



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón – 2018”.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Industrial**

AUTOR:

Br. Farías Cruz, Jimmy Luis (ORCID: 0000-0002-5748-9498)

ASESOR:

MSc. Guerrero Millones, Ana María (ORCID: 0000-0001-7668-6684)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva.

Piura – Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres, que, a través de sus sabios consejos, me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar.

A mi familia y a mi novia, por su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar a este trascendente momento de mi formación profesional.

A mis padres, por ofrecerme su apoyo a lo largo de mi vida.

A los docentes, asesores y a la Universidad César Vallejo por su valiosa guía y asesoramiento para hacer posible la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Acta de Aprobación de Tesis	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	v
Índice General	vi
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I INTRODUCCIÓN	1
II MARCO TEÓRICO.....	3
III METODOLOGÍA.....	10
3.1. Tipo y Diseño de Investigación	10
3.2. Operacionalización de Variables	12
3.3. Población y Muestra	14
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	14
3.5. Procedimiento	14
3.6. Método de Análisis de Datos	14
3.7. Aspectos Éticos.....	14
IV. RESULTADOS.....	16
V. DISCUSIÓN.....	21
VI. CONCLUSIONES	23
VII. RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS	25
ANEXOS.....	31
ANEXO 01 Matriz de Consistencia del Problema	31
ANEXO 02 Instrumentos de Recolección de Datos.....	34
ANEXO 03 Validación de Instrumentos de Recolección de Datos	36
ANEXO 04 Propuesta de Diseño de Capacidad de Planta de Carbón Activado.....	45
ANEXO 05 Reporte de Análisis de Cáscaras de Cacao.....	54
ANEXO 06 Ficha Técnica del Carbón Activado	55
ANEXO 07 Diagrama de Análisis del Proceso	57
ANEXO 08 Panel Fotográfico	59
ANEXO 09 Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis.....	66
ANEXO 10 Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....	68
ANEXO 11 Autorización de la Versión Final del Trabajo de Investigación	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Composición química de la cáscara de cacao.....	5
Tabla N° 2: Características exigidas al carbón activado, en polvo, según normas técnicas peruana y mexicana	7
Tabla N° 3: Parámetros de evaluación de la calidad del carbón activado.....	8
Tabla N° 4: Tabla para la recolección de datos.....	12
Tabla N° 5: Matriz de operacionalización de variables	13
Tabla N° 6: Porcentaje de carbón fijo en las cáscaras de cacao	16
Tabla N° 7: Pesos obtenidos de carbón activado	17
Tabla N° 8: Determinación % aprovechamiento o % rendimiento de las cáscaras de cacao	18
Tabla N° 9: Resultados promedio índice de azul de metileno	19
Tabla N° 10: Costos de producción de 01 kg de carbón activado de cáscaras de cacao.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Cáscaras de cacao.....	5
Figura N° 2: Diagrama de bloques del proceso de producción.....	6
Figura N° 3: Diseño de la investigación	11
Figura N° 4: Carbón activado producido en laboratorio	17
Figura N° 5: Rendimiento de las cáscaras de cacao.....	18
Figura N° 6: Capacidad de adsorción de carbón activado	19

RESUMEN

Esta tesis ha sido desarrollada con la finalidad de conferir valor agregado a las cáscaras de cacao, provenientes de la producción cacaotera del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón; ya que actualmente dichos residuos son dispuestos de manera inadecuada, afectando el medio ambiente. Por ello, para la obtención del carbón activado, se siguió el proceso de carbonización y activación química a nivel de laboratorio, sometiendo las muestras a diferentes condiciones de operación: temperatura de activación (500°C y 650°C) y granulometría (+18 mesh, +45 mesh y -50 mesh), para posteriormente analizar y comparar la capacidad de adsorción de los diferentes carbones obtenidos, en relación a los rangos de los carbones activados comerciales; asimismo, mediante la prueba de azul de metileno y otras técnicas de caracterización empleadas tales como la adsorción de soluciones y análisis termogravimétricos, se logró determinar que la mayor capacidad de adsorción la obtuvo el carbón activado obtenido bajo 500°C y +45 mesh de granulometría. Además, se comprobó que tanto la temperatura de activación como la granulometría utilizada influyen significativamente en la calidad y cantidad de los carbones activados producidos.

Palabras Claves: Carbón activado, carbonización, activación química.

ABSTRACT

This thesis was carried out with the intention of giving added value to the cocoa shells, from the cocoa production of the district of Chulucanas, province of Morropon; since these wastes are currently disposed of in an inadequate manner, affecting the environment. Therefore, to obtain the activated carbon, the process of carbonization and chemical activation at the laboratory level was followed, by submitting the samples to different operating conditions: activation temperature (500 °c and 650 °c) and particle size (+ 18 mesh, + 45 mesh and – 50 mesh), to later analyze and compare the adsorption capacity of the different coals obtained, in relation to the ranges of commercially activated coals. Likewise, through the methylene blue test and other characterization techniques used such as adsorption of solutions and thermogravimetric analysis, it was determined that the highest adsorption capacity was obtained by activated carbon obtained under 500°C and + 45 mesh particle size. Also, it was found that both the temperature of activation and the particle size used influence, significantly in the quality and quantity of activated carbons produced.

Keywords: Activated carbon, carbonization, chemical activation.

I. INTRODUCCIÓN

América Latina es considerada la región con mayor producción de las variedades “prime” de cacao a nivel internacional, ya que posee cerca del 80% de la producción mundial, a su vez, el Perú es reconocido internacionalmente por ser el centro de biodiversidad del cacao en el mundo, con 60% de las variedades de cacao, así también aproximadamente el 35% de la producción mundial de cacao fino y de aroma, según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), de acuerdo a lo indicado por la Sociedad de Comercio Exterior del Perú (Comexperú).

Por su lado, Piura es la única región en el Perú que cuenta con la variedad de cacao blanco, con una producción aproximada de 450 toneladas anuales, en una extensión de 120 hectáreas, siendo las principales zonas productoras: Chulucanas, Palo Blanco, Charanal, Platanal bajo, Morropón, las zonas bajas de Bigote, Canchaque, Yamango, Santo Domingo, así como Montero, Paimas y hasta el distrito de Tambogrande, las cuales exportan a través de las empresas COOP.NORANDINO, CASA LUKER DEL PERU S.A.C., ARMAJARO PERÚ S.A.C., APPROCAP, según lo informado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.

Como puede apreciarse, el crecimiento de la exportación del cacao a nivel internacional, nacional y local es inminente; sin embargo, proporcionalmente a este crecimiento también se incrementa la cantidad de desechos resultado de la producción del grano de cacao. No obstante, los procesos de disposición final de los residuos que esto genera (cáscaras de cacao) son aún deficientes y poco innovadores. Actualmente, son dispuestos de forma inadecuada y en su mayoría calcinados para deshacerse de ellos, ya que no poseen un valor agregado o carecen de un propósito relevante.

Considerando el contexto en el que se desarrolla la presente tesis, surgen las siguientes problemáticas:

- ¿Cómo la aplicación del proceso de carbonización y activación química permite la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón?
- ¿La composición química de las cáscaras de cacao del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, es la idónea para la obtención del carbón activado?

- ¿Cuáles son las condiciones óptimas de temperatura de activación y granulometría para la obtención de carbón activado?
- ¿Qué cantidad de carbón activado se obtendría de las cáscaras de cacao y cuál es el porcentaje de aprovechamiento de las mismas?
- ¿Qué carbón activado obtenido presenta mayor capacidad de adsorción?

El objetivo general de la presente tesis es: “Elaborar una propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón”.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar si la composición química de las cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, es la idónea para la obtención del carbón activado.
- Determinar las condiciones óptimas de temperatura de activación y granulometría para la obtención del carbón activado a partir de las cáscaras de cacao.
- Determinar la cantidad de carbón activado producido y el porcentaje de aprovechamiento de las cáscaras de cacao.
- Determinar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos.

Asimismo, las hipótesis a las problemáticas surgidas son las siguientes:

- Por sus mejores condiciones de reactividad con los carbonizados el proceso de carbonización y activación química permitirá la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón.
- La composición química de las cáscaras de cacao, permite que sea una materia prima ideal para la obtención de carbón activado.
- Las condiciones óptimas para la obtención del carbón activado mediante la activación química serían: 500 °C de temperatura de activación y con granulometría de -50 ASTM.
- El porcentaje de aprovechamiento de las cáscaras de cacao sería del 20% de la materia prima utilizada.

- Los carbones activados obtenidos a las condiciones de 500 °C de temperatura de activación y con granulometría de -50 ASTM, presentan una excelente capacidad de adsorción a diferencia de los carbones obtenidos bajo otras condiciones de operación.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran los trabajos previos más relevantes que se han realizado en el marco del tema central del presente trabajo de investigación:

- Jiménez y Mantilla (2017), en su tesis “Aprovechamiento de la cascara de mazorca de cacao en la elaboración de carbono activo para el tratamiento de aguas residuales”- Colombia; para obtener el grado de ingeniero ambiental en la Universidad Tecnológica de Santander, muestra la utilización de materias primas de bajo costo (desechos lignocelulósicos), a partir de los cuales puede obtener un producto de mayor valor agregado para reducir la contaminación en aguas y disminuir sus costos de tratamiento.
- Plaza Recobert (2015) en su tesis “Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono”-España; para obtener el grado de doctor en Química en la Universidad de Alicante, evalúa dos nuevos precursores lignocelulósicos: cascarilla de cacao y el hueso de níspero, a partir de los cuales se puede lograr conseguir carbón activado.
- Luna, González, Gordon, & Martin (2007), en su tesis “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco”-México para obtener el grado de ingeniero industrial; presenta una propuesta del diseño teórico de una unidad piloto para la obtención de carbones activos a partir de la cáscara de coco.
- Lozano, Barreto y Sepúlveda (2015), en su tesis “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”-Iquitos; para obtener el grado de ingeniero químico en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, valoró la viabilidad técnica y económica a nivel de pre factibilidad para la instalación de una planta industrial de carbón activado.

- Carrillo y Lembcke (2015), en su tesis “Estudio de Pre-Factibilidad para la instalación de una planta de elaboración de carbón activado a base de cáscara de café”-Lima; para obtener el grado de ingeniero industrial en la Universidad de Lima, plantea el diseño de una planta de producción de carbón activo en base a cáscara de café.
- Solé Vargas, Juan Antonio (1989), en su tesis “Estudio tecnológico para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco de activación de vapor”-Lima; para obtener el grado de ingeniero industrial en la Universidad de Lima; plantea el método de activación física como procedimiento para la obtención del carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos.

Asimismo, no se han reportado trabajos previos realizados en la región Piura, referidos a la obtención de carbón activado a partir de las cáscaras de cacao, utilizando el proceso de carbonización y activación química de la materia prima.

Para el desarrollo de la presente tesis, es necesario precisar algunas teorías relacionadas al tema, tales como:

- La cáscara del cacao es el desecho de la producción de cacao y corresponde al 90% del fruto. Un porcentaje de dichas cáscaras se utiliza como abono sin compostar; sin embargo, éstas se transforman en medio de cultivo de patógenos que afectan el cultivo significativamente. El porcentaje restante de las cáscaras son un problema por su dificultad de almacenamiento y falta de aplicación que resuelva su disposición final. (Marina y García, 2012, p.19).

Así mismo en octubre de 2018, la Cooperativa Norandino informó que además de sus plantas procesadoras de café y panela, tendrá una planta de chocolate a corto plazo, la cual procesará 500 kg de cacao/h, lo que significa aproximadamente 4000 TN/año, según lo informado en la página de Agencia Agraria de Noticias: agraria.pe. Por lo que, la cantidad de cáscaras de cacao disponibles para la obtención de carbón activado será mayor.

A continuación, se detalla la composición química de la cáscara de cacao:



Figura N° 1: Cáscaras de cacao

Tabla N° 1: Composición química de la cáscara de cacao

Componente	% p/p
Humedad	12.32
Celulosa	21.50
Hemicelulosa	15.80
Lignina	14.70
Proteína Bruta	14.90
Lípidos	2.20
Sales Minerales	13.50
Azúcares Reductores	0.80
Almidón	1.10
Compuestos Fenólicos	0.80
Teobromina	2.10
Cafeína	0.11
Taninos	0.17

Fuente: Casanovas, 2009.

Los compuestos que contienen celulosa y lignina se han utilizado como precursores para la obtención de carbón activado (CA), entre ellos tenemos cáscaras de diversas frutas, tales como: la fibra de coco, la corteza de plátano, la cáscara de arroz, así como también el bambú y aserrín de maderas, el bagazo de la caña de azúcar, entre otros materiales biológicos. (Universidad de Sevilla, 2010, p.26-30)

A fin de garantizar una alta calidad del producto final, el precursor debe someterse a un pretratamiento antes de iniciar el proceso de activación:

- Reducción de tamaño: a través de un equipo de molienda.
- Tamizado: a fin de separar las partículas de diferentes tamaños.

- Secado: en un horno a temperaturas en un rango de 100 y 120 °C, con el propósito de remover el exceso de compuestos volátiles y agua presentes en la materia prima. (Universidad de Sevilla, 2010, p.26-30)

La activación se puede lograr por medios físicos o por medios químicos.

- La activación química consiste en la eliminación del agua presente en la materia prima, usando agentes activantes químicos, la cual se lleva a cabo en una sola etapa. (Universidad de Sevilla, 2010, p.26-30)
- La activación física se desarrolla en dos etapas, las cuales se llevan a cabo a temperaturas cercanas a 1000 °C. (Reinoso, 2005): la primera etapa es la carbonización de la materia prima, convirtiéndola en carbón vegetal; la segunda etapa es la activación del carbonizado mediante una corriente de gas oxidante controlada (Gomella, *et al*, 1977).

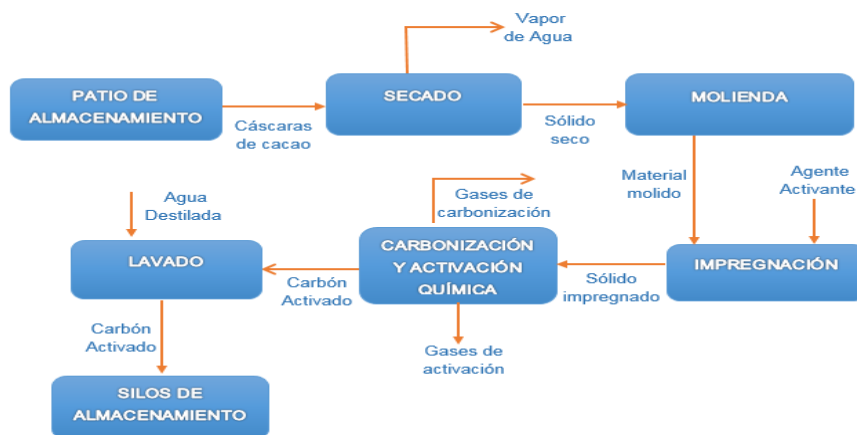


Figura N° 2: Diagrama de bloques del proceso de producción.

En un estudio se realizó la activación física del carozo de durazno, tomando en cuenta dos aspectos: el tamaño de partículas y el tiempo empleado para la activación, obteniéndose que: sobre el rendimiento y la capacidad de adsorción sólo influye el tamaño de las partículas y no el tiempo empleado para la activación. (Checco, 1985).

Por otro lado, se realizó la activación física de la madera *Eucalyptus globulus*, a diversas granulometrías (de malla desde 200 hasta 20) y temperaturas (800, 900, 1000 °C), teniendo como resultados que, la mayor capacidad de adsorción de azul de metileno se obtuvo con el

carbón de malla 200. Asimismo, el carbón de la malla 20 activado con una temperatura de de 800°C obtuvo la menor adsorción con solo 12 mL (Melo, 1985).

Otro estudio correspondiente a una activación física, utilizando como precursor el carbón de madera de algarrobo (*Prosopis pallida*), a diversas temperaturas de activación (1000, 900, 800 °C) y granulometría (de malla desde 30 hasta 140), muestra que, ninguna de estas variables influyó significativamente en las características físicas y químicas. Asimismo, se mostró que, la relación entre el rendimiento del carbón activado y el tamaño de las partículas es directamente proporcional. (Azañero, 1988).

- El carbón activado es un producto altamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 m²/g, debido a su organización cristalina. Los átomos de carbón disponibles en la superficie, son los encargados de captar las moléculas de compuestos causantes de colores, olores o sabores indeseables. (Universidad de Sevilla, 2010, p.10-12)

En el Perú sólo se ha llegado a desarrollar dos normas técnicas referentes al carbón activado:

Tabla N° 2: Características exigidas al carbón activado, en polvo, según normas técnicas peruana y mexicana

ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO		
	NTP *		Norma Oficial Mexicana **
Forma de consumo ⇒	Refinación de azúcar *	Agua consumo humano **	Refinación de azúcar ***
APARIENCIA	POLVO NEGRO		
PH	5,5 – 7,5		6,0 – 8,5
Humedad (%)	< 12	< 8	< 12
Densidad Aparente (g/cm ³)	0,35 – 0,4	> 0,20	0,35 – 0,4
Cenizas Totales (%)	< 12	< 4	< 12
Granulometría			
menor 100 mesh	> 95%	> 99 %	> 95%
Menor 200 mesh	> 92 %	> 95 %	
Menor 325 mesh		> 90 %	
Actividad del Yodo	> 60%		
Índice de Yodo (mg/g)		> 500	
Adsorción con Azul de Metileno			
Área superficial (m ² /g)		> 500	
APARIENCIA	GRANULAR		
Humedad (%)		< 8	< 12
Densidad Aparente (g/cm ³)		< 0,25	< 0,46
Cenizas (%)		< 4	< 12,5
Granulometría		0,35 – 1,5 mm	> 8,0 (mayor 12 U.S.)

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2004, p.61).

Asimismo, los principales parámetros que se tienen en cuenta para determinar la calidad de los carbones activados son los siguientes: número de yodo, densidad aparente, tamaño de partícula, contenido de cenizas, distribución del tamaño de poro, pH, contenido de humedad y capacidad de adsorción. A manera de resumen se presenta la tabla N° 3, en la cual se muestra los parámetros considerados para la evaluación de calidad y los métodos aplicados en las investigaciones referidas a carbón activado:

Tabla N° 3: Parámetros de evaluación de la calidad del carbón activado

Autor	Materia Prima	Método de Activación	Agente Activante	Variables Utilizadas	Parámetro de Evaluación
Melo, J.	Madera de eucalipto (Eucaliptos sp.)	Físico	Vapor de agua	Granulometría y tiempo de activación	Capacidad de adsorción de azul de metileno
Arana, L.	Cáscara de coco (Cocos nucífera)	Químico	Cloruro de zinc	Granulometría, temperatura y tiempo de activación	Se determinó de acuerdo a las normas NOM e ITINTEC
Azañero, I.	Madera de algarrobo (Prosopis pallida)	Físico	Vapor de agua	Temperatura de activación y granulometría	Capacidad de adsorción de azul de metileno
Layseca, M.	Aserrín de tornillo (Cedreling a cateniformis)	Químico	Cloruro de zinc	Tiempo de activación, concentración de ácido, temperatura de activación	Capacidad de adsorción de azul de metileno
Gonzáles, I.	Endocarpo de fruto de la castaña (Berthollea excelsa)	Químico	Cloruro de zinc	Tiempo y temperatura de activación y granulometría	Capacidad de adsorción de azul de metileno

Fuente: Zamora, 2010. p-28

Las leyes que rigen el presente trabajo de investigación son:

- Ley N° 26842, “Ley General de la Salud”
- Ley N° 28611, “Ley General del Ambiente”

- Ley N° 27314, “Ley General de los Residuos Sólidos”
- Ley N° 29783, “Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo”
- Ley N° 30224, “Ley que crea el Sistema Nacional para la calidad y el Instituto Nacional de Calidad”
- Norma técnica peruana NTP 207.024: 1982, “Carbón Activado usado en la industria azucarera y otros productos edulcorantes. Requisitos Generales”
- Norma técnica peruana NTP 311.331:1998, “Carbón Activado para Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Requisitos”

Asimismo, se analizó los riesgos que pudiesen generar los insumos químicos utilizados en el proceso de obtención del carbón activado, así como los productos y subproductos derivados del mismo, determinándose que, el grado de contaminación por el uso de insumos químicos no representa un daño importante al medio ambiente, puesto que las cantidades utilizadas no son significativas.

Por otro lado, debido a que la obtención del carbón activado se llevó a cabo a nivel de laboratorio, se tomaron en cuenta las siguientes medidas de seguridad:

- Todos los análisis ejecutados en laboratorio se llevaron a cabo haciendo uso de los respectivos equipos de protección personal (EPP): guardapolvo, botas de seguridad, lentes de seguridad, mascarilla, guantes de látex, toca y casco de seguridad.
- Capacitaciones en seguridad, manejo y operación de materiales y equipos de laboratorio y primeros auxilios, buenas prácticas de laboratorio.

Adicionalmente, se tomó en cuenta la disponibilidad de información referida a las características de peligrosidad de las sustancias a utilizar, información adecuada para realizar el trabajo de manera segura, plan de Emergencia propio del laboratorio, material de primeros auxilios y estar informado acerca de su correcta utilización.

Para mejor entendimiento del presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta los siguientes enfoques conceptuales:

- Adsorción: Es la retención o atrapamiento de átomos, iones o moléculas en la superficie de un material.
- Carbonización: Es el proceso de conversión de una sustancia orgánica en carbono o un residuo que contiene carbono.
- Activación: Es el proceso que consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en una atmósfera inerte (Activación Térmica). También se le conoce al proceso que consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de un químico (Activación Química).
- Carbón activado: Es un producto utilizado generalmente para la adsorción de olores, colores indeseables. Se produce a partir de materiales que contengan celulosa y lignina dentro de su composición.
- Superficie específica: Propiedad de los sólidos a través de la cual, se mide la relación entre el área superficial total y la masa del sólido.
- Fuerzas de Van der Waals: Son fuerzas repulsivas y/o atractivas entre moléculas diferentes a las moléculas de enlace intermolecular. También se les conoce como interacciones de Van der Waals.
- Pirólisis: Es el proceso de calentamiento de la materia a muy altas temperaturas en ausencia de oxígeno, con el fin de generar su descomposición química.
- Productos Volátiles: Son productos o compuestos que contienen hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno, y son fácilmente convertibles en vapores o gases.
- Compuestos lignocelulósicos: Compuestos que contienen celulosa, hemicelulosa y lignina, poseen alto contenido de carbono en su estructura química.
- Estandarización: Es el proceso a través del cual se establece una serie de características comunes que debe cumplir un producto, las cuales son respetadas en diversas partes del mundo.

III. METODOLOGÍA:

3.1. Tipo y Diseño de investigación:

La presente investigación es de tipo experimental puesto que, se manipula intencionalmente la variable independiente (proceso de carbonización y activación química), para analizar las consecuencias que dicha manipulación tiene sobre la variable dependiente (carbón activado). (Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

El diseño utilizado fue de tipo experimental- unifactorial a dos niveles:

- (i) Temperatura de activación: 500 °C y 650 °C y
- (ii) Granulometría: +18 mesh, +45 mesh y -50 mesh.

Donde:

- **T°A**: Temperatura de activación (°C)
- **GR**: Granulometría (mm)

Al combinar los dos niveles (T°A y GR), se tiene: $2 \times 3 = 6$ unidades muestrales.

Dichas unidades, tuvieron 2 repeticiones o también llamadas réplicas (R), entonces el tamaño de muestra (N) se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$N = R \times T^{\circ}A \times GR, N = 2 \times 2 \times 3 = 12.$$

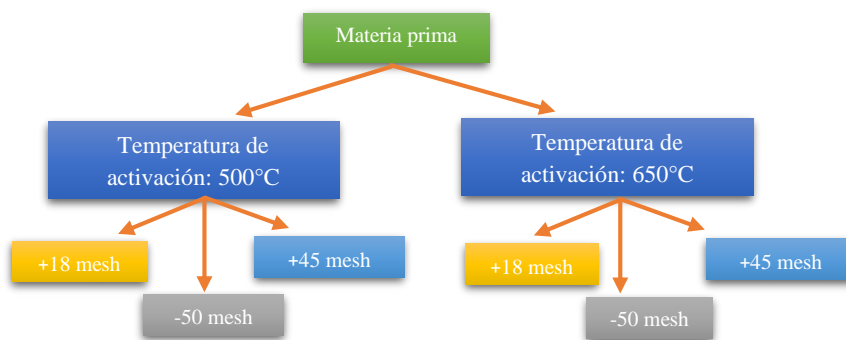


Figura N° 3: Diseño de la investigación.

Asimismo, la investigación es de tipo aplicada o también denominada activa o dinámica y se encuentra estrechamente ligada a la investigación básica ya que, depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Esta forma de investigación se dirige a una utilización inmediata y no al desarrollo de teorías (Rodríguez, 2015).

Según su nivel o alcance, la presente investigación es de tipo descriptiva, porque permite describir el problema y señalar sus características para someterlo al análisis, asimismo, es una investigación transversal según su temporalidad.

A continuación, se muestra tabla para recolección de datos:

Tabla N° 4: Tabla para la recolección de datos

Temperatura de Activación	Granulometría	Recolección de datos
500 °C (T°A1)	+18 mesh (GR1)	T°A1. GR1
	+45 mesh (GR2)	T°A1. GR2
	-50 mesh (GR3)	T°A1. GR3
650 °C (T°A2)	+18 mesh (GR1)	T°A2. GR1
	+45 mesh (GR2)	T°A2. GR2
	-50 mesh (GR3)	T°A2. GR3

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Operacionalización de las Variables:

Los principales procesos para la transformación de una materia prima en carbón activado son la: carbonización y activación ya sea realizada por el método físico o químico, dicho proceso puede llevarse a cabo bajo diferentes condiciones de operación, en esta investigación se manipularán dichas condiciones para obtener carbón activado; por lo que, el proceso de carbonización y activación química es la variable independiente de esta investigación.

Asimismo, dependiendo de las condiciones de operación a las que se trabaje, se obtendrán carbones activados de diferentes características, por lo que el carbón activado obtenido es la variable dependiente de esta investigación.

A continuación, en la tabla N° 5, se muestra la operacionalización de ambas variables:

Tabla N.º 5: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	CO-VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente: PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y ACTIVACIÓN QUÍMICA	Los principales procesos de transformación de una materia prima en carbón activado son la: carbonización y activación ya sea física o química.	Temperatura de Activación	El proceso de activación se realizó a diferentes temperaturas de activación (500 °C y 650 °C)	% Aprovechamiento de las cáscaras de cacao	Razón
		Granulometría	La materia prima fue sometida a proceso de cernido para obtener un producto a diferentes granulometrías (+18 mesh, +45 mesh y -50 mesh)		
Dependiente OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	Se obtiene a partir de materias primas que contengan la suficiente cantidad de carbono en su estructura química, la cual a través de diversos procesos logra finalmente transformarse en este producto.	-	La calidad de los carbones obtenidos a las diferentes condiciones de operación (temperatura de activación y granulometría), se determinó a través de una serie de análisis realizados en laboratorio para medir la capacidad de adsorción del producto obtenido.	Capacidad de adsorción	Razón

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Población y muestra:

La población fue 20 kg de cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera de las zonas productoras del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón.

La muestra que se analizó fue de 1000 gramos, extraídos de los 20 kilogramos de la población, los cuales se trabajaron a nivel de laboratorio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

La técnica utilizada fue la observación, de los resultados obtenidos en los ensayos ejecutados a nivel de laboratorio.

Asimismo, para recolectar los datos obtenidos, se utilizaron guías de observación, las cuales se muestran en el Anexo N° 02.

Validación de instrumentos de recolección de datos:

Tanto la validez como la confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos, se llevaron a cabo a través del juicio emitido por expertos; para dicho fin, se solicitó la revisión de las guías de observación, por tres especialistas de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo de la ciudad de Piura. Ver Anexo N° 03.

3.5. Procedimiento

Los diagramas de análisis del proceso (DAP) y operaciones del proceso (DOP) se muestran en el Anexo N° 07.

3.6. Método de análisis de datos:

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando medios electrónicos, clasificados y sistematizados a través del paquete Excel 2016, ello, permitió presentar los resultados mediante tablas y gráficos para su análisis e interpretación.

3.7. Aspectos éticos:

El autor de la investigación se responsabiliza por la autenticidad de los resultados obtenidos, así como por la fiabilidad de los datos proporcionados. Su procesamiento fue veraz e imparcial.

Así mismo, se respetó las condiciones, normativas y políticas de la Universidad César Vallejo, así también, la propiedad intelectual, citando en todo momento los conceptos y los procedimientos extraídos de las investigaciones y los trabajos previos.

IV. RESULTADOS:

Para determinar que, la cáscara de cacao (materia prima utilizada) es ideal para obtener el carbón activado, es necesario precisar la cantidad de carbono fijo contenido en la muestra, para ello se realizó el análisis de 500 gramos de cáscaras de cacao, mediante el método gravimétrico en el laboratorio SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA DELTAS S.R.L. de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 6: Porcentaje de carbón fijo en las cáscaras de cacao

Muestra	Método	Carbón Fijo
Cáscara de Cacao	Gravimétrico-Cenizas	48.5%±1.2% (p/p)

Fuente: SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA DELTAS S.R.L.

El informe de ensayo se muestra en el Anexo N° 05.

Asimismo, para determinar las condiciones óptimas de granulometría y temperatura de activación, es necesario realizar diversas pruebas del proceso de carbonización y activación química, para ello, se siguió una serie de procedimientos en los laboratorios de: procesos unitarios, físico-química y química orgánica de la escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Piura (UNP), los cuales se detallan a continuación:

- **Molienda de materia prima:** Para la reducción de tamaño de las cáscaras de cacao, se utilizó un molino eléctrico, a través del cual se hizo pasar la materia prima en reiteradas oportunidades, con la finalidad de uniformizar el tamaño de los residuos.
- **Tamizado de materia prima:** El material molido, se pasó a través de una serie de tamices, con la finalidad de separar el material por granulometría, mediante los tamices ASTM: 8 mesh (2.38 mm), 12 mesh (1.68 mm), 18 mesh (1.00 mm), 45 mesh (0.354 mm) y 50 mesh (0.297mm).
- **Impregnado de materia prima:** Se realizó el impregnado de las cáscaras de cacao con ácido fosfórico (H₃PO₄) de 25% de concentración, en una relación de 1/0.5 hasta obtener una mezcla pastosa. El procedimiento duró aproximadamente 04 horas y se impregnaron 06 muestras: +18 mesh (500°C), +18 mesh (650°C), +45 mesh (500°C), +45 mesh (650°C), -50 mesh (500°C), -50 mesh (650°C).

- **Carbonización y Activación de materia prima:** Las muestras obtenidas se ingresaron al horno mufla para realizar la carbonización y activación química a dos temperaturas diferentes: 500°C y 650°C.
- **Lavado de carbón activado:** Finalmente, el carbón activado se sometió a un proceso de lavado con agua caliente a 80°C, para eliminar remanente del agente químico activante. Primero se le agregó una cantidad igual o mayor de agua destilada y posteriormente se hizo pasar la mezcla por un filtro, para asegurar que no queden restos del ácido fosfórico utilizado para la activación.

Después de realizar la carbonización y activación química de las cáscaras de cacao (materia prima) en laboratorio, se obtuvo las siguientes cantidades de carbón activado:

Tabla N° 7: Pesos obtenidos de carbón activado

N° Experimento	Descripción	Peso muestra (g)	Peso de Carbón Activado (g)
01	+18 mesh (500°C)	1.0121	0.2308
02	+18 mesh (650°C)	1.0196	0.1507
03	+45 mesh (500°C)	1.0315	0.2548
04	+45 mesh (650°C)	1.0463	0.2127
05	-50 mesh (500°C)	1.0141	0.1217
06	-50 mesh (650°C)	1.0083	0.0939

Fuente: Elaboración Propia.

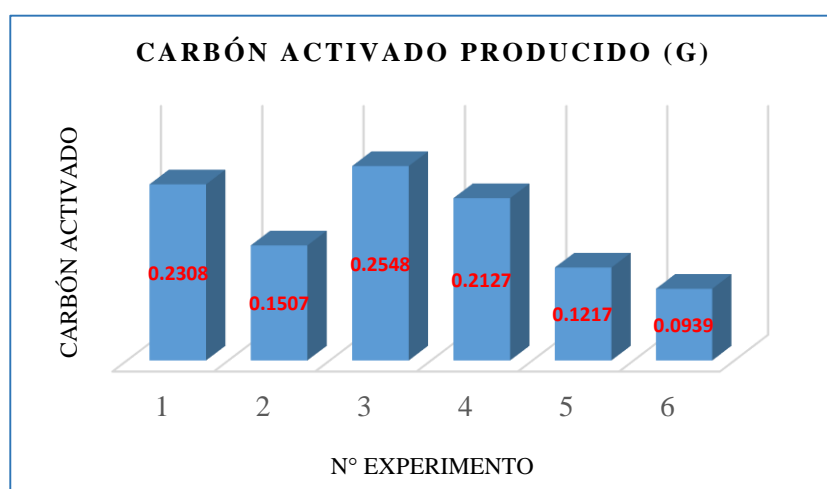


Figura N° 4: Carbón activado producido en laboratorio

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar el % de rendimiento o % de aprovechamiento, se utilizó la siguiente fórmula, la cual fue trabajada mediante hojas de cálculo Excel, obteniendo los siguientes resultados:

$$\% \text{ Rendimiento o Aprovechamiento} = \frac{\text{Peso de Carbón Activado}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

Tabla N° 8: Determinación % aprovechamiento o % rendimiento de las cáscaras de cacao

N° Experimento	Descripción	Peso crisol vacío (g)	Peso muestra (g)	Peso total (g)	Peso crisol + muestra seca (g)	Peso de Carbón Activado (g)	%Aprovechamiento o % Rendimiento
01	+18 mesh (500°C)	20.1135	1.0121	21.1256	20.3443	0.2308	22.80
02	+18 mesh (650°C)	19.7821	1.0196	20.8017	19.9328	0.1507	14.78
03	+45 mesh (500°C)	19.7887	1.0315	20.8202	20.0435	0.2548	24.70
04	+45 mesh (650°C)	19.7510	1.0463	20.7973	19.9637	0.2127	20.33
05	-50 mesh (500°C)	23.2728	1.0141	24.2869	23.3945	0.1217	12.00
06	-50 mesh (650°C)	20.2749	1.0083	21.2832	20.3688	0.0939	9.31

Fuente: Elaboración Propia

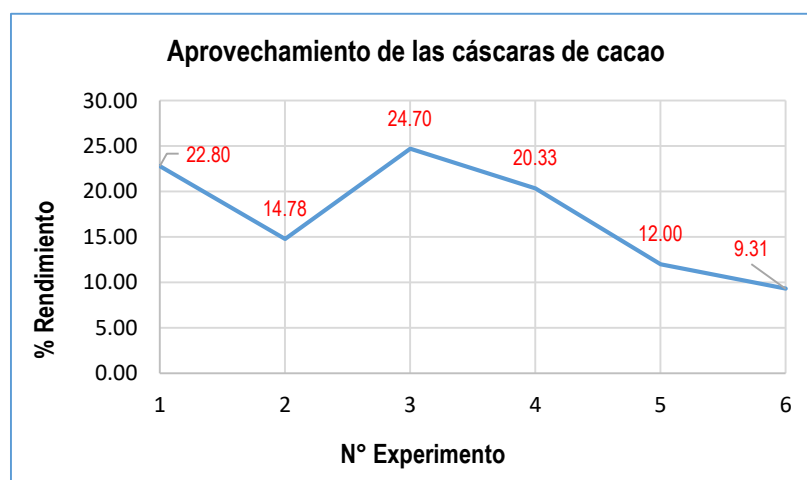


Figura N° 5: Rendimiento de las cáscaras de cacao

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, a través de la prueba de azul de metileno se logró determinar la capacidad de adsorción de cada uno de los carbones activados obtenidos, dicha prueba consistió en ir añadiendo mililitros (mL) de una solución de azul de metileno, la cual se filtró a través de 0.1 gramo de carbón activado, hasta su saturación. (Especificaciones de calidad y reactivación del carbón activado, Biblioteca digital Unison, Cap. II. 2006), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 9: Resultados promedio índice de azul de metileno

N° Experimento	Descripción	Índice de azul de metileno (mL/0.1g)
-	Carbón Comercial	12
01	+18 mesh (500°C)	10
02	+18 mesh (650°C)	7
03	+45 mesh (500°C)	14
04	+45 mesh (650°C)	9
05	-50 mesh (500°C)	6
06	-50 mesh (650°C)	5

Fuente: Elaboración Propia

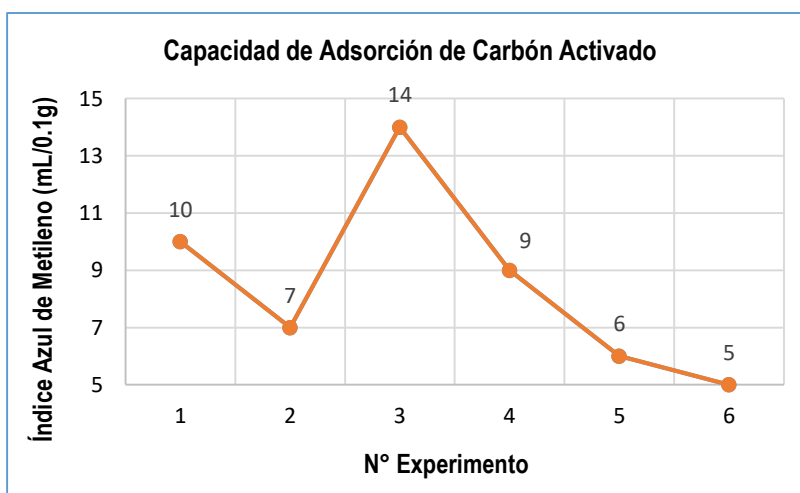


Figura N° 6: Capacidad de Adsorción de Carbón Activado

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos se muestran en la Ficha Técnica del carbón activado producido. Ver Anexo N° 06.

Asimismo, se evaluó de forma rápida y simplificada la viabilidad económica para la producción de 01 kg de carbón activado a partir de las cáscaras de cacao, según los datos obtenidos experimentalmente, obteniéndose lo siguiente:

Tabla N° 10: Costos de producción de 01 kg de carbón activado a partir de cáscaras de cacao

Parámetros	Costos de Producción
Materia Prima	S/. 0.00
Costos de Transporte de materia prima	S/. 20.00
Tratamiento de materia prima - 01 kg. (Incluye uso de equipos en laboratorio)	S/. 20.00
Conversión de materia prima a carbón activado - 01 kg. (Incluye reactivos químicos y uso de equipos en laboratorio)	S/. 100.00
TOTAL	S/. 140.00
Valor de Carbón Activado (01 kg).	S/. 170.00

Como puede apreciarse, la obtención de carbón activado a partir de las cáscaras de cacao es viable económicamente por lo que se propone diseñar la capacidad de una planta industrial para la producción del mismo. Ver Anexo N° 04

V. DISCUSIÓN

El carbón fijo es considerado el componente principal del carbón y teóricamente corresponde al carbono puro. Los valores medios de carbono fijo varían de 40 a 80% para un carbón vegetal, pero para que un carbón tenga características de buena adsorción (carbón activado) los valores superan el 45 %. Los valores de carbono fijo están en relación directa con la calidad del carbón que a su vez depende de la temperatura de tratamiento. (Universidad Nacional Agraria La Molina, 2004, p.19).

Por lo que, del resultado mostrado en la Tabla N° 09, se demuestra que, la materia prima utilizada (cáscaras de cacao) es ideal para la obtención del carbón activado, ya que casi el 50% de su composición química es carbono fijo. Véase Reporte de Análisis en el Anexo N° 05.

Según los resultados obtenidos en laboratorio y las normas técnicas referentes al carbón activado: **NTP 207.024:1982** y **NTP 311.331:1998**; se comprueba que las condiciones óptimas de temperatura de activación y granulometría son las trabajadas en el experimento N° 03: granulometría +45 mesh y 500°C.

Como puede apreciarse en la Tabla N° 10, se obtuvo una mayor cantidad de carbón activado (0.2548 gramos) con el experimento N° 03, correspondiente al proceso realizado con +45 mesh de granulometría y 500°C de temperatura de activación.

Asimismo, se aprecia que se obtuvo la menor cantidad de carbón activado (0.0939 gramos) con el experimento N° 06, correspondiente al proceso realizado con -50 mesh de granulometría y 650°C de temperatura de activación.

Los resultados obtenidos concuerdan con las teorías de Melo y Checco, 1985; en donde se afirma que la granulometría y la temperatura de activación tienen influencia significativa sobre la cantidad y calidad del carbón activado obtenido. Asimismo, se aprecia en la Tabla N° 18 que, el mayor porcentaje de aprovechamiento fue de 24.70% el cual se obtuvo del experimento N° 03, correspondiente a cáscaras de cacao con +45 mesh de granulometría, las cuales fueron sometidas al proceso de carbonización y activación química a 500°C.

Por otro lado, el menor porcentaje de aprovechamiento fue de 9.31% el cual se obtuvo del experimento N° 06, correspondiente a cáscaras de cacao con -50 mesh de granulometría, las cuales fueron sometidas al proceso de carbonización y activación química a 650°C.

El resultado obtenido en el experimento N° 03, se encuentra dentro de la media promedio, comparado con los resultados obtenidos en los trabajos previos existentes.

Como puede apreciarse en la Tabla N° 19, la mayor capacidad de adsorción fue 14 mL de azul de metileno/0.1 gramo de carbón activado, correspondiente al experimento N° 03, el cual se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones de operación: +45 mesh de granulometría y 500°C durante el proceso de carbonización y activación química.

Asimismo, la menor capacidad de adsorción fue 5 mL de azul de metileno/0.1 gramo de carbón activado, correspondiente al experimento N° 06, el cual se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones de operación: -50 mesh de granulometría y 650°C durante el proceso de carbonización y activación química.

El resultado obtenido en el experimento N° 03 supera ligeramente la capacidad de adsorción del carbón comercial, según Especificaciones de calidad y reactivación del carbón activado, Biblioteca digital Unison, Cap. II. 2006.

El costo de producción de 01 kg de carbón activado, a partir de las cáscaras de cacao es ligeramente menor al valor de 01 kg de carbón activado en el mercado a nivel nacional; sin embargo, a gran escala, estos costos podrían reducirse notablemente.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la composición química de las cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, es la idónea para obtener el carbón activo; la cual contiene casi el 50% de carbón fijo en su composición.
2. Se determinó que las condiciones óptimas de granulometría y temperatura de activación para obtener el carbón activo a partir de las cáscaras de cacao, son de +45 mesh y 500°C respectivamente.
3. Se determinó que la cantidad de carbón activado obtenido fue de 0.2548 gramos con un porcentaje de aprovechamiento de las cáscaras de cacao de 24.70%.
4. Se determinó que la mayor capacidad de adsorción fue de 14 mL azul de metileno/0.1 g de carbón activado, la cual corresponde al carbón activado obtenido bajo 500°C de temperatura de activación y +45 mesh de granulometría. Por lo que se concluye que, el carbón activado obtenido es de muy buena calidad. Se muestra ficha técnica correspondiente. Véase Anexo 02.

Asimismo, se concluye que la obtención de carbón activado de las cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera de la provincia de Morropón, distrito de Chulucanas aplicando el proceso de carbonización y activación química, es viable económicamente.

VII. RECOMENDACIONES

Para producir carbón activado a gran escala, es fundamental definir las condiciones de operación bajo las cuales se obtendrá el producto, ya que es una parte crítica del proceso de producción, la cual definirá la cantidad y calidad del mismo.

Realizar un diseño de planta y estudio de pre-factibilidad para la obtención de carbón activado a partir de las cáscaras de cacao, tomando en cuenta la demanda estimada al año 2023.

Experimentar con otros precursores de la región norte del país, que tengan una composición química adecuada para obtener carbón activo, a fin de encontrar mejores porcentajes de aprovechamiento.

REFERENCIAS:

- ARIYADEJWANICH, Peter, *et al.* (2003) “Preparation and characterization of mesoporous activated carbon from waste tires” *Carbon* 41, p.157–164.
- BANDOSZ, Teresa, (2006). “Activated carbon surfaces in environmental remediation”. Elsevier, p. 5-23.
- BASTIDAS, Marlon *et al.* Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia [en línea]. Colombia 2010. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Recuperado de: Información tecnológica, 21(3), 87-96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000300010>
- BINIÁK, Stanislaw., *et al.* (1997) “The characterization of activated carbons with oxygen and nitrogen surface groups” *Carbon* 35, p. 799-810.
- BRADY Todd, ROSTAM-ABADI, Massoud y ROOD, Mark (1996) “Applications for activated carbons from waste tires: natural gas storage and air pollution control” *Gas Sep. Purif.* 10-2, p. 97–102.
- BRAVO, Katherine y GARZÓN, Ayrton (2017). Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua. Tesis (Título de Ingeniero en Medio Ambiente). Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, p. 1-26.
- BURGOS, Gabriela y JARAMILLO, Jomayra (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas. Tesis (Título de Químico Farmacéutico). Ecuador: Universidad de Guayaquil, p. 10-52.

- CARVALHO, Regina (2016). Modificación Química Superficial de carbones mesoporosos activados. Aplicaciones en catálisis de adsorción. Tesis. España: Universidad de Extremadura, p. 10-73.
- CHOMA Jerzy, *et al.* (2010) “Development of microporosity in mesoporous carbons” Top Catal 53, p. 283-290.
- CORTEZ, José y LIMPIO, Deiby. Diseño de una planta para la producción de filtros de carbono activado a partir de las cáscaras de cacao [en línea]. Caracas 2013. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Recuperado de: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS5967.pdf>
- DAVINI, Paolo (2001). “The effect of certain metallic derivatives on the adsorption of sulphur dioxide on active carbon” Carbon 39, 3, p. 419-424.
- Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla. Manual del Carbón Activo [en línea]. [2010] [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018]. Recuperado de: https://www.ucv.edu.pe/datafiles/FONDO%20EDITORIAL/Manual_ISO.pdf
- ESTUPIÑAN, Hugo, VÁSQUEZ, Custodio y PULIDO, Jorge (2006). Obtención de un material carbonáceo activado de antracita para posibles aplicaciones en hidrometalurgia. Revista Facultad de Ingeniería N° 37. Colombia: Universidad de Antioquía, p. 31-40.
- FERNÁNDEZ, Adrián *et al.* (2006). Aspectos industriales de la producción de carbón activado y sus aplicaciones en la mitigación ambiental (Tesis de pregrado). Cuba: Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Habana, p. 12-27.
- FIGUEIREDO, James, *et al* (1999). “Modification of the surface chemistry of activated carbons” Carbon 37, p. 1379-1389.

FLORES, Álvaro (2011). Estudio preliminar para la instalación de una planta de elaboración de carbón activado, a base de frutos de palmeras amazónicas. Perú: Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, p.11-28.

GARCÍA, Rebeca y GRANILLO, Yasser (2017). Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activado de cáscara de naranja valencia (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck), Laboratorios de Química UNAN-MANAGUA. Monografía (Título Licenciado en Química Industrial). Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, p. 11-46

GÓMEZ, Luis, ZAPATA, Alberto (2006). Estudio de prefactibilidad de una empresa productora de carbón activado en la ciudad de Medellín. Trabajo de Grado (Especialista en finanzas). Colombia: Universidad de Antioquia, p. 24-64.

GÓRKA, Joanna, *et al.* (2009) “Influence of temperature, carbon precursor/copolymer ratio and acid concentration on adsorption and structural properties of mesoporous carbons prepared by soft-templating” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 352, 1-3, 5; p. 113-117.

HIDALGO, Karla y RIVERA, Solange (2017). Obtención del carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera”. Tesis. (Título de Ingeniero Químico). Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, p. 8-69.

INCP-Instituto Nacional de Calidad Peruana (1998). Carbón Activado para tratamiento de agua para consumo humano. Ntp 311.331.

JAGTOYEN Michael y DERBYSHIRE, Fox. (1998) “Activated carbons from yellow poplar and white oak by H₃PO₄ activation” *Carbon* 36; p.1085-1097.

- LAZO, Roberto (2015). Operaciones y Procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Proyecto de Investigación. Perú: Universidad Nacional del Callao, p. 45-111.
- LUNA, Donaciano *et al.* Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco [en línea]. México 2007. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Recuperado de: <https://docplayer.es/12326871-Obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-la-cascara-de-coco.html>
- MANALS, Enma, VENDRELL, Frank y PENEDO, Margarita (2016). Aplicación de Carbón Activado de cascarón de coco en adsorción de especies metálicas contenidas en el licor de desecho (WL) de la lixiviación ácida de mineral laterítico. Artículo Original. Cuba: Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, p. 117-129. Vol. 36.
- MARINA, Luz y GARCÍA, Natalia (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 (Título de Ingeniero Químico Industrial). Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, p.19-20, 22-23.
- MELO, Jorge (1985). Obtención de Carbón Activado de Eucaliptus globulus labill. Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, p. 90-111.
- PAREJO, Yeison. *et al.* (2015). Generación de Carbón Activado a través de desperdicio de material vegetal para la elaboración de filtro de agua. Tesis de Pregrado. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Anzoátegui, p.1-15.
- PLAZA, Minerva. Carbón activado: evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono [en línea]. España 2015. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Recuperado de: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/47053>

RADOVIC, Lucas (1994) “Chemistry and physics of carbon” Throrer P. A. Ed., Marcel ekker: New York 24; p. 213-310.

RAMÍREZ, Andrés y BADILLO, Lizeth. Aprovechamiento de la cáscara de mazorca de cacao en la elaboración de carbono activo para el tratamiento de aguas residuales [en línea]. México 2017. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018] Recuperado de: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/2691>

RINCÓN, José *et al.* (2015). Producción de Carbón Activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. Artículo Original. Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, p.171-175.

RIVERA, Armando. Producción de carbón activado a partir de grafito amorfo. [en línea]. México 1991. Escuela de Ciencias Químicas - Universidad de Sonora. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Recuperado de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/906/Capitulo4.pdf>

ROCHA, Eduardo. Tratamiento con Carbón Activado Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. [en línea]. México 2003. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018]. Recuperado de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbon6.pdf>.

SARMIENTO, Carmen y SÁNCHEZ, Jorge. (2006). Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. Venezuela: Universidad del Zulia. Maracaibo, p. 1-16.

SEVILLANO, Alberto y TORRES, Patricio. Obtención de Carbón activado a partir de madera. [en línea]. Argentina 2013. Tesis. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. San Rafael, Mendoza. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2018]. Recuperado de:

http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf.

SOLE, Juan (1989). Estudio tecnológico para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco por activación con vapor. Perú: Universidad de Lima, p. 33-56.

SOLÍS, Julio *et al.* Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña [en línea]. Estado de Veracruz, México 2012. Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Recuperado de: Tecnología, Ciencia, Educación, 27(1). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=48224413006>

ZAMORA, Giuliana (2010). Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la amazonía Peruana, Shapaja (*Attalea phalera*) y Aguaje (*Mauritia flexuosa*). Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, p. 16-27.

ZAPATA, Zulamita, *et al.* (2005). Producción de carbón activado a partir de carbón subbituminoso en reactores de lecho fluidizado por proceso autotérmico. Revista de la Facultad de Minas Vol. 72, No. 147. Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, p. 47-56.

ANEXO N°01

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROBLEMA

“Propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón – 2018”	
PROBLEMA	OBJETIVOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL
¿Cómo la aplicación del proceso de carbonización y activación química permite la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón?	Elaborar una propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
¿La composición química de las cáscaras de cacao del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, es la idónea para la obtención del carbón activado?	Determinar si la composición química de las cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, es la idónea para la obtención del carbón activado.
¿Cuáles son las condiciones óptimas de temperatura de activación y granulometría para la obtención de carbón activado?	Determinar las condiciones óptimas de temperatura de activación y granulometría para la obtención del carbón activado a partir de las cáscaras de cacao.
¿Qué cantidad de carbón activado se obtendría de las cáscaras de cacao y cuál es el porcentaje de aprovechamiento de las mismas?	Determinar la cantidad de carbón activado producido y el porcentaje de aprovechamiento de las cáscaras de cacao.
¿Qué carbón activado obtenido presenta mayor capacidad de adsorción?	Determinar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos.

ANEXO N°01

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	CO VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente: PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y ACTIVACIÓN QUÍMICA	Los principales procesos de transformación de una materia prima en carbón activado son la: carbonización y activación ya sea física o química.	Temperatura de Activación	El proceso de activación se realizó a diferentes temperaturas de activación (500 °C y 650 °C)	% Aprovechamiento de las cáscaras de cacao	Razón
		Granulometría	La materia prima fue sometida a proceso de cernido para obtener un producto a diferentes granulometrías (+18 mesh, +45 mesh y -50 mesh)		
Dependiente OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	Se obtiene a partir de materias primas que contengan la suficiente cantidad de carbono en su estructura química, la cual a través de diversos procesos logra finalmente transformarse en este producto.	-	La calidad de los carbones obtenidos a las diferentes condiciones de operación (temperatura de activación y granulometría), se determinó a través de una serie de análisis realizados en laboratorio para medir la capacidad de adsorción del producto obtenido.	Capacidad de adsorción	

ANEXO N°01


MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL MARCO METODOLÓGICO


TIPO DE INVESTIGACIÓN	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS
<p>a) Por la finalidad: La investigación es aplicada ya que se orienta a la solución de problemas concretos vinculados a una utilidad práctica del proceso de carbonización y activación química de los residuos de las cáscaras de cacao.</p> <p>b) Por el nivel o alcance: La investigación es descriptiva ya que permite describir el problema y señalar sus características para someterlo al análisis</p> <p>c) Por la temporalidad: La investigación será de tipo transversal porque se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único.</p>	<p>Se utilizará un diseño experimental, debido a que se manipulará deliberadamente las variables.</p>	<p>a) Población La población fue 20 kg de cáscaras de cacao provenientes de la producción cacaotera de las zonas productoras del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón.</p> <p>b) Muestra La muestra que se analizó fue de 1000 gramos, extraídos de los 20 kilogramos de la población, los cuales se trabajaron a nivel de laboratorio.</p>	<p>a) Técnicas Análisis Documental. Observación.</p> <p>b) Instrumentos Ficha de análisis documental. Guías de observación.</p>

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO Y SU CAPACIDAD DE ADSORCIÓN

OBJETIVO: Recoger información de los ensayos ejecutados en laboratorio para la obtención de carbón activado y su capacidad de adsorción.

 Pesos obtenidos de Carbón Activado			
N° Experimento	Descripción	Peso muestra (g)	Peso de Carbón Activado (g)
01	+18 mesh (500°C)		
02	+18 mesh (650°C)		
03	+45 mesh (500°C)		
04	+45 mesh (650°C)		
05	-50 mesh (500°C)		
06	-50 mesh (650°C)		

 % Rendimiento de Cáscaras de Cacao							
N° Experimento	Descripción	Peso crisol vacío (g)	Peso muestra (g)	Peso total (g)	Peso crisol + muestra seca (g)	Peso de Carbón Activado (g)	%Aprovechamiento o % Rendimiento
01	+18 mesh (500°C)						
02	+18 mesh (650°C)						
03	+45 mesh (500°C)						
04	+45 mesh (650°C)						
05	-50 mesh (500°C)						
06	-50 mesh (650°C)						



Capacidad de Adsorción del Carbón Activado

Nº Experimento	Descripción	Índice de azul de metileno (mL/0.1g)
-	Carbón Comercial	12
01	+18 mesh (500°C)	
02	+18 mesh (650°C)	
03	+45 mesh (500°C)	
04	+45 mesh (650°C)	
05	-50 mesh (500°C)	
06	-50 mesh (650°C)	

ANEXO N° 03

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Ignacio Lama Larique con DNI N° 03828290 Magister
en Ingeniería Ambiental N° ANR:
44464 de profesión Ingeniería Industrial desempeñándome como Jefe de
Seguridad Industrial en ESMETAL S.A.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Guías de Observación de Carbón Activado obtenido y su Capacidad de Adsorción.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

GUÍAS DE OBSERVACIÓN	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 20 días del mes de Noviembre
del Dos mil dieciocho:

CIP44464

Mg. : Ignacio Lama Larique
DNI : 03828290
Especialidad : Ingeniero Industrial
E-mail : nachimanche@hotmail.com



**“PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y ACTIVACIÓN QUÍMICA PARA LA
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE CACAO EN EL DISTRITO DE CHULUCANAS,
PROVINCIA DE MORROPÓN – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO Y SU CAPACIDAD DE ADSORCIÓN**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20					Regular 21 - 40					Bueno 41 - 60					Muy Bueno 61 - 80					Excelente 81 - 100					OBSERVACIONES
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100					
ASPECTOS DE VALIDACIÓN																											
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100					
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	80				
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	78				
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	80				
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y calidad.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	76				
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar las dimensiones del tema de la investigación.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	78				

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Nestor Javier Zapata Palacios con DNI N° 02667267 Magister en Ingeniería Ambiental N° ANR: 35038 de profesión Industrial desempeñándome como Docente de Programa Formación Ambiental Universidad César Vallejo.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Guías de Observación de Carbón Activado obtenido y su Capacidad de Adsorción.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

GUÍAS DE OBSERVACIÓN	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad			X		
2. Objetividad				X	
3. Actualidad			X		
4. Organización			X		
5. Suficiencia			X		
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia			X		
8. Coherencia			X		
9. Metodología			X		

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 24 días del mes de Nov. del Dos mil 2018.

[Handwritten signature]
CIP 35038

Mg. : Nestor Javier Zapata Palacios
 DNI : 02667267
 Especialidad : ING. INDUSTRIAL
 E-mail : Nzapata@gmail.com



**“PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y ACTIVACIÓN QUÍMICA PARA LA
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE CACAO EN EL DISTRITO DE CHULUCANAS,
PROVINCIA DE MORROPÓN – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO Y SU CAPACIDAD DE ADSORCIÓN**

Indicadores	Criterios	Deficiente										Bueno	Muy Bueno					Excelente	OBSERVACIONES		
		0 - 20		21 - 40		41 - 60		61 - 80		81 - 100											
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
	ASPECTOS DE VALIDACIÓN	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.																				
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.																				
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.																				
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.																				
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y calidad.																				
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar las dimensiones del tema de la investigación.																				

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Gerardo Sosa Panta con DNI N° 03591940 Magister
 en DOCENCIA UNIVERSITARIA N° ANR:
6744, de profesión ING° INDUSTRIAL desempeñándome como DOCENTE
 en UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Guías de Observación de Carbón Activado obtenido y su Capacidad de Adsorción.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

GUÍAS DE OBSERVACIÓN	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia					X
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 20 días del mes de NOVIEMBRE
 del Dos mil 18.

Mg. : Gerardo Sosa Panta
 DNI : 03591940
 Especialidad : INDUSTRIAL
 E-mail : gerardodolar@gmail.com


Mg. Gerardo Sosa Panta
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP 67114

**“PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y ACTIVACIÓN QUÍMICA PARA LA
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE CACAO EN EL DISTRITO DE CHULUCANAS,
PROVINCIA DE MORROPÓN – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO Y SU CAPACIDAD DE ADSORCIÓN**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20					Regular 21 - 40					Bueno 41 - 60					Muy Bueno 61 - 80					Excelente 81 - 100					OBSERVACIONES
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100					
ASPECTOS DE VALIDACIÓN																											
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.	0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96						
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100						
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.																					80					
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.																					80					
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y calidad.																					80					
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar las dimensiones del tema de la investigación.																					80					

ANEXO N° 04

PROPUESTA DE DISEÑO DE CAPACIDAD DE PLANTA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARAS DE CACAO

PROPUESTA:

Diseño de capacidad de planta industrial de carbón activado a partir de las cáscaras de cacao del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón.

DESARROLLO:

Para determinar la capacidad de la planta de carbón activado, es necesario conocer la cantidad de materia prima disponible; para ello se calculó la demanda de cacao proyectada al año 2023, para calcular la cantidad de carbón activado que se obtendría, tomando como referencia dicha demanda:

Tabla N° 1: Reporte de Exportaciones por Subpartida Nacional

AÑO	DEMANDA (TN)	VALOR FOB (\$)	PRECIO POR TN: \$/TN (FOB)
2009	7,532.78	20,140,776.41	2,673.75
2010	11,084.34	34,663,752.15	3,127.27
2011	19,628.07	62,429,058.64	3,180.60
2012	25,132.22	64,702,306.07	2,574.48
2013	31,193.41	83,767,380.28	2,685.42
2014	46,933.79	151,596,808.13	3,230.01
2015	55,871.16	180,812,539.25	3,236.24
2016	57,403.07	183,708,071.06	3,200.32
2017	53,697.27	130,088,496.87	2,422.63
2018	54,845.29	137,252,600.64	2,502.54

Fuente: SUNAT.



Figura N° 1: Variación de las exportaciones de cacao en Perú

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta que el cacao proveniente del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, corresponde al 4% de la exportación nacional, según SUNAT, calcularemos la demanda y valor FOB de los últimos 10 años:

COMERCIO PERÚ						
PRINCIPALES EMPRESAS EXPORTADORAS			PRINCIPALES MERCADOS			
Empresa	%Var 17-16	%Part. 17	Mercado	%Var 17-16	%Part. 17	FOB-17 (miles US\$)
CAFETALERA AMAZONICA S.A.C.	1%	20%	Países Bajos	-43%	26%	34,648.49
AMAZONAS TRADING PERU S.A.C.	-25%	11%	Bélgica	-21%	24%	31,691.75
COOPERATIVA AGRARIA CACAOTERA ACO...	-10%	9%	Italia	16%	13%	17,420.78
EXPORTADORA ROMEX S.A.	-20%	9%	Estados Unidos	18%	9%	11,908.46
SUMAQAO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	-55%	8%	Canadá	-64%	5%	6,318.20
COOPERATIVA AGRARIA NORANDINO LTD...	80%	4%	Malasia	-38%	4%	5,376.88
COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CACAO ...	18%	4%	España	-15%	4%	5,138.48
ASOCIACION CACAOTERA DE TOCACHE -...	35%	4%	Indonesia	265%	3%	4,330.81
CASA LUKER DEL PERU S.A.C.	-57%	3%	Corea del Sur	-20%	3%	3,402.36
Otras Empresas (93)	--	24%	Otros Países (36)	--	9%	11,750.86

Fuente: SUNAT

Figura N° 2: Principales empresas exportadoras de cacao en Perú

Fuente: SUNAT

Tabla N° 2: Reporte de exportaciones distrito de Chulucanas

AÑO	DEMANDA (TN)	VALOR FOB (\$)	PRECIO POR TN: \$/TN (FOB)
2009	301.31	805,631.06	2,673.75
2010	443.37	1,386,550.09	3,127.27
2011	785.12	2,497,162.35	3,180.60
2012	1,005.29	2,588,092.24	2,574.48
2013	1,247.74	3,350,695.21	2,685.42
2014	1,877.35	6,063,872.33	3,230.01
2015	2,234.85	7,232,501.57	3,236.24
2016	2,296.12	7,348,322.84	3,200.32
2017	2,147.89	5,203,539.87	2,422.63
2018	2,193.81	5,490,104.03	2,502.54

Fuente: Elaboración Propia.

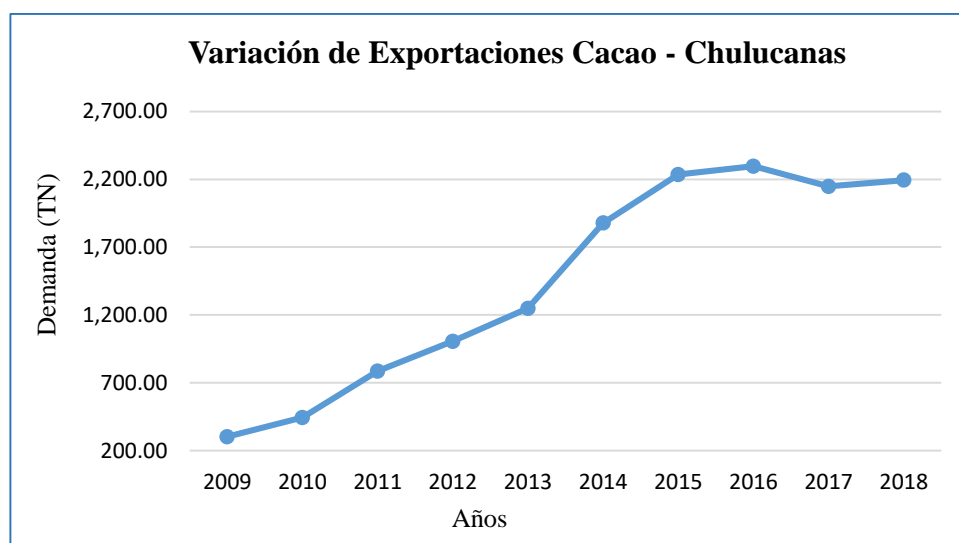


Figura N° 3: Variación de las exportaciones de cacao en Chulucanas

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Como puede apreciarse, tomando en cuenta los últimos 10 años; la demanda (TN) de cacao, se ha ido incrementando con el transcurrir del tiempo; así mismo, el incremento de la cantidad de cáscaras de cacao es directamente proporcional a ello.

❖ **Demanda Proyectada:**

Tabla N° 3: Tasa de crecimiento

AÑO	DEMANDA	AUMENTO	%AUMENTO
2009	301.31	142.06	47.15
2010	443.37	341.75	77.08
2011	785.12	220.17	28.04
2012	1,005.29	242.45	24.12
2013	1,247.74	629.62	50.46
2014	1,877.35	357.49	19.04
2015	2,234.85	61.28	2.74
2016	2,296.12	-148.23	-6.46
2017	2,147.89	45.92	2.14
2018	2,193.81		
Σ	14,532.85	1,892.50	244.31

Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{Tasa de crecimiento: } \frac{\sum \%A}{n-1} = \frac{244.31}{9} = 27.15\%.$$

$$D_{2023} = 301.31 * (1 + 0.2715)^{15} = 11,060.10 \text{ Tn.}$$

❖ **Razón del Aumento Promedio/Consumo Promedio:**

$$\text{Consumo promedio} = \frac{\text{consumo total}}{n} = \frac{11,060.10}{10} = 1,106.01$$

$$\text{Aumento promedio} = \frac{\text{aumento total}}{n-1} = \frac{1,892.50}{9} = 210.28$$

$$\text{Tasa de crecimiento: } \frac{\text{aumento promedio}}{\text{consumo promedio}} \times 100$$

$$\text{Tasa de crecimiento} = \frac{210.28}{1,106.01} \times 100 = 19.01\%$$

$$D_{2023} = 210.28 * (1 + 0.1901)^{15} = 2,861.21 \text{ Tn.}$$

NOTA:

Como puede apreciarse, estos métodos no son tan exactos, por ello se procedió a calcular la demanda proyectada con el método de mínimos cuadrados.

Tabla N°4: Método de mínimos cuadrados

X	Y	XY	X ²
0	301.31	0	0
1	443.37	443.37	1
2	785.12	1570.2456	4
3	1,005.29	3,015.87	9
4	1,247.74	4990.9456	16
5	1,877.35	9,386.76	25
6	2,234.85	13409.0784	36
7	2,296.12	16,072.86	49
8	2,147.89	17183.1264	64
9	2,193.81	19,744.29	81
Σ	45	14,532.85	85,816.54

Fuente: Elaboración Propia.

$$\Sigma xy = a\Sigma x + b\Sigma x^2$$

$$\Sigma y = na + b\Sigma x$$

$$85,816.54 = 45a + 285b$$

$$14,532.85 = 10a + 45b$$

$$a = 339.53$$

$$b = 247.50$$

$$y = a + bx$$

$$Y_{2023} = 339.53 + 247.50 (15)$$

$$Y_{2023} = 4,052.03 \text{ Tn.}$$

La demanda proyecta al año 2023 sería de un aproximado de **4,052.03 Tn** de cacao según muestran los cálculos efectuados.

➤ **Cálculo de la cantidad de Carbón Activado Producido:**

Se obtuvo una demanda proyectada al año 2023 de 4,052.03 Tn de cacao, sabiendo que la cáscara es el 90% del fruto; por lo tanto:

$$\text{Residuos de cacao} = 0.90(4,052.03) = 3,646.83 \frac{\text{Tn cáscaras}}{\text{año}}$$

- ❖ Capacidad anual de la planta: 3,646.83 Tn
- ❖ Días de operación promedio de la planta por año: 300 días
- ❖ Horas de operación promedio por día: 20 horas
- ❖ Cantidad de materia prima a procesar en Kg/h promedio de la planta: 607.81

$$3,646.83 \frac{\text{Tn}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{300 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{20 \text{ horas}} * \frac{1\,000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} = 607.81 \text{ Kg cáscaras/h.}$$

NOTA: Se tomó en cuenta la composición química de la cáscara de cacao:

Tabla N° 5: Composición química de la cáscara de cacao

Componente	% p/p
Humedad	12.32
Celulosa	21.50
Hemicelulosa	15.80
Lignina	14.70
Proteína Bruta	14.90
Lípidos	2.20
Sales Minerales	13.50
Azúcares Reductores	0.80
Almidón	1.10
Compuestos Fenólicos	0.80
Teobromina	2.10
Cafeína	0.11
Taninos	0.17

Fuente: Casanovas, 2009.

Tomando como base 1 hora.

- ❖ En el secado se pierde la totalidad de agua de la materia prima, por lo tanto, según la composición mostrada, se obtiene:

$607.81 * 0.1232 = 74.88$ Kg de agua que se pierde en el secador.

- ❖ El material sólido que será sometido a carbonización es lo restante:

$$607.81 - 74.88 = 532.93 \text{ Kg de sólido seco.}$$

- ❖ En el proceso de carbonización, la teoría indica que se elimina hidrógeno y oxígeno en forma de gas en un intervalo de 34-35%, tomando un valor intermedio de 32%:

$$532.93 * 0.32 = 170.54 \text{ Kg de gases eliminados en la carbonización.}$$

- ❖ El sólido carbonizado que será sometido al proceso de activación es lo restante:

$$532.93 - 170.54 = 362.39 \text{ Kg de sólido carbonizado.}$$

- ❖ Para la activación, la relación utilizada generalmente de agente activante (ácido fosfórico) /sólido carbonizado es de 0.5/1. Por lo tanto:

$$362.39 \text{ Kg sólido carbonizado} * \frac{0.5 \text{ Kg de ácido fosfórico}}{1.0 \text{ Kg sólido carbonizado}} = 181.20 \text{ Kg de ácido.}$$

- ❖ Además, se sabe que en el proceso de activación se pierde aproximadamente el 5% del material en forma gaseosa. Así tenemos:

$$362.39 * 0.05 = 18.12 \text{ Kg de material perdido en forma de gases.}$$

- ❖ Por lo tanto, lo que resulta de producto (carbón activado) es lo restante:

$$362.39 - 18.12 = 344.27 \text{ Kg de carbón activado/hora.}$$

- ❖ Como se muestra en el esquema siguiente, la suma total de gases emitidos es de:

$$74.88 + 170.54 + 18.12 = 263.54 \text{ Kg/h.}$$

Según la composición de los gases resultantes de la carbonización y activación se obtuvo:

Tabla N° 6: Gases resultantes del proceso de carbonización y activación química de la cáscara de cacao

Componente	% masa
CO ₂	15.8
CO	15
CH ₄	7.8

H ₂	28.7
H ₂ O	26.0
Alquitrán	6.7

Fuente: Soto 2007.

Por lo tanto:

$$0.158 * 263.54 = 41.64 \text{ Kg CO}_2.$$

$$0.15 * 263.54 = 39.53 \text{ Kg CO}.$$

$$0.078 * 263.54 = 20.56 \text{ Kg CH}_4.$$

$$0.287 * 263.54 = 75.64 \text{ Kg H}_2.$$

$$0.26 * 263.54 = 68.52 \text{ Kg H}_2\text{O}.$$

$$0.067 * 263.54 = 17.66 \text{ Kg alquitrán}.$$

Entonces, resumiendo:

Tabla N° 7: Resumen de corrientes de flujo del proceso

Corriente	Cantidad (Kg/h)
Ingreso de materia prima	607.81
Materia molida	607.81
Vapor de agua del secado	74.88
Sólido seco	532.93
Gases de Carbonización	170.54
Sólido carbonizado	362.39
Ácido Fosfórico para activación	181.20
Gases de Activación	18.12
Gases de Carbonización y Activación	188.66
Gases Totales	263.54
Carbón Activado	344.27

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto:

- De 01 kg de cáscara de cacao se puede obtener 0.5664 kg de carbón activado:

$$\text{Carbón Activado (kg)} = \frac{1 \text{ kg de cáscaras de cacao} \times 344.27 \text{ kg de carbón ativado}}{607.81 \text{ kg de cáscaras de cacao}}$$

$$\text{Carbón Activado (kg)} = 0.5664$$

Porcentaje de Aprovechamiento Teórico:

$$\% \text{ Rendimiento o Aprovechamiento} = \frac{\text{Peso de Carbón Activado}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento o Aprovechamiento} = \frac{344.27}{532.93} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento o Aprovechamiento} = 64.60\%$$

ANEXO N° 05



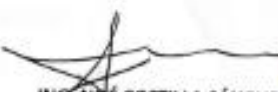
SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA
DELTAS S.R.L.

REPORTE DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : JIMMY LUIS FARIAS CRUZ
MUESTRA : CÁSCARA DE CACAO
PROCEDENCIA : PALO BLANCO-DISTRITO CHULUCANAS-PROVINCIA MORROPÓN
FECHA DE INGRESO : 29 DE ABRIL DE 2019

MUESTRA	MÉTODO	CARBÓN FIJO
CÁSCARA DE CACAO	GRAVIMÉTRICO - CENIZAS	48.5 % ± 1.2 % (p/p)

TRUJILLO 03 DE MAYO DE 2019


ING. NÉ COSTILLA SÁNCHEZ
JEFE DE LABORATORIO
PIC 18715 / PERITO QUÍMICO



ANEXO N° 06


1. DESCRIPCIÓN:

Este carbón activado en polvo está elaborado a partir de cáscaras de cacao del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, departamento de Piura.

Posee una gran capacidad de adsorción, y por ende un área superficial compuesta por microporos cuyo tamaño es el apropiado para la retención de contaminantes.

Asimismo, es un producto de bajo costo, debido a que la materia prima utilizada son desechos provenientes de producción cacaotera.

2. PROPIEDADES:

 FICHA TÉCNICA DE CARBÓN ACTIVADO	
<i>PARÁMETROS</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>
<i>Base</i>	Carbón de cáscara de cacao
<i>Apariencia</i>	Polvo color negro
<i>Tamaño de Partícula</i>	Malla 45 (ASTM) 0.354 mm
<i>Capacidad de Adsorción</i>	14 mL de azul de metileno/0.1 gramo de carbón activado

3. ESPECIFICACIONES

3.1. Condiciones de Manejo y almacenamiento

- Almacénese en lugar seco y libre de solventes

3.2.Biodegradable

- El carbón activado de origen vegetal es un producto orgánico y totalmente biodegradable; el producto también puede ser reutilizado después de un proceso de reactivación térmica con vapor.

3.3.Precauciones

























- El Carbón Activado no es un producto peligroso; sin embargo, para usos a gran escala, se debe utilizar protección respiratoria y gafas de seguridad, debido a que se trata de un carbón activado en polvo.

4. APLICACIONES

Generalmente, para eliminación de contaminantes presentes en fase líquida.

ANEXO N°07

Diagrama de Análisis del Proceso (DAP):

N°	Descripción	Símbolos					Observaciones
							
01	Recolección de la materia prima (cáscaras de cacao).						
02	Transporte de materia prima hacia el almacén.						
03	Almacenamiento de materia prima.						
04	Análisis en laboratorio para caracterización de materia prima.						
05	Transporte de materia prima hacia laboratorio para su transformación.						
06	Molienda de cáscaras de cacao.						
07	Tamizado de cáscaras de cacao.						Se proponen 03 granulometrías distintas.
08	Impregnación de las cáscaras de cacao.						
09	Tiempo de espera para finalización de la impregnación.						
10	Carbonización y Activación química del sólido carbonizado a una temperatura determinada.						Se proponen 02 temperaturas distintas.
11	Tiempo de espera para finalización de la activación.						
12	Transporte del producto obtenido al almacén.						
13	Lavado del carbón activado obtenido.						
14	Almacenamiento del producto obtenido.						
15	Análisis en laboratorio para determinación de calidad del producto obtenido: capacidad de adsorción.						

Legenda:






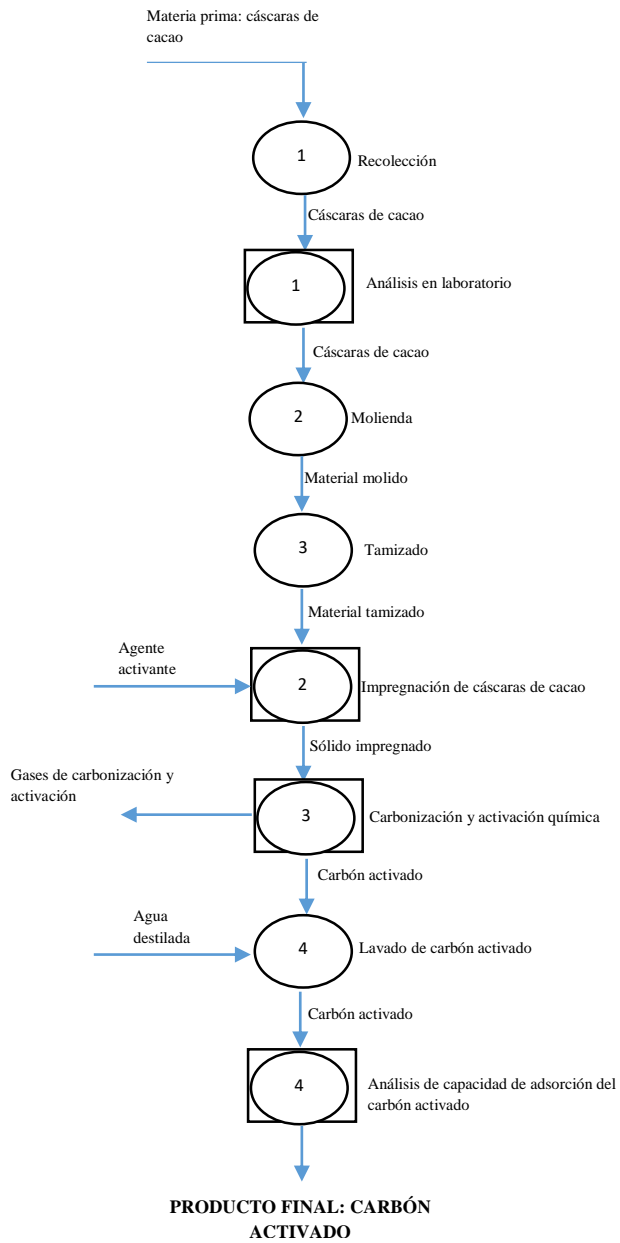


-  Almacenamiento
-  Operación
-  Inspección
-  Transporte
-  Tiempo de espera

Diagrama de Operaciones del proceso (DOP):



Resumen	
	4
	4
TOTAL: 8	

ANEXO N° 08

PANEL FOTOGRÁFICO

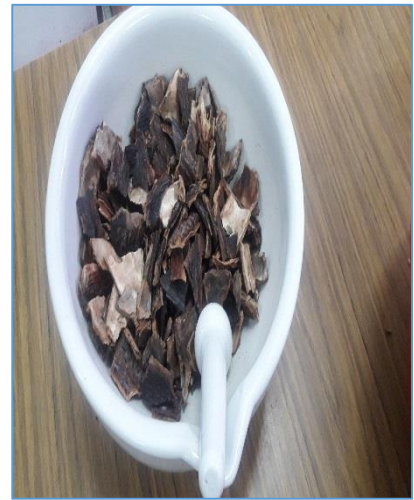
Recolección de Muestra





Proceso de Carbonización y Activación Química

Molienda de materia prima

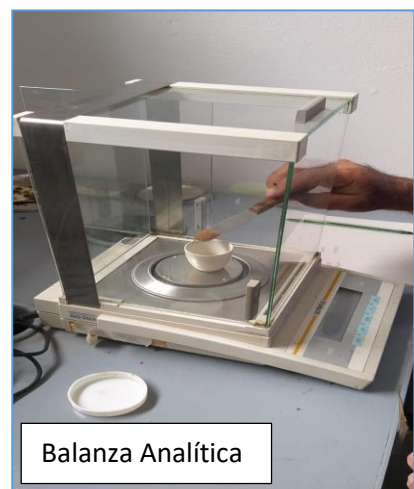
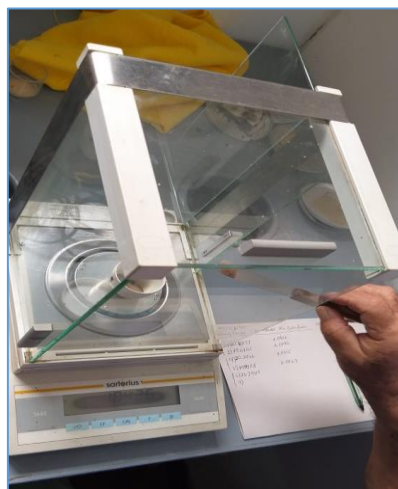


Tamizado de materia prima

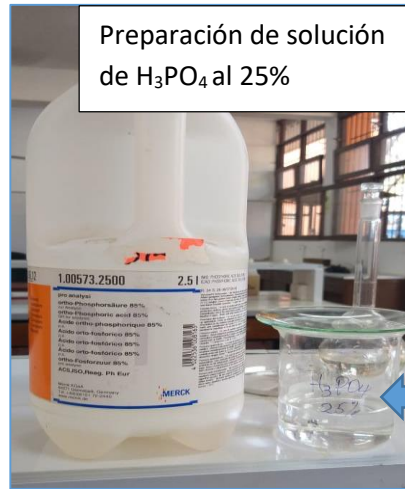




Impregnado de materia prima



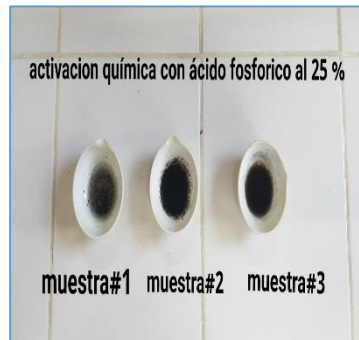
Balanza Analítica



Carbonización y Activación de materia prima



Lavado de carbón activado



Determinación de la capacidad de adsorción del carbón activado



