidad para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.	30
Gráfico 3. pH para los diversos tratamiento de 200 °C, 250 °C y 300 °C con sus respectivos tiempos.	30
Gráfico 4. Porcentaje de cenizas para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.	31
Gráfico 5. Porcentaje de materia volátil para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.....	31
Gráfico 6. Porcentaje de Carbón Fijo para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.	32
Gráfico 7. Capacidad de adsorción para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.	32

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Efecto de la temperatura y tiempo de carbonización en la producción de carbón activado.....	55
Anexo 2. Fotos del procedimiento de preparación del carbón activado.....	57
Anexo 3. Fotos de la evaluación fisicoquímica del carbón activado.....	60
Anexo 4. Características del carbón activado producido óptimo	62
Anexo 5.. Norma Técnica Peruana de Carbón Activado.....	63

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue producir carbón activado a partir de la testa de almendra del cacao. Las muestras fueron proporcionadas por la empresa Peruinka Industrias S.A. Para la preparación se empleó el método de activación química empleando el ácido fosfórico al 60% de concentración. Las variables son la temperatura de carbonización (200 °C, 250° y 300 °C) y tiempo de carbonización (90, 120 y 150 minutos). Para caracterizar el mejor producto producido se evaluó las propiedades fisicoquímicas del carbón activado y la capacidad de adsorción empleando el colorante azul de metileno, dichas propiedades fueron evaluadas por la Norma Técnica Peruana 207.024. El tratamiento óptimo encontrado para la producción de carbón activado con testa de almendra de cacao corresponde a una temperatura y tiempo de carbonización de 300 °C y 150 minutos respectivamente. Las características físico-químicas del producto obtenido fueron: Humedad 1.9413 %, Densidad 0.5115 g/cm³, pH 3.19, Cenizas 25.4045 %, Materia Volátil 67.1078%, y Carbón Fijo 7.4876.

Palabras claves: Carbón activado, testa de almendra de cacao, valor agregado de residuos de la industria alimentaria.

SUMMARY

The objective of this research was to produce activated carbon from the almond seed of cocoa. The samples were provided by the company Peruinka Industries S.A. For the preparation, the chemical activation method was used using phosphoric acid at 60% concentration. The variables were the carbonization temperature (200 ° C, 250 ° and 300 ° C) and carbonization time (90, 120 and 150 minutes). To characterize the best product produced, the physicochemical properties of the activated carbon and the adsorption capacity were evaluated using the methylene blue dye, these properties were evaluated by the Peruvian Technical Standard 207.024. The optimum treatment found for the production of activated charcoal with an almond seed of cocoa corresponds to a temperature and carbonization time of 300 ° C and 150 minutes respectively. The physicochemical characteristics of the product obtained were: Humidity 1.9413%, Density 0.5115 g / cm³, pH 3.19, Ashes 25.4045%, Volatile Matter 67.1078%, and Fixed Carbon 7.4876.

Key words: Activated charcoal, almond seed of cocoa, added value of waste from the food industry.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú en el año 2016 a nivel mundial represento el 3.4 % de la producción, consiguiendo 80, 400 TM de cacao con un total de 140,000 hectáreas cosechadas (Sánchez, 2017). El cacao está teniendo gran impacto en la demanda debido a los distintos usos que se le puede brindar tanto en cosméticos, bebidas e industria chocolatera. En el beneficio del chocolate, sólo se emplea el 90 % del grano de cacao y el restante 10 % son mermas de la cascarilla del fruto (Cortes y Limpio, 2013).

La industria alimentaria genera diversos tipos de residuos que muchas veces van a terminar en el vertedero ocasionando problemas ambientales, es por ello, que se ha visto la necesidad de producir carbón activado a partir de la testa de almendra de cacao, de tal modo dar un valor agregado a este residuo. En efecto la producción de carbón activado puede ser utilizado en la industria misma como: decoloración de licores, aguas residuales, eliminación de olores, etc., debido a su alta capacidad de adsorción que presenta.

La producción de carbón activado, se puede obtener mediante activación física o química, donde en la presente investigación se utilizó el método de la activación química empleándose como agente activante al ácido fosfórico, la cual los resultados obtenidos fueron evaluados según la Norma Técnica Peruana 207.024, como se citó en Sangay, 2010)

El objetivo general de la presente investigación que se planteó fue producir carbón activado a partir de la testa de almendra del cacao con ácido fosfórico a 60% y como objetivos específicos: 1) determinar la temperatura y tiempo óptimo de carbonización de la testa de la almendra del cacao, 2) determinar las características físico-químicas del carbón activado óptimo con la testa de almendra del cacao y 3) determinar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Burgos y Jaramillo (2015), de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Realizaron una investigación sobre “Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, provincia del Guayas”. En este trabajo se manejaron los siguientes variables como temperatura y tiempo en la carbonización tanto para los residuos de cacao y de coco. En este estudio se demostró que el mejor tratamiento para la elaboración de carbón activado fue utilizando una temperatura y tiempo de 200 °C por 120 minutos respectivamente, donde se concluye que el carbón activado a partir de la cascara de coco presenta mayor adsorción que el de cacao.
- Hidalgo y Rivera (2017), de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, se realizó un estudio denominado “Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera”, la cual se utilizó como adsorbente el bagazo de café, para la cual se manejaron variables como tiempo 400 y 500 °C y concentración 20 % y 40 % de ácido fosfórico. Donde llegaron a la conclusión que las condiciones óptimas son de 400 °C por 4 horas utilizando ácido fosfórico a una concentración de 40%.
- Lazo (2015), de la Universidad Nacional del Callao, Perú. Se ejecutó una investigación titulada “Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco”, teniendo como objetivo determinar el mayor porcentaje de adsorción entre la activación física o química, empleándose (450 – 800 °C) con vapor de agua y cloruro de zinc, hidróxido de potasio, ácido fosfórico, ácido sulfúrico (500 a 1000 °C) respectivamente. Donde se llegó a la conclusión que la activación química a 1000 °C, permite absorber mayor porcentaje de olores y colores de agua.

- Cárdenas (2015), de la Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali, Perú. Se llevó a cabo una investigación de “Evaluación del Carbón Activado por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba)” donde se empleó como materia prima el aserrín de copaiba, en la cual se utilizó método químico empleándose como agentes activantes el ácido fosfórico al 85 % y cloruro de Zinc; en efecto en la investigación se demostró que el carbón activado impregnado con cloruro de zinc presenta mayor absorción a diferencia del ácido fosfórico.
- Soto (2017), de la Universidad Cesar Vallejo, Perú, se llevó a cabo una investigación titulada “Efecto del carbón activado de la *Theobroma cacao* en la adsorción de hierro del agua del río Moche, 2017”; la presente investigación tuvo como objetivo la adsorción de hierro de las muestras del río Moche, en consecuencia se manipularon variables como granulometría (20, 50, 0 y 100 mesh) y tiempo de residencia (30, 60, 90 y 120 min), por lo consiguiente, se determinó que con una granulometría de 100 mesh y 120 minutos presenta mayor porcentaje de adsorción.
- Reátegui (2017), de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se efectuó un trabajo de investigación “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (*Curcubita ficifolia bouché*)”, teniendo como objetivo demostrar si es posible obtener carbón activado del fruto de calabaza, para ello se manipularon variables como agente activante (ácido fosfórico y cloruro de Zinc), concentración (ácido fosfórico al 30 y 60 por ciento; cloruro de zinc al uno por ciento) y tiempo de activación como 45, 60 y 75 minutos, en efecto concluye que con ácido fosfórico al 30 % y 60 minutos de activación presenta mayor adsorción.

2.2. Generalidades del cacao

2.2.1. Historia del cacao

La planta de cacao es originario de América del Sur, particularmente del alto Amazonas y Orinoco, por el este de la cordillera de los Andes, actualmente están ubicadas los países de Perú, Brasil, Venezuela, Colombia, Ecuador y Guayanas (Castilla y Jiménez, 2016).

2.2.2. Definición del fruto de cacao

El fruto de cacao o llamada mazorca tiene una medida de largo de 25 cm y ancho 15 cm. La textura puede variar desde lisa hasta rugosa, además presenta colores entre blanco, verde, rojo, amarillo, naranja. Estos factores dependen de la variedad de cacao (ver Figura 1). Asimismo la mazorca puede albergar entre 25- 70 unidades de granos o semillas (Castilla y Jiménez, 2016).

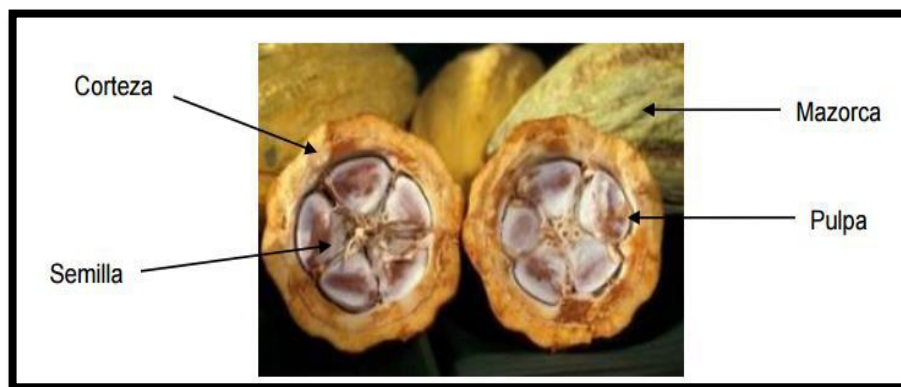


Figura 1. Corte transversal del cacao

Fuente: Quiñones 2010 (citado en Castilla y Jiménez, 2016, p. 19).

2.2.3. Taxonomía

Tabla 1. Taxonomía del cacao

TAXONOMÍA DEL CACAO	
<i>Reino</i>	: <i>Plantae</i>
<i>División</i>	: <i>Magnoliophyta</i>
<i>Clase</i>	: <i>Magnoliopsida</i>
<i>Orden</i>	: <i>Malvales</i>
<i>Familia</i>	: <i>Sterculiaceae</i>
<i>Género</i>	: <i>Theobroma</i>
<i>Especie</i>	: <i>Cacao</i>

Fuente: Condezo, 2011 (citado en Del Águila, 2017, p. 4-5)

2.2.4. Variedades de cacao

- **Criollo:** Se cultiva en países de América de Sur, como: Perú, Ecuador, Venezuela, Argentina, Bolivia, además algunos países de América Central (Guatemala, Honduras). Cabe recalcar que dicha variedad es ideal por su atributo para la elaboración de chocolates más selectos. La planta de esta variedad es quebradizo y de insuficiente provecho. Su textura de la cascara del grano es delgada, blanda y aromatizada. Asimismo la producción de la variedad criollo tiene un máximo del 10% de producto a nivel mundial (Morales, 2015, p. 7).
- **Forastero:** Esta variedad se caracteriza por la textura voluminosa que posee la cascara, además dura y escasa aroma. Cabe destacar dicha variedad necesita un profundo tostado, para contrarrestar sus aromas indeseados (Morales, 2015, p. 7).

- **Trinitario** “Poblaciones híbridas de cruzamientos espontáneos de criollos y amelonados, tienen características de mazorcas y semillas muy similar o en forma intermedia entre los dos grupos de cacaos de los cuales se originan” Johnsom et al, 2008 (citado en Burga, 2016, p. 9).

2.2.5. Producción de cacao en el Perú

“El Perú está clasificado según el Convenio Internacional de Cacao 2010 de la ICCO (Organización Internacional del Cacao), como el segundo país productor y explotador de cacao fino después de Ecuador” Armando, 2015 (citado en Soto 2017, p. 17).

2.2.6. Estructura del grano de cacao

“La NTP. ISO 2451-2011 establece que el grano de cacao es la semilla proveniente del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) sana, limpia, fermentada adecuadamente y secada” INDECOPI 2011 (como se citó en Castilla y Jiménez, 2016, p. 20). Asimismo se establece que la humedad presente en el grano de cacao es de 8 % con la finalidad de frenar crecimiento de microorganismos (Castilla y Jiménez, 2016).

a. Cotiledón

Se encuentra formado por dos variedades de células, entre ellas, células de reserva responsable de almacenar la grasa y las células con compuestos de polifenoles (Mundaca, 2016).

b. Testa de la almendra de cacao (Ver figura 2)

“Es el producto que se obtiene en la operación de quebramiento, donde se separan envolturas corticales, las cascarillas, así como el corazón o germen, que tiene un sabor amargo” (Durán, 2013, p. 574).

Además, estas “Representan cerca del 12 % de la semilla, estas son obtenidas después del proceso de tostado, son tratadas usadas como fuente alimenticia para animales gracias a su contenido de fibra dietaría, pero el contenido de alcaloides restringe su uso”(Marina y García, 2012, p. 20).



Figura 2. Testa de almendra de cacao

Fuente: Propia

2.2.7. Composición físico-químico de la testa de almendra de cacao

Son muchos factores que intervienen en la variabilidad de la composición química del cacao, entre ellos la variedad de cacao, tipo de fermentación, procedencia del grano de cacao (Burga, 2016).

Tabla 2. Análisis de la cascara de cacao fermentada y tostada.

Composición	Valores %
Humedad	5.4 – 15.3
Proteína cruda	6.3 - 10.4
Fibra cruda	23.4 – 36.2
Componentes del extracto etéreo	0.5 – 2.4
Extracto de nitrógeno libre	31.8 – 61.4
Cenizas	6.0 – 10.8

Fuente: EFSA, 2008 (citado en Tolentino, 2014, p. 6).

2.2.8. Descripción de la composición más importante de la cascarilla de cacao

A. Fibra

“La fibra cruda o bruta representa la parte fibrosa e indigerible de los alimentos vegetales, químicamente está constituida por compuestos poliméricos fibrosos carbohidratados (celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas, mucílagos) y no carbohidratados (lignina, polímero de fenilpropano)” (López, 2013, p. 28).

- **Celulosa**

Es un polisacárido formado por unidades de anhidra glucosa las cuales están unidas por enlaces β 1-4 glucosídicos de al menos 500 residuos de β -D-glucosa unidos covalentemente. En la pared secundaria tiene su máximo desarrollo mientras que en la pared primaria son más cortas Alonso, 2011 (como se citó en Loza e Inga, 2018, p. 39)

- **Hemicelulosa**

Son un grupo heterogéneo de polisacáridos (de pentosas, sobre todo D-xilano) ramificados que se unen fuertemente entre sí y las microfibrillas de celulosa, mediante puentes de hidrogeno, tienen estructura amorfa o paracristalina. Las moléculas de hemicelulosa tienen de 200 a 500 monosacáridos por molécula y se sintetizan en el aparato de Golgi. La Hemicelulosa más abundante es el xiloglucano Alonso, 2011 (como se citó en Loza e Inga, 2018, p. 39)

- **Lignina**

Este polímero además de ser abundante tiene una elevada: “variabilidad estructural dependiendo de la especie y el tejido, y también del tipo de célula. La deposición de la lignina en las paredes celulares proporciona rigidez y dureza a los tejidos vegetales, a la vez que los impermeabiliza” (Eugenia, 2005, p. 24).

B. Cenizas

Suquilanda, M. (como se citó en López, 2013) sostiene:

El concepto de residuo de incineración o cenizas se refiere al residuo que queda tras la combustión (incineración) completa de los componentes orgánicos de un alimento en condiciones determinadas, una vez que se eliminan otras impurezas posibles y partículas de carbono procedentes de una combustión incompleta, este residuo se corresponde con el contenido de minerales del alimento. (p. 28)

2.2.9. Procesos donde se obtiene la testa de almendra de cacao

La testa de almendra de cacao se obtiene como subproducto en la tostación de los granos de cacao para la producción de pasta de cacao. A continuación se describe los pasos generales del proceso:

a. Recepción de materia prima

Los granos de cacao, son recibidos de acuerdo a las características físico – organolépticas (color, sabor, olor), a la vez cumpliendo con la humedad característica de 8 %, en caso que el producto no reúne las condiciones se procede al rechazo de la materia prima (Plan Haccp Peruinka, 2018).

b. Tostado

Tiene como propósito reducir el porcentaje de agua. Del mismo modo nos permite eliminar aromas no deseables, para ello se somete a temperatura entre 130 °C a 160 °C y tiempo de 30 a 45 minutos (Plan Haccp Peruinka, 2018).

c. Descascarillado

Esta etapa la temperatura de cacao debe estar entre 20 – 35 °C, mediante fricción se separa el residuo (testa) del cacao (Plan Haccp Peruinka, 2018).

2.3. Carbón activado

2.3.1. Historia

El carbón activado data su primera utilización en Inglaterra, por los años 1794, para la cual se utilizó en la decoloración de azúcar. Asimismo en 1854, se instalan filtros de dicho producto en los derrames por disposición de un gobernador de Inglaterra. Posteriormente por el año 1872, surgen mascarillas utilizando filtros con finalidad de impedir respirar mercurio en el proceso químico de la industria (León, 2012).

2.3.2. Concepto de carbón activado

El carbón activado es un adsorbente versátil, teniendo alto grado de porosidad, además tiene una elevada área superficial entre 500 y 1500 m²/g, en efecto tiene una alta capacidad de adsorción de diferentes elementos como metales pesados, turbidez, colorantes, olores, etc (Reátegui, 2017).

2.3.3. Característica para producir un carbón activado

Bardalez (2005), menciona que la obtención de carbón activado influye esencialmente dos factores, como: el material a utilizar y la etapa de activación.

2.3.4. Clasificación de acuerdo a su función

El carbón activado se clasifica de acuerdo a su función en poros de adsorción y poros de transporte:

- **Poros de adsorción:** “Los poros de adsorción consiste en espacios entre placas gráficas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retener” (Bardalez, 2005, p. 25).

- **Poros de transporte:** Bardalez (2005) sostiene que:

Esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y lo hace con una fuerza insuficiente para retenerlo, estos poros actúan como caminos de difusión; tienen poca influencia en la capacidad del CA, pero afecta a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción. (p. 25)

2.3.5. Clasificación del carbón activado de acuerdo al tamaño de diámetros.

Pilamonta (2013, p.7) menciona que la clasificación se realiza de acuerdo a la porosidad, además está establecido de acuerdo a la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists):

- **Microporo:** Son aquellos poros que poseen un diámetro inferiores a 2 nm (nanómetros).
- **Mesoporos:** Estos se encuentran entre diámetro de poros de 2 a 50 nm (nanómetros)
- **Macroporos:** Este grupo se caracteriza por tener diámetros de poros superiores a 50 nm (nanómetros)

El uso de los microporos es empleado para retener olores, sabores entre otros solventes, debido a que posee diminutos poros (Obregón, 2016). A diferencia de “los macroporos atrapan moléculas grandes. Algunas son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica” (Obregón, 2016, p. 14).

2.3.6. Número de mallas estándar americanas

Tabla 3. Rangos de mallas estándares

ABERTURA		MALLA	ABERTURA
MALLA U.S.	(mm)	U.S.	(mm)
¼	6.35	30	0.595
4	4.76	35	0.5
5	4	40	0.42
6	3.36	45	0.354
8	2.38	50	0.297
10	2	60	0.25
12	1.68	70	0.21
14	1.41	80	0.177
16	1.19	100	0.149
18	1	200	0.074
20	0.841	325	0.044
25	0.707	400	0.037

Fuente: Sevillano y Torres, 2013, p. 21

2.3.7. Producción de carbón activado en el Perú

“En el Perú, alrededor del 99 % del carbón activado que se consume es importado, lo que representa un monto de importación de 6´674 257 millones de USD FOB/año, y un volumen anual de 4443.159 toneladas para el año 2014” (Lozano, Barreto y Sepúlveda, 2015, p. 2). El consumo de este producto se debe a que tiene diversidad en su utilidad.

2.3.8. Importación de Carbón Activado en el Perú

Como se observa en la Tabla 4, desde años atrás se observa un déficit en el abastecimiento nacional de carbón activado, en consecuencia el Perú tiene que importar grandes cantidades de dicho producto. Además se observa que a medida que pasan los años, se importa mayor cantidad de carbón activado.

Tabla 4. Importación de carbón activado entre los años (2005-2014)

Año	Peso neto	FOB/US\$
2005	1 155 861	1 593 812
2006	1 023 661	1 390 158
2007	1 402 028	2 016 535
2008	2 111 521	3 151 752
2009	2 846 585	4 187 873
2010	2 187 540	3 595 730
2011	2 471 722	4 376 671
2012	2 801 013	6 190 646
2013	3 276 924	6 926 485
2014	4 443 159	6 674 257

Fuente: Veritrade 2015 (como se citó en Lozano, Barreto y Sepúlveda, 2015 p. 22)

2.3.9. Usos del carbón activado

El carbón activado tiene múltiples usos como filtros para purificar agua, aire y gases, además adsorbe olores, sabores, aceites (Cortez y Limpio, 2013).

Asimismo pueden darse otras aplicaciones:

- **Prevenir la madurez prematura de las frutas.** Mediante el uso de carbón activado se impide que los frutos tengan una madurez rápida (Lozano, et al, 2015, p. 12).
- **Decoloración de licores.** “Whisky, cerveza, vodka y otros licores son mejorados por tratamientos con carbón activado especialmente para la eliminación del color que adquieren estas bebidas después de la destilación” (Lozano et al., 2015, p.13).
- **Tratamiento de agua.** “Se usa en los procesos de separación de iones de soluciones, como la suavización o ablandamiento de agua y la desmineralización, también en el tratamiento de agua potable y de aguas residuales” (García y Machado, 2011, p.31).
- **Tratamiento de gases.** “Desodorante en filtros de cigarrillos máscaras anti-gases, emisión de gases de automóviles y en las campanas sobre las cocina integrales” (Lazo, 2015, p.33).
- **Purificación de aire.** “Adsorbe solventes orgánicos” (Lazo, 2015, p.33).

2.4. Proceso de Activación para producir carbón activado

A. Activación química

Para este tipo de activación se emplean agentes químicos como cloruro de Zinc (ZnCl_2), Hidróxido de Potasio (KOH), Ácido fosfórico (H_3PO_4), para luego mezclar con el adsorbente, además este tipo de activación se lleva a cabo mediante deshidratación de la materia prima impregnada con agente químico entre temperatura 400 – 600 °C, el agente químico a tratar va influir en la temperatura de la activación química (Obregón, 2016, p. 16).

B. Activación física

“ Los gases más utilizados son el vapor de agua, el dióxido de carbono y el oxígeno; así como también los gases de cloro, azufre, amonio y otras sustancias que tienen también efectos de activación pero son poco usados” (Sánchez, 2018, p, 28).

2.5. Reactivo empleado en la activación química

2.5.1. Ácido fosfórico

El ácido fosfórico es un “reactivo químico, sin color, también tiene presentación en forma de cristales rómbicos” Según Sax, 1979 (como se citó en Gonzales y Teruya, 2004, p. 13).

Tabla 5. Propiedades físico – químicas del ácido fosfórico

<i>Propiedades físico- químicas</i>	
Reactivo Ácido Fosfórico	: H_3PO_4
Peso molecular	: 98, 04
Punto de fusión	: 42,35 °C
Temperatura de enfriamiento	: 42,4°C
Densidad	: 1,864 (a 25 °C)
Presión de vapor	: 0, 0285 mm (a 20°C)

Fuente: Según Sax, 1979 (citado en Gonzales y Teruya, 2004, p. 13-14)

2.6. Parámetros físico.-químicos del carbón activado

2.6.1. pH

Los carbones activados poseen pH entre 5.5 – 8.0. “En el caso de un carbón que se activa con ácido fosfórico, el producto que sale del proceso de fabricación tiene fosfatos que al disolverse en agua se convierten en ácidos y por lo tanto disminuyen el pH” De Voys 1983 (como se citó en Lapo, 2014, p. 33).

2.6.2. Humedad

Layseca, 2001 (como se citó en Zamora, 2010), menciona:

Que el tiempo de activación tiene influencia significativa en los resultados de humedad para carbones activados siendo esta relación inversamente proporcional. En apariencia, el tiempo de activación afecta de manera negativa la capacidad de adsorción o la capacidad de retención de agua por parte del carbón. (p.47)

2.6.3. Materia volátil

“El material volátil es un compuesto no deseado en el carbón activado, porque afecta su estructura interna y esto conlleva a que tenga menor área para su capacidad de adsorción” (Zamora, 2010, p.48). Asimismo la materia volátil no disminuye en el carbón activado al emplearse más concentración de agente químico en la activación (Sangay 2010, p. 40).

2.6.4. Cenizas

“El contenido de cenizas corresponde al porcentaje de residuo que queda al terminar con el análisis. Este reduce la activación general del Carbón activado Reduce la eficiencia de reactivación” Según Quisertec, 2002 (como se citó en Navarrete, Quijano y Vélez, 2014, p. 38).

2.6.5. Carbón fijo

Layseca, 2001 (como se citó en Sangay, 2010), afirma:

Sostiene que los valores de carbono fijo se relacionan de manera directa con la capacidad de adsorción; por lo que se espera que a mayor porcentaje de carbono fijo se obtendrá un mayor poder de adsorción y por consiguiente no resulta económico trabajar a altas concentraciones de agente activante. (p. 44)

2.6.6. Densidad aparente

Nos indica la calidad del carbón activado, es decir, mayor densidad el carbón activado es mejor calidad. Además “que a menor granulometría o tamaño de partícula, mayor densidad aparente” Layseca, 2001 (como se citó en Sangay 2010, p. 47).

2.6.7. Capacidad de adsorción

Lazo (2015), sostiene:

Es la propiedad más importante del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción, esta puede ser evaluada por la decoloración de las soluciones que contengan un tinte, el más usado es el azul de metileno que puede ser decolorado completamente. Una razón por la cual el carbón activado tiene una capacidad de adsorción es debido a la gran área superficial que presenta y que está contenido en un pequeño peso. (p. 39)

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental de la investigación: “Producción de Carbón Activado a partir de la Testa de la Almendra de Cacao con Ácido Fosfórico a 60%”, se llevó a cabo en el laboratorio de la carrera profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Se utilizó de la testa de almendra de cacao variedad criollo en una cantidad de 5 kg; procedente de la empresa PeruInka Industrias S.A., ubicada en la calle Inmaculada Concepción 995, provincia de Jaén departamento de Cajamarca.

3.2.2. Materiales

a. Envases

- Bolsa de polietileno, transparente con cierre hermético

b. Material del laboratorio

- Probeta de 100 cc
- Crisoles o capsulas de porcelana de 30 ml, 50 ml
- Vaso de precipitación de 10ml, 500 ml
- Espátula
- Papel filtro
- Pipeta de 1ml, 10 ml
- Mortero de porcelana
- Termómetro
- Bandeja de acero inoxidable
- Varilla de agitación

- Embudo de vidrio
- Guantes quirúrgicos
- Jarra de plástico 50 ml, 1000 ml
- Fiolas
- Guantes aislantes
- Desecador de vidrio

3.2.3. Reactivos

- Ácido fosfórico ($H_3 PO_4$) al 60 % de concentración
- Agua destilada
- Azul de metileno

3.2.4. Equipos

- Estufa marca KertLab.
- Mufla marca JSB
- Tamiz ASTM E – 11/2009, con una malla de 1.7 mm.
- Tamiz ASTM E -11, con abertura de 1 mm.
- Ph- metro marca Hanna.
- Balanza analítica H. W. Kassel S.A.C.
- Espectrofotómetro marca Unico

3.3. METODOLOGÍA

A continuación se describe el proceso de producción de carbón activado.

A. Recepción de materia prima

La testa de almendra de cacao, obtenido en la empresa Peruinka Industrias S.A., en una cantidad de 5 kg se colocaron en bolsas de polietileno. Para ello se tuvo en cuenta que dicha materia prima no exceda de 2 días después de realizarse el descascarillado, por motivo que se puede contaminar. Luego la materia prima fue llevada al laboratorio de

la carrera profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

B. Primer triturado

Se realizó la trituración de la materia prima en un mortero de porcelana, esta etapa se realizó con sumo cuidado para evitar fragmentar el mortero.

C. Primer tamizado

Luego de triturar se procedió a tamizar la testa de almendra de cacao, con ayuda de un tamiz ASTM E – 11/2009, con una malla de 1.7 mm, separándose la granulometría de la testa de almendra de cacao.

D. Pesado

La testa de almendra de cacao obtenida después del tamizado, se pesó; lográndose obtener 3 kg de testa de almendra de cacao.

E. Impregnación

La impregnación se realizó mediante Activación Química, para la cual se utilizó como agente químico al Ácido Fosfórico a una concentración de 60%. Para ello se utilizó un vaso de precipitación de 500 mL, seguidamente se adicionó 300 g de dicho reactivo para 500 g de testa de almendra de cacao.

F. Reposado

El reposado se realizó por un tiempo de 24 horas a temperatura ambiente, con agitación manual cada 7 horas.

G. Lavado

A la mezcla impregnada se realizó un lavado con agua destilada, hasta ajustar un pH a 0.60 – 0.70, con ayuda de un pH- metro. En este caso se utilizó 200 mL de agua destilada para 500 g de impregnación.

H. Secado

En una bandeja de acero inoxidable se colocó 1.5 kg de lo impregnado. Luego fue introducido a una mufla a una temperatura de 80 °C por un tiempo de 6 horas. El tiempo y temperatura fue el mismo por cada bandeja de 1.5 kg.

I. Carbonización

Con el objetivo de producir diferentes tipos de carbones, de modo que se evaluó cual se ajusta mejor a los parámetros establecidos, en efecto, tendría una mejor capacidad de adsorción. Para ello se emplearon de modo aleatorio temperaturas de 200 °C, 250 °C y 300 °C; tiempos de 90, 120 y 150 minutos, con tres repeticiones cada tratamiento.

J. Enfriado

Una vez obtenido el carbón activado se procedió a colocar los crisoles en el desecador de vidrio por un tiempo 30 - 45 minutos hasta enfriar.

K. Segundo triturado

El carbón obtenido se procedió a triturar mediante un mortero de porcelana, de tal manera se disminuyó la granulométrica.

L. Segundo tamizado

Luego se realizó el tamizado para disminuir la granulometría del carbón activado, para la cual se empleó un tamiz de 1 mm de acero inoxidable.

M. Almacenamiento

Finalmente el carbón activado obtenido se envasó en bolsas herméticas para evitar que se altere sus propiedades físicas-químicas del producto, luego se realizó la caracterización de cada una de las muestras obtenidas, para determinar su capacidad de adsorción.

FLUJOGRAMA DEL PROCESO

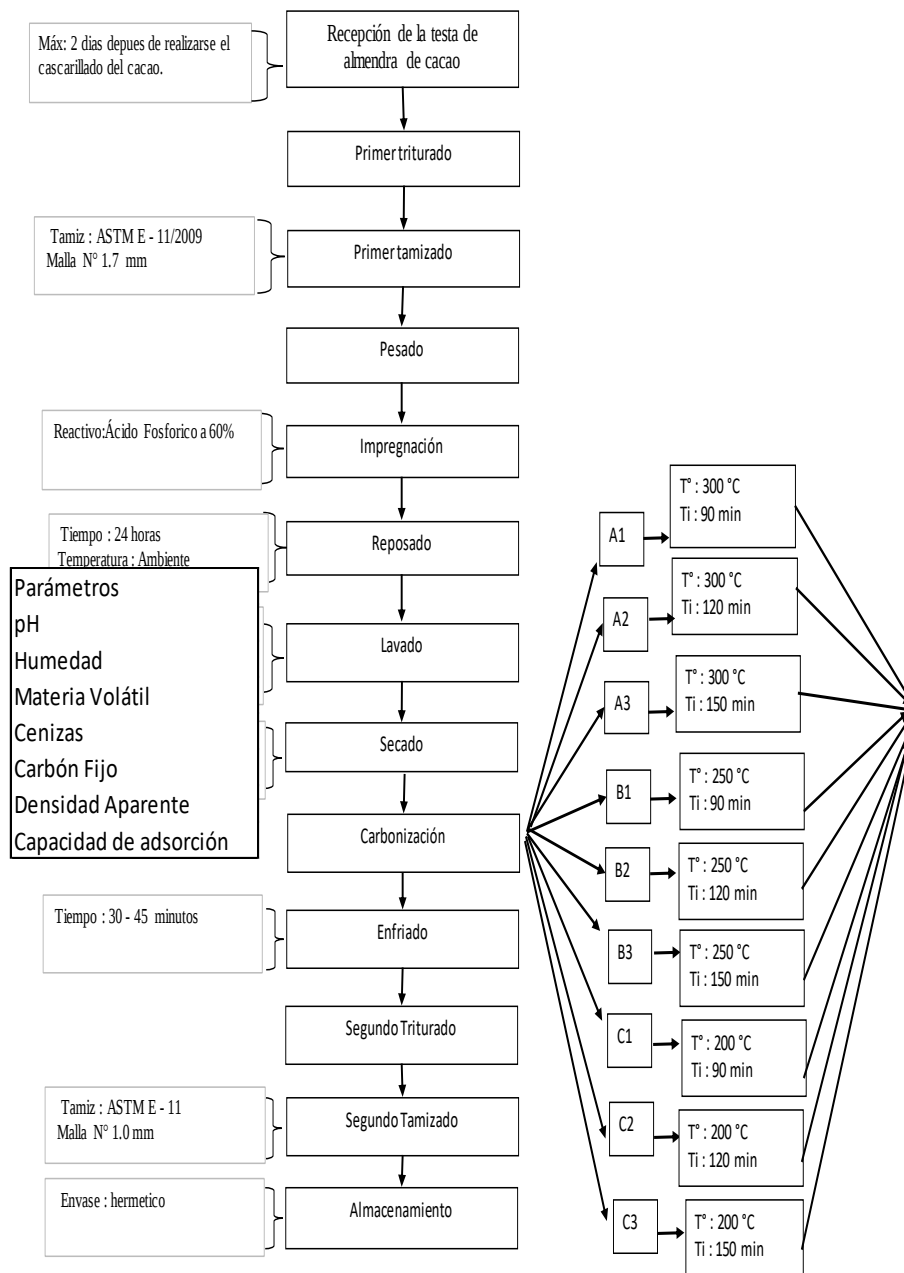


Figura 3:

Flujograma de la Producción de Carbón Activado a partir de la Testa de la Almendra de Cacao con Ácido Fosfórico a 60%.

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Diseño Experimental

El diseño experimental que corresponde es un Diseño factorial, con dos factores Temperatura (niveles del factor: 200 °C, 250 °C y 300 °C) y el tiempo (niveles del factor: 90 min, 120 min y 150 min) con 3 repeticiones por tratamientos, haciendo un total de 189 unidades experimentales para el humedad, densidad, pH, materia volátil, carbón fijo y capacidad de adsorción (variables dependientes).

Tabla 6. Numero de ensayos

Temperatura Tiempo	300 °C			250 °C			200 °C			Total
	90 mi n	120 mi n	150 mi n	90 mi n	120 mi n	150 mi n	90 mi n	120 mi n	150 mi n	
Humedad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Densidad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
pH	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Cenizas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Materia volátil	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Carbón Fijo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Capacidad de adsorción	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Total										189

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Prueba Estadística

- Se realizó el análisis exploratorio de los datos, para determinar el comportamiento o tendencias de los datos.
- Luego se realizó el diseño experimental, que es un plan usado en la distribución de las proporciones a las muestras experimentales.
- Luego se realizó el análisis de varianza (Anova) para determinar si los promedios por tratamientos son iguales o por lo menos uno es diferente en comparación con las demás.
- De concluirse que al menos un promedio de uno de los tratamientos es diferente se procedió a realizar las pruebas post-Anva para determinar cuál es el mejor tratamiento.

- El análisis estadístico se realizó usando el software SPSS, a un nivel de confianza del 95%.

3.3.3. Método de evaluación físico-químico del carbón activado

A. Evaluación de pH

- Se midió en una probeta 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitados de 500 mL y se agregó 2 g de carbón activado y se homogenizó.
- Seguidamente se colocó sobre una cocina eléctrica, con un termómetro se midió la temperatura hasta alcanzar los 80 °C.
- Finalmente midió el pH empleando un pH-metro.

B. Evaluación de Humedad: se empleó el método utilizado por Yampasi (2017, p. 44).

- Los crisoles a emplear fueron colocados en una estufa a 104°C para eliminar la humedad por un tiempo de 6 horas, al término del cual se enfriaron en un desecador por un tiempo de 30 - 45 minutos. Posteriormente se pesó los crisoles. Se repitió el proceso hasta peso constante.
- Seguidamente se pesó en cada crisol 1 gramo de carbón activado obtenido, y se llevó a la estufa a 105 °C hasta obtener peso constante por 4 horas.
- Luego se aplicó la fórmula de porcentaje de humedad. según American Society for Testing and Materials, 2003 (como se citó en Obregón, 2012, p. 20)

$$\text{Humedad, (\%)} = [(A-B)/A] \times 100$$

Dónde:

A= peso del material precursor inicial, g,

B= peso del material precursor después, g.

C. Evaluación de Materia Volátil. Se realizó por el método de la Norma ASTM D- 5832-98 (como se citó en Cárdenas, 2015, p. 65).

- Los crisoles que se utilizó son previamente tarados, es decir, que fueron colocados en una estufa a 104 °C, por un tiempo de 6 horas, o hasta obtener un peso constante.
- Fueron colocados 5 gramos en cada crisol para realizar esta evaluación físico-química.
- Luego se calculó por diferencia de peso inicial de la muestra seca en estufa a 105 °C por 24 horas y el peso final de la muestra obtenida después de haberle introducido en una mufla a 950 °C por un tiempo de 7 minutos.

Para la cual, se empleó la fórmula de Obregón (2012, p. 21) para determinar porcentaje de materia volátil.

$$\text{Peso perdido, (\%)} = [(A-B)/A] \times 100$$

Dónde:

A = peso de la muestra inicial, g,

B = peso de la muestra luego de calcinar, g.

Contenido de material volátil, (%) = C- D

Dónde:

C = peso perdido, %,

D = humedad, %.

D. Evaluación de contenido de cenizas. Se determinó según la Norma ITINTEC (1982), Norma ASTM D-2866-94 (199). (Cárdenas, 2015, p. 69).

- Los crisoles a utilizar fueron previamente tarados.
- Para manipular los crisoles se usó guantes quirúrgicos.
- Seguidamente por diferencia de peso de la muestra inicial de 1 gramo menos la muestra final llevado a cabo en una mufla a 650 ° C por un periodo de 6 horas.

- Luego se aplicó la siguiente formula Bardales (2005, p. 58) para determinar el porcentaje de cenizas.

$$\% \text{ cenizas} = (P_2/P_1) \times 100$$

Dónde:

P_1 = peso inicial de la muestra

P_2 = peso final de la muestra

E. Evaluación de carbón fijo. Se calculó con la siguiente formula de Sánchez (2018, p. 40) para determinar el porcentaje de carbón fijo

- Porcentaje de Carbono Fijo = $100 - (\% \text{ contenido de ceniza} + \% \text{ materia volátil})$

F. Evaluación de la densidad aparente. Se ejecutó con la metodología de Calgon Carbon Corporation 1981 (como se citó en Cárdenas, 2015, p. 70).

- Se llenó una probeta de 100 mL con carbón activado, evitando golpear hasta que se llene su volumen.
- Seguidamente se pesó el volumen del carbón activado.
- Luego se calculó la densidad, que es el cociente de la masa del carbón activado y el volumen de la probeta medida.

G. Evaluación de la adsorción de azul de metileno. Método del espectrofotómetro.

Se ejecutó con el método Norma técnica colombiana NTC 4467 (como se citó en Lazo, 2015) siguiendo con los siguientes pasos:

- Es un método que nos permite saber de manera rápida la capacidad de adsorción del carbón activado.
- Se pesó 0.1 g de carbón activado, seguidamente se adicionó 1 mL de azul de metileno.

- Se espera que decolore en el colorante por 5 minutos, se adicionó hasta saturar el carbón activado.
- Seguidamente se prepara el espectrofotómetro a una longitud de 664 nm, y se procedió a medir la absorbancia de las respectivas muestras.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de método de análisis

4.1.1. Características físico-químicas de las muestras de carbón activado de la testa de almendra de cacao.

Seguidamente de haber obtenido las muestras se procedió a determinar los parámetros físico-químicos: humedad, densidad, cenizas, materia volátil, carbón fijo y la capacidad de adsorción.

a. Humedad

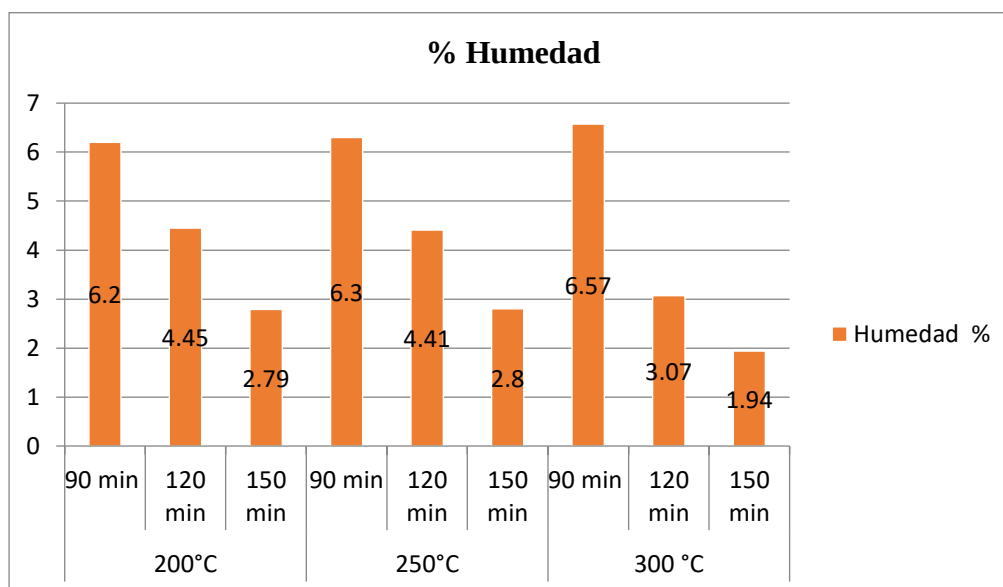


Gráfico 1. Porcentaje de Humedad para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 1, que a 300 °C y a 150 minutos el porcentaje de humedad a disminuye a 1.94.

b. Densidad

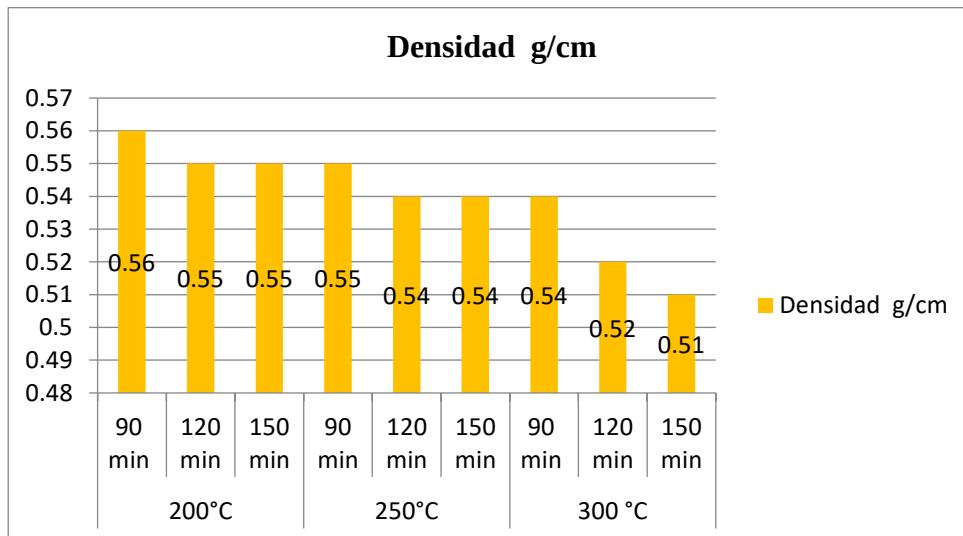


Gráfico 2. Densidad para los diversos tratamientos de 200 °C, 250 °C y 300 °C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 2, que a 300 °C y a 150 minutos la densidad disminuye a 0.51 g/cm.

c. pH

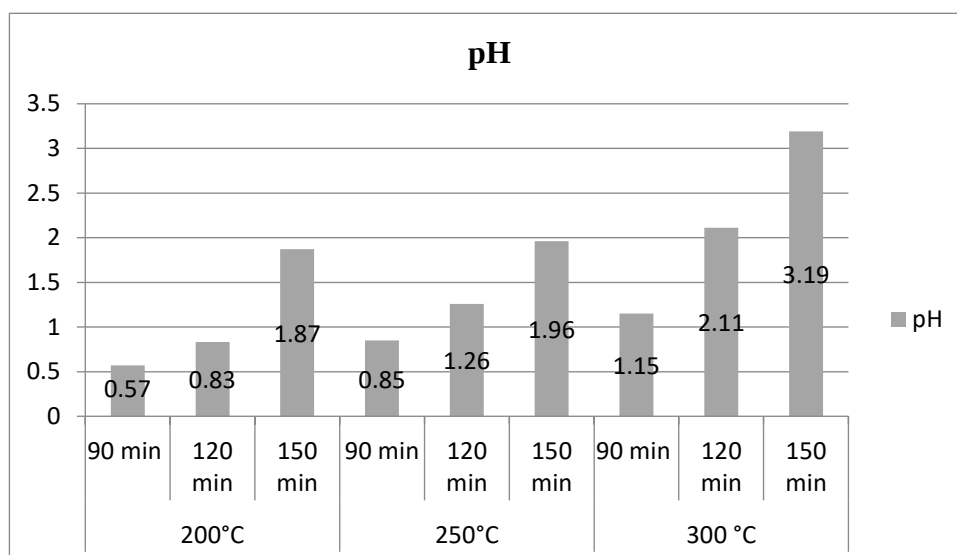


Gráfico 3. pH para los diversos tratamiento de 200 °C, 250 °C y 300 °C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 3, que a 300 °C y a 150 minutos el pH aumenta a 3.19

d. Cenizas

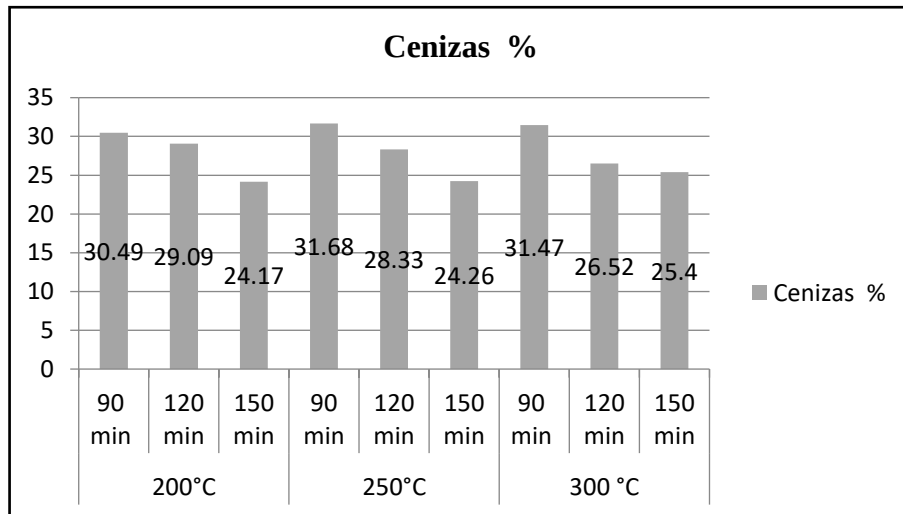


Gráfico 4. Porcentaje de cenizas para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 4, que a 200 °C y a 150 minutos el porcentaje de cenizas disminuye a 24.17.

e. Materia volátil

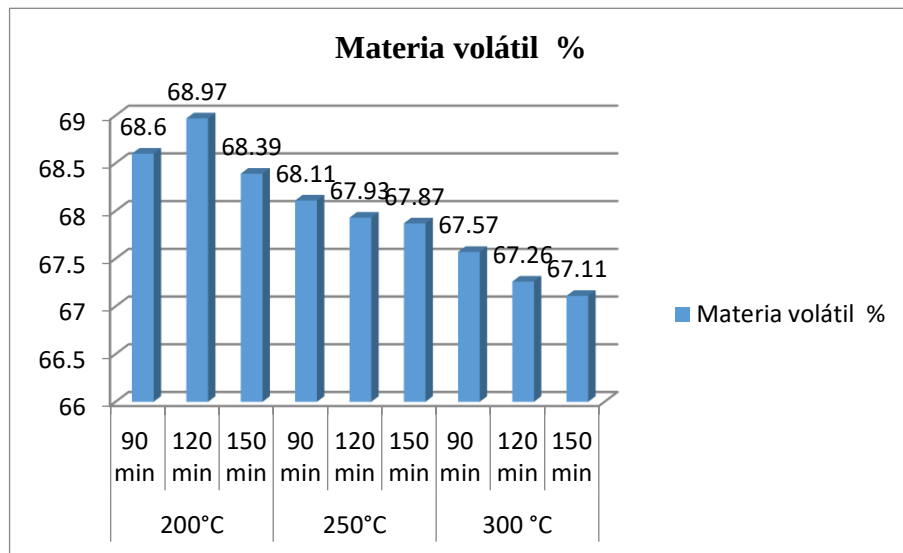


Gráfico 5. Porcentaje de materia volátil para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 5, que a 300 °C y a 150 minutos el porcentaje de materia volátil disminuye a 67.11.

f. Carbón Fijo

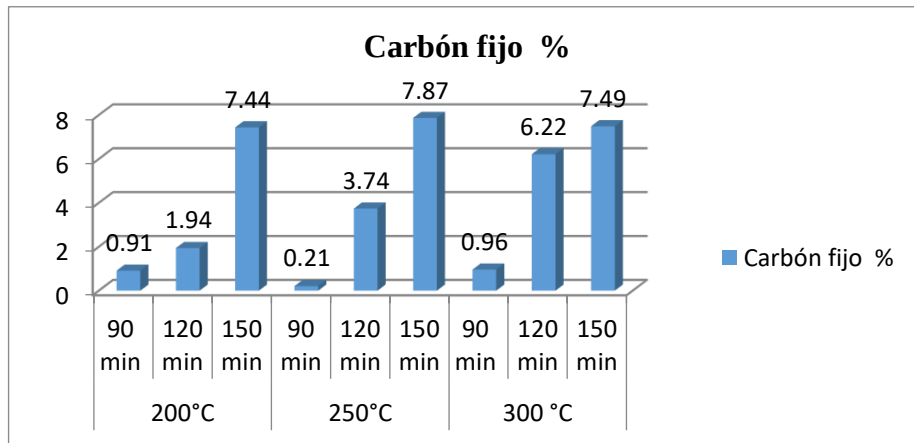


Gráfico 6. Porcentaje de Carbón Fijo para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 6, que a 300 °C y a 150 minutos el porcentaje de Carbón Fijo se encuentra en el segundo lugar más elevado.

g. Capacidad de adsorción.

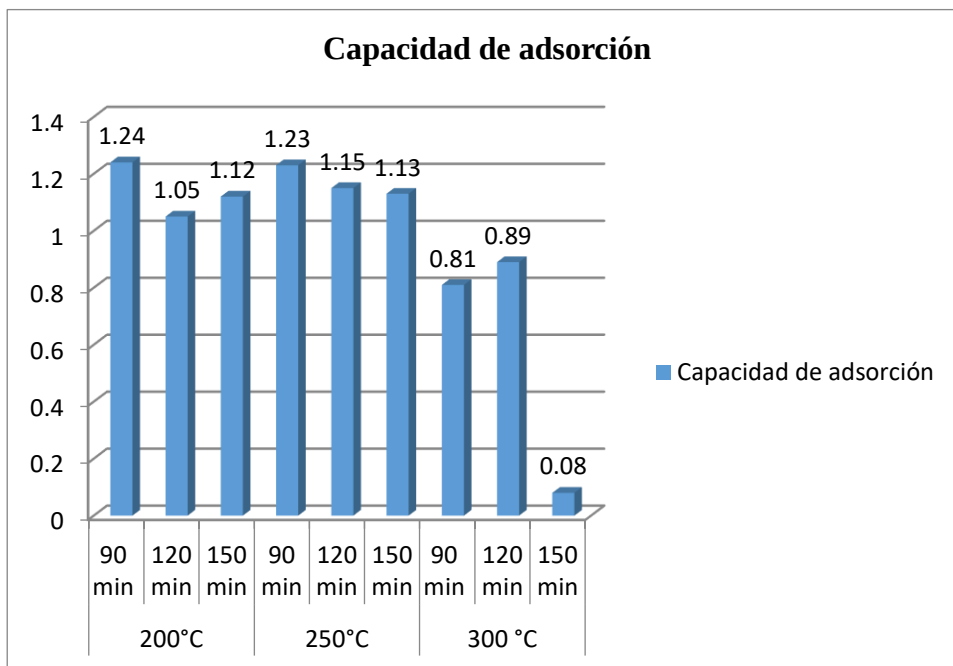


Gráfico 7. Capacidad de adsorción para los diversos tratamientos de 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C con sus respectivos tiempos.

Se observa en la gráfica 7, que a 300 °C y a 150 minutos presenta mayor capacidad de adsorción.

4.1.2. Análisis de varianza para los efectos principales e interacción de las muestras.

Tabla 7. Varianza para los efectos principales e interacción de las muestras.

Parámetro	Análisis de varianza			Observaciones
	Factor	F	P	
Humedad	Temperatura	35,167	,000	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min la humedad disminuye.
	Tiempo	997,953	,000	
	Temperatura*tiempo	21,992	,000	
Densidad	Temperatura	563,104	,000	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min la densidad disminuye.
	Tiempo	197,360	,000	
	Temperatura*tiempo	12,254	,000	
pH	Temperatura	18,421,225	,000	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min el pH aumenta.
	Tiempo	34,304,575	,000	
	Temperatura*tiempo	1,431,700	,000	
Ceniza	Temperatura	,159	,855	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min las cenizas disminuyen.
	Tiempo	79,428	,000	
	Temperatura*tiempo	3,115	,041	
Materia Volátil	Temperatura	1,620	,226	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min la materia volátil disminuye.
	Tiempo	,060	,942	
	Temperatura*tiempo	,057	,993	
Carbón fijo	Temperatura	125,249	,000	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a los tiempos de 90 min el carbón fijo disminuye.
	Tiempo	3,850	,041	
	Temperatura*tiempo	,320	,861	
Capacidad de adsorción	Temperatura	600,811	,000	Se afirma que a una temperatura de 300 °C y a un tiempo de 150 min la capacidad de adsorción aumenta.
	Tiempo	160,896	,000	
	Temperatura * tiempo	123,361	,000	

Fuente: Elaboración propia

a. Análisis de varianza para la humedad.

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 8. ANVA, para la variable dependiente: Humedad

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	73,178 a	8	9,147	269,276	,000
Intersección	494,723	1	494,723	14,563,541	,000
Temperatura	2,389	2	1,195	35,167	,000
Tiempo	67,801	2	33,900	997,953	,000
Temperatura * Tiempo	2,988	4	,747	21,992	,000
Error	,611	18	,034		
Total	568,513	27			
Total corregido	73,790	26			

R al cuadrado = ,992 (R al cuadrado ajustada = ,988)

De la tabla 8, se observa que existen diferencias significativas en la temperatura y el tiempo por tratamientos para la humedad, esto quiere decir que los promedios por tratamientos (temperatura y tiempo) son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 9. Prueba Post-Anva para la temperatura al 95 % de confianza

Temperatura	N	Subconjunto	
		1	2
300 °C	9	3,8601	
200 °C	9		4,4776
250 °C	9		4,5039
Sig.		1,000	,951

*HSD Tukey

De la tabla 9, se observa que a 300 °C presenta menor humedad a comparación de 200 °C y 250 °C.

Tabla 10. Post-Anva para el tiempo al 95% de confianza

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
150 min	9	2,5109		
120 min	9	3,9747		
90 min	9	6,3561		
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 10, se observa que a 150 min presenta menor humedad a comparación de 90 min y 120 min.

b. Análisis de varianza para la densidad.

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 11. ANVA, para la variable dependiente: Densidad

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,006a	8	,001	196,243	,000
Intersección	7,896	1	7,896	2132347,682	,000
Temperatura	,004	2	,002	563,104	,000
Tiempo	,001	2	,001	197,360	,000
Temperatura * Tiempo	,000	4	4.538E-5	12,254	,000
Error	6.665E-5	18	3.703E-6		
Total	7,902	27			
Total corregido	,006	26			

R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,984)

De la tabla 11, se observa que existen diferencias significativas en la temperatura y el tiempo por tratamientos para la densidad, esto quiere decir que los promedios por tratamientos (temperatura y tiempo) son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 12. Post-Anva, para la temperatura al 95% de confianza

Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
300 °C	9	,5243		
250 °C	9	,5438		
200 °C	9	,5543		
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 12, se observa que a 300 °C presenta menor densidad a comparación de 200 °C y 250 °C.

Tabla 13. Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
150 min	9	,5329		
120 min	9	,5388		
90 min	9	,5506		
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 13, se observa que a 150 min presenta menor densidad a comparación de 90 min y 120 min.

c. Análisis de varianza para el pH.

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 14. ANVA, para la variable dependiente: pH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	16,471a	8	2,059	13897,300	,000
Intersección	63,327	1	63,327	427,455,625	,000
Temperatura	5,458	2	2,729	18421,225	,000
Tiempo	10,164	2	5,082	34304,575	,000
Temperatura * Tiempo	,848	4	,212	1431,700	,000
Error	,003	18	,000		
Total	79,800	27			
Total corregido	16,474	26			

R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 14, se observa que existen diferencias significativas en la temperatura y el tiempo por tratamientos para el pH, esto quiere decir que los promedios por tratamientos (temperatura y tiempo) son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 15 . Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza.

Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
200 °C	9	1,0911		
250 °C	9		1,3544	
300 °C	9			2,1489
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 15, se observa que a 300 °C presenta mayor pH a comparación de 200 °C y 250 °C.

Tabla 16 . Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza.

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
90 min	9	,8544		
120 min	9		1,4000	
150 min	9			2,3400
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 16, se observa que a 150 min presenta mayor pH a comparación de 90 min y 120 min.

d. Análisis de varianza para las: Cenizas

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 17. ANVA, para la variable dependiente: Cenizas

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	211,818a	8	26,477	21,454	,000
Intersección	21070,672	1	21070,672	17073,510	,000
Temperatura	,391	2	,196	,159	,855
Tiempo	196,047	2	98,023	79,428	,000
Temperatura * Tiempo	15,379	4	3845	3,115	,041
Error	22214	18	1234		
Total	21304,704	27			
Total corregido	234,032	26			

R al cuadrado = ,905 (R al cuadrado ajustada = ,863)

De la tabla 17, se observa que no existe diferencia significativa para la temperatura, pero si para el tiempo en las cenizas, esto quiere decir que los promedios por tratamientos para la temperatura son iguales, pero para el tiempo son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 18. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza

Temperatura	N	Subconjunto
		1
300 °C	9	27,7978
200 °C	9	27,9178
250 °C	9	28,0911
Sig.		,843

*HSD Tukey

De la tabla 18, se observa que no existe diferencia significativa entre las temperaturas.

Tabla 19. Post-Anva, para el tiempo al 95 % de confianza

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
150 min	9	24,6133		
120 min	9		27,9800	
90 min	9			31,2133
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 19, se observa que a 150 min presenta menor ceniza a comparación de 90 min y 120 min.

e. Análisis de varianza para la Materia Volátil.

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 20. ANVA, para la variable dependiente: Materia Volátil

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	8,994a	8	1,124	,448	,876
Intersección	124871,121	1	124871,121	49791,770	,000
Temperatura	8,123	2	4,062	1,620	,226
Tiempo	,300	2	,150	,060	,942
Temperatura * Tiempo	,571	4	,143	,057	,993
Error	45,142	18	2,508		
Total	124925,257	27			
Total corregido	54,136	26			

R al cuadrado = ,166 (R al cuadrado ajustada = -,204)

De la tabla 20, se observa que no existe diferencia significativa para la temperatura y el tiempo para la materia volátil, esto quiere decir que los promedios por tratamientos para la temperatura y la temperatura son iguales.

f. Análisis de varianza, para la variable dependiente: Carbón Fijo

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 21. ANVA, para la variable dependiente: Carbón Fijo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	20,524a	8	2,565	32,435	,000
Intersección	162,852	1	162,852	2058,914	,000
Temperatura	19,813	2	9,907	125,249	,000
Tiempo	,609	2	,305	3,850	,041
Temperatura * Tiempo	,101	4	,025	,320	,861
Error	1,424	18	,079		
Total	184,800	27			
Total corregido	21,948	26			

R al cuadrado = ,935 (R al cuadrado ajustada = ,906)

De la tabla 21, se observa que existen diferencias significativas en la temperatura y el tiempo por tratamientos para el carbón fijo, esto quiere decir que los promedios por tratamientos (temperatura y tiempo) son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 22. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza

Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
300 °C	9	1,4456		
250 °C	9		2,3822	
200 °C	9			3,5400
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 22, se observa que a 300 °C presenta mayor carbón fijo a comparación de 200 °C y 250 °C.

Tabla 23. Post-Anva, para el tiempo al 95% de confianza

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
90 min	9	2,2478	
120 min	9	2,5233	2,5233
150 min	9		2,5967
Sig.		,123	,846

*HSD Tukey

De la tabla 23, se observa que a 120 y 150 minutos presenta mayor carbón fijo a comparación de 90 min.

g. Análisis de varianza, para la variable dependiente: Capacidad de adsorción.

Hipótesis

Ho: Los promedio por tratamientos son iguales.

H1: Los promedio por tratamientos son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 24. ANVA, para la variable dependiente: Capacidad de adsorción.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,160a	8	,395	252,107	,000
Intersección	25,327	1	25,327	16166,017	,000
Temperatura	1,883	2	,941	600,811	,000
Tiempo	,504	2	,252	160,896	,000
Temperatura * Tiempo	,773	4	,193	123,361	,000
Error	,028	18	,002		
Total	28,515	27			
Total corregido	3,188	26			

R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,987)

De la tabla 24, se observa que existen diferencias significativas en la temperatura y el tiempo por tratamientos para la capacidad de adsorción, esto quiere decir que los promedios por tratamientos (temperatura y tiempo) son diferentes o por lo menos uno es diferente.

Tabla 25. Post-Anva, para la temperatura al 95 % de confianza

Temperatura	N	Subconjunto	
		1	2
300 °C	9	,5956	
200 °C	9	1,1389	
250 °C	9	1,1711	
Sig.		1,000	,223

*HSD Tukey

De la tabla 25, se observa que a 300 °C presenta mayor adsorción a comparación de 200 °C y 250 °C.

Tabla 26. Post – Anva, para el tiempo al 95% de confianza

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
150 min	9	,7789		
120 min	9	1,0311		
90 min	9	1,0956		
Sig.		1,000	1,000	1,000

*HSD Tukey

De la tabla 26, se observa que a 150 min presenta mayor capacidad de adsorción a comparación de 120 min y 90 min.

4.2. Discusión

Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados son: humedad, densidad, pH, materia volátil, carbón fijo, cenizas y la capacidad de adsorción.

- El porcentaje promedio de humedad, que se consiguió fue 1.94 % a medida que la temperatura y el tiempo se incrementaron a 300 °C y 150 minutos la humedad disminuye, los resultados obtenidos están por debajo del 12% lo que estipula la Norma Técnica Peruana 207.024 (citado por Sangay, 2010). Mientras tanto sostiene Zamora (2010, p. 47) que el tiempo de activación influye en la humedad. Desde luego esta afirmación coincide con Hidalgo y Rivera (2017, p. 22) que sostienen que los factores como adsorción y humedad están inversamente relacionadas, es decir a menor humedad mayor adsorción.
- La densidad promedio de la muestras fue de 0.51 g/cm en efecto aumenta la temperatura a 300 °C y el tiempo a 150 min la densidad disminuye. Sin embargo los resultados obtenidos están por encima de 0.35 – 4.0

g/cm³ lo que estipula la Norma Técnica Peruana 207.024 (citado por Sangay, 2010). Mientras tanto Layseca, 2001 (como se citó en Sangay 2010, p. 47) sostiene que mayor densidad se obtiene mientras más pequeño es la granulometría. Reátegui (2017, p. 38), señala que la porosidad influye en la capacidad de adsorción, es decir, es directamente proporcional a medida que aumenta la porosidad aumenta la adsorción.

- El pH promedio que fue de 3.19 la cual aumenta, a medida que la temperatura y el tiempo de carbonización aumenta a 300 °C y 150 min respectivamente, estos resultados coinciden con los que Ramakrishnan, 2009 (como se citó en Reátegui, 2017, p. 40) sostiene que un pH ácido se debe generalmente por el uso del agente activante de ácido fosfórico. A la vez (Reátegui, 2017, p. 40) señala que la capacidad de adsorción no depende del pH medido en el carbón activado. En efecto las muestras analizadas, están por debajo de 5.5 – 7.5 de pH lo que estipula la N.T.P. 207.024 (como se citó en Sangay).
- El porcentaje promedio de cenizas de las muestras es de 25.4 % por lo consiguiente, se observa al aumentar la temperatura y el tiempo, 300 °C y 150 minutos respectivamente las cenizas disminuyen. Asimismo, Amparan (2007, p. 37) sostiene que las cenizas representan la cantidad de sales minerales presentes en la materia prima y el contenido bajo de cenizas presenta mínimas cantidades de minerales (Bardales, 2005, p. 62). Por otra parte, si presentan un porcentaje alto de cenizas, influye absolutamente en la disminución de la capacidad de adsorción (García y Machado, 2011, p. 33). Además, la variación de cenizas va a depender de la concentración del ácido fosfórico utilizado, materia prima y el agente activante, asimismo, sostiene que a mayor capacidad de adsorción menor presencia de cenizas (Hidalgo y Rivera, 2017, p. 62). Las cenizas obtenidas son por motivo que no llegan a volatilizarse durante la carbonización (León, 2012, p. 40). Cabe resaltar los “compuestos inorgánicos, por ejemplo calcio, magnesio, fierro, etc.” (León, 2012, p. 41). Asimismo los resultados obtenidos están por encima del 12 %, lo

que estipula la Norma Técnica Peruana 207.024 (como se citó en Sángay, 2010).

- El porcentaje promedio de Materia volátil es de 67.11 % a medida que aumenta la temperatura a 300 °C y el tiempo 150 minutos la materia volátil disminuye. Los resultados obtenidos en contraste con Sánchez (2018, p. 54), señala que el aumento de materia volátil está influenciado por factores como temperatura y la concentración del agente activante como el ácido fosfórico. Estos resultados concuerdan con Hassler, 1974 (como se citó en Sánchez, 2018, p. 54) la materia volátil disminuye a altas temperaturas, asimismo, Layseca, 2001 (como se citó en Sánchez, 2018, p. 54) menos materia volátil, en consecuencia, presenta espacios disponibles en su distribución interna y con ello tiene mayor capacidad de adsorción. Sin embargo Sangay (2010) afirma que el aumento de la materia volátil, es afectada por el aumento de la concentración del agente químico.
- El porcentaje promedio de carbón fijo que es de 7.49 % a medida que la temperatura aumenta a 300 °C y el tiempo 150 min el carbón fijo aumenta, Como refiere Sangay (2010, p. 43) el carbón fijo se reduce a medida que se eleva la concentración del agente activante. Del mismo modo Layseca, 2001 (como se citó en Sangay, 2010, p. 44) afirma que no es conveniente utilizar elevadas concentraciones de activante, además, sostiene que a mayor carbón fijo presenta elevada capacidad de adsorción. Según FAO, 1983 (como se citó en Zamora, 2010, p. 51) sostiene que a mayor carbón fijo mayor capacidad de adsorción.
- El porcentaje de la capacidad de adsorción es de 0.08 a medida que aumenta la temperatura a 300 °C y el tiempo 150 minutos presenta mayor capacidad de adsorción sobre la decoloración del azul de metileno de las muestras analizadas

En los parámetros fisicoquímicos como carbón fijo y materia volátil con valores de $P > 0,05$, el tratamiento para la producción de carbón activado no influye significativamente, lo cual indica que no existe interacción ya que la temperatura de carbonización es independiente del tiempo, por el contrario para los parámetros de humedad, densidad, pH, cenizas y capacidad de adsorción que tienen valores de $P < 0,05$, indica que son altamente significativos, es decir que la temperatura es dependiente del tiempo de carbonización.

V. CONCLUSIONES

- La temperatura óptima de carbonización es de 300 °C y el tiempo óptimo de 150 min para producir un carbón activado con la testa de la almendra de cacao.
- Las características del carbón activo óptimo fueron: 1.94 % de humedad, densidad de 0.51 g/cm, pH de 3.19, cenizas es de 25.4 %, materia volátil de 67.11 %, y el carbón fijo es de 7.49 %.
- La mayor capacidad de adsorción del tratamiento óptimo es de 0.08.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas con diferentes concentraciones de ácido fosfórico en la etapa de impregnación para evaluar su influencia en la capacidad de absorción del carbón activado producida.
- Investigar si otros tipos de residuos generados en la industria alimentaria se puedan emplear para producir carbón activado con mayor capacidad de adsorción, de tal manera dar un valor agregado a estos residuos.
- Diseñar una planta industrial o semi-industrial para la fabricación de carbón activado con las diferentes materias primas de la región como: cacao, café, etc, toda vez que estos productos generan residuos en las industria.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Amparán, A. (2007). *Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua*. (Tesis de maestro). Cimac, México.
- Bardalez, A. (2005). *Obtención química de carbón activado a partir del endocarpo del coco (Coccus nucifera) en la región San Martin* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martin, Perú.
- Burga, E. (2016). *Influencia del indice de cosecha sobre la calidad Sensorial del grano de cacao (Theobroma cacao L) del clon CCN-51 en la provincia de Mariscal Cáceres - San Martin* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Martin, Perú.
- Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas* (tesis pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Cárdenas, H. (2015). *Evaluación del carbón activado por el método químico con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de Copaifera LeónReticulada (copaiba)* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
- Castilla, L., & Jiménez, L. (2016). *Plan Haccp y control estadístico para la línea de granos de cacao (Theobroma cacao) de la empresa cacao Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Cortez, J., & Limpio, D. (2013). *Diseño de una planta para la producción de filtros de carbono activado a partir de la cáscara de cacao* (tesis pregrado). Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.
- Del Aguila, E. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (Theobroma cacao)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria De La Selva, Perú. .
- Durán, F. (2013). *La biblia de las recetas industriales*. Bogotá, Colombia: Grupo Latino Editores S.A.S.

- Eugenia, L. (2005). *Determinación de los componentes químicos de la madera de Pino Blanco (Pinus pseudostrobus Lindl) proveniente de la finca las Victorias, Patzún, Chimaltenango* (tesis pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- García, V., & Machado, R. (2011). *Diseño preliminar de una planta para la obtención de carbón activado* (tesis pregrado). Universidad de Oriente, Venezuela.
- Gonzales, H., & Teruya, R. (2004). *Estudio de proceso de carbón activado: obtención por método químico* (tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Hidalgo, C., & Rivera, S. (2017). *Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera* (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Lapo, J. (2014). *Reactivación química del carbón activado del tipo calgon americano 6×12 utilizado en la sociedad minera "PROMINE" para el proceso de adsorción de metales preciosos* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- Lazo, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Perú.
- León, M. (2012). *Planta de producción de carbón activado de cáscaras de nueces, para aplicaciones en hidrometalurgia del oro* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Lozano, L., Barreto, L. & Sepúlveda, W. (2015). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta industrial para obtener carbón activado a partir del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la región Loreto* (tesis pregrado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Perú.

- López, P. (2013). *“Elaboración de Compost a Partir de Cascarilla de Cacao”* (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Loza, R e Inga, E. (2018). *“Elaboración de una Bebida Funcional a Partir de la Cascarilla de Cacao (Theobroma cacao L.)”* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú.
- Marina, L., & García, N., (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera Colombiana* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Morales, V. (2015). *Fermentación del cacao como valor agregado a su sabor para la obtención de un chocolate fino ecuatoriano y su estímulo a las exportaciones no tradicionales del Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Mundaca, G. (2016). *Análisis de la calidad del grano de cacao mediante imágenes hiperespectrales usando técnicas de visión artificial* (tesis de pregrado). Universidad de Piura. Perú.
- Obregón, D. (2012). *Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
- Obregón, J. (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 de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Peruinka Industrias S.A. (2018). Plan Haccp de chocolate para taza, Jaén, Perú.

- Pilamonta, J. (2013). *Mejoramiento del carbón activado contaminado en el tratamiento del agua potable* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Reátegui, K. (2017). *Obtención de carbón activado a partir de la cascara del fruto de la Calabaza (Curcubita ficifolia Bouché)* (tesis de pregrado). Universidad Agraria la Molina, Perú.
- Sangay, S. (2010). *Obtención y evaluación de carbón activado del endocarpo de castaña (Bertholletia excelsa) procedente de plantación y de bosque natural, empleando un método químico* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Sánchez, E. (2017). “*Efecto de Tipos de Secado del Cacao (Theobroma cacao L) CCN-51 en la Preservación de Polifenoles Totales y Antocianinas*” (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Perú.
- 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, Perú.
- Sevillano, A., & Torres, P. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de madera* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- Soto, F. (2007). *Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado* (tesis de pregrado) Universidad de Chile, Chile.
- Soto, K. (2017). *Efecto del carbón activado de la theobroma cacao en la adsorción de hierro del agua del río Moche, 2017* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Tolentino, M. (2014). “*Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de la Cascarilla de Granos de Cacao (Theobroma cacao L.) Tostado y Elaboración de un Filtrante*” (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.

Yampasi, O. (2017). *Adsorción del carbón activado de tallos y hojas de Cañihua (Chenopodium pallidicaule), para la recuperación del oro en la minera colibrí S.A.C.* (tesis pregrado). Universidad Nacional del Antiplano, Perú.

Zamora, G. (2010). *Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja (Atta/ea phalerta) y Aguaje (Mauritia flexuosa)* (tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Efecto de la temperatura y tiempo de carbonización en la producción de carbón activado.

Tabla 27. Promedios, desviación estándar, coeficiente de variabilidad de los parámetros fisicoquímicos.

Fuente: Elaboración propia

Temperatura Tiempo (min)	200 °C						250 °C						300 °C					
	90		120		150		90		120		150		90		120		150	
Parámetros fisicoquímicos	Unid.	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%	prom ±D.E. CV%
Humedad	%	6.2±0.17 2.74	4.45±0.12 2.69	2.79±0.24 8.6	6.3±0.38 6.03	4.41±0.07 1.59	2.8±0.17 6.07	6.57±0.11 1.70	3.07±0.09 2.93	1.94±0.006 0.31								
Densidad	g/cm	0.56±0.0004 0.07	0.55±0.001 0.18	0.55±0.004 0.72	0.55±0.001 0.18	0.54±0.001 0.18	0.54±0.001 0.18	0.54±0.002 0.37	0.52±0.001 0.19	0.53±0.001 0.19								
pH		0.57±0.01 1.75	0.83±0.01 1.2	1.87±0.02 1.06	0.85±0.02 2.35	1.26±0.01 0.79	1.96±0.01 0.52	1.15±0.01 0.87	2.11±0.01 0.47	3.19±0.01 0.31								
Cenizas	%	30.49±1.44 4.72	29.09±0.14 0.48	24.17±0.31 1.28	31.68±2.192 6.92	28.33±0.288 1.02	24.26±0.502 2.07	31.47±1.58 5.02	26.52±0.99 3.73	25.40±0.53 2.09								
Materia Volátil	%	68.6±1.62 2.36	68.97±1.27 1.84	68.39±0.73 1.07	68.11±2.29 3.37	67.98±0.54 0.8	68.07±0.18 0.26	67.57±1.33 1.98	67.26±0.19 0.28	67.11±3.22 4.80								
Carbón fijo	%	0.91±0.47 51.64	1.94±1.14 58.7	7.44±0.61 8.19	0.21±0.11 52.4	3.74±0.70 18.72	7.87±0.91 11.56	0.96±0.47 48.96	6.22±1.01 16.24	7.49±3.24 43.26								
Capacidad de adsorción	a	1.24±0.03 2.41	1.05±0.02 1.9	1.12±0.04 3.57	1.23±0.04 3.25	1.15±0.01 0.86	1.13±0.07 6.19	0.81±0.03 3.70	0.89±0.05 5.62	0.08±0.01 12.50								

Anexo 2. Fotos del procedimiento de preparación del carbón activado.



Figura 5. Testa de almendra de cacao.



Figura 4. Trituración de la testa de almendra de cacao.



Figura 7. Tamizado de la testa de almendra de cacao.



Figura 6. Masa total para obtener carbón activado.



Figura 9. Impregnación de la testa de almendra de cacao con ácido fosfórico a 60% de concentración.



Figura 8. Lavado una vez con agua destilada hasta obtener un pH entre 0.7 – 0.8.



Figura 10. Deshidratación de la testa de almendra de cacao, después de haberse impregnado.



Figura 11. Carbonización a 300°C.



Figura 12. Carbonización a 250 °C.



Figura 13. Carbonización a 200 °C.



Figura 15. Disminución de la granulometría del carbón activado



Figura 14. Tamizado del carbón activado



Figura 16. Carbón activado granular de la testa de almendra de cacao.



Figura 17. Envasado de carbón activado

Anexo 3. Fotos de la evaluación fisicoquímica del carbón activado



Figura 19. Midiendo el volumen del carbón activado para determinar la densidad.



Figura 18. Midiendo el pH del carbón activado.



Figura 21. Incineración a 950 °C para determinar la materia volátil



Figura 20. Incineración a 650 °C para determinar cenizas.



Figura 23. Deshidratación a 105 °C para determinar la humedad.



Figura 22. Análisis Espectrofotométrico de la capacidad de adsorción.



Figura 24. Observando la decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado.

Anexo 4. Características del carbón activado producido óptimo

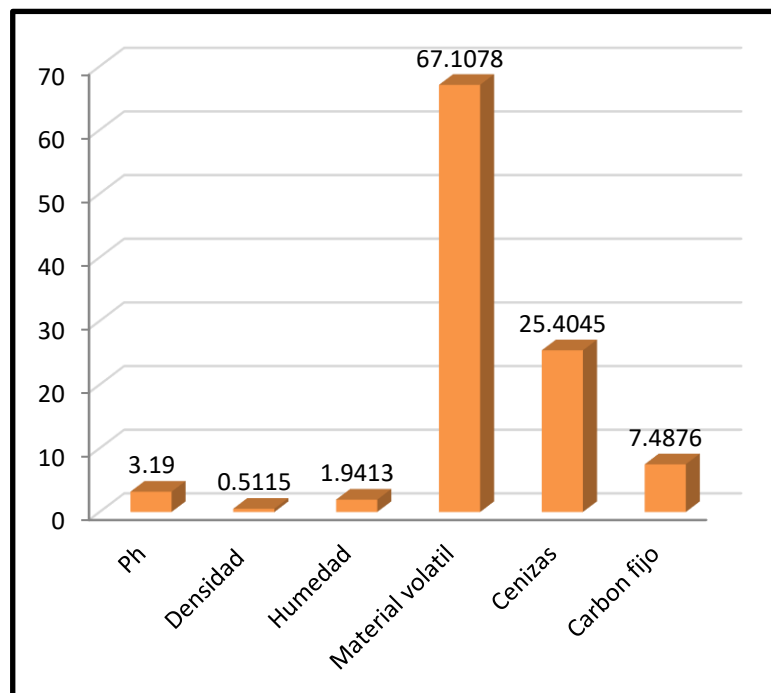


Figura 25. Características del carbón activado óptimo.

Anexo 5. Norma Técnica Peruana de Carbón Activado.

Tabla 28. Parámetros físicos-químicos del carbón activado obtenido.

CARACTERISTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO	
PARÁMETROS	NTP 207.024
Densidad (g/cm ³)	0.35 - 0.4
Humedad (%)	Máx. 12 %
Cenizas Totales	Máx. 12 %
pH	5.5 - 7.5

Fuente: NTP 207.024, como se citó en Sangay, 2010.