

RE
C
I
B
I
D
O

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

025
14 ENE 2019

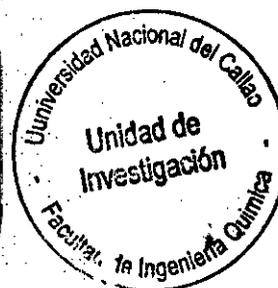
HORA: 16:00

FIRMA: [Signature]

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ENE 2019



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

**“PROCESAMIENTO DE CÁSCARAS DE PECANAS PARA LA
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL
LABORATORIO”**

AUTOR: Ing° CIP VICTOR HUGO AVALOS JACOBO

PERIODO DE EJECUCION: Del 01 Agosto 2017 al 31 Enero 2019

RESOLUCIÓN RECTORAL N° N° 0771 -2017-R

CALLAO, 2018

[Handwritten mark]

I.- INDICE	1
TABLA DE CONTENIDO.....	4
II. RESUMEN Y ABSTRACT	8
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
III. INTRODUCCION.....	10
3.1 La exposición del problema de la investigación	10
3.1.1 . Problema General.....	11
3.1.2. Problemas específicos	11
3.1.3. Objetivo General	12
3.1.4. Objetivos específicos.....	12
3.2.- La importancia y la justificación de la investigación	12
3.2.1. Importancia	12
3.2.2. Justificación de la Investigación	14
IV. MARCO TEORICO	16
4.1. Antecedentes	16
4.1.1 Antecedentes Internacionales.....	16
4.1.2 Antecedentes Nacionales.....	20
4.2. MARCO:	21
4.2.1. Teórico.....	21
4.2.2. Conceptual.....	22
4.3. Definiciones de la terminología.....	27
V. MATERIALES Y METODOS	32



5.1. Materiales y equipos	32
5.1.1 Materia prima.....	32
5.1.2.- Reactivos	32
5.1.3. Instrumentos y otros materiales	33
5.2. Población y muestra	33
5.2.1 Determinación de la población	33
5.2.2. Determinación de la muestra.....	34
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos	35
5.3.1.- Preparación de la muestra de cáscaras de pecanas	35
5.3.2.- Trituración.....	36
5.3.3.- Tamizado	38
5.3.4.- Impregnación con activantes químicos.....	39
5.3.5.- Carbonización-Activación.....	41
5.3.6.- Enfriamiento y secado del carbón activado obtenido.	42
5.3.7. Neutralización	43
5.3.8. Molienda	43
5.3.9. El control de calidad del carbón activado obtenido con cascara de pecanas.	44
5.4. Las técnicas de análisis y procesamiento de datos	48
VI. RESULTADOS.....	49
6.1 Resultados respecto al objetivo a.-Caracterizar la cáscara de pecanas para el proceso.....	49
6.2 Resultados respecto al objetivo b.- Establecer las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas	50



6.3. Resultados respecto al objetivo c.- Determinar el agente de activación más conveniente para el proceso	51
6.4. Resultados respecto al objetivo d.- Caracterizar el Carbón Activado obtenido usando cáscaras de pecanas	52
6.5 Resultado de la evaluación del carbón activado obtenido con las cascara de pecanas.....	53
6.5.1. Evaluación del carbón activado con ácido fosfórico	54
6.5.2. Evaluación del carbón activado con cloruro de zinc.	56
6.5.3 Resultado de la evaluación del carbón activado comercial	58
6.5.4. Resultados de la comparación de la variación de la turbidez	60
6.5.5. Resultados de la evaluación de la eficiencia de los carbones activados obtenido con cascara de pecanas	61
VII. DISCUSION	63
VIII. CONCLUSIONES	67
IX. REFERENCIALES	69
ANEXOS	74
Anexo 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	75
Anexo 2 TAMICES ASTM- E11.....	77



TABLA DE CONTENIDO

TABLAS

6.1 CARATERISTICAS DE LAS CASCARAS DE PECANAS	49
6.2 VARIABLES DE LA CARBONIZACION DE LAS CASCARAS DE PECANAS	51
6.3. VARIABLES DE LA ACTIVACION DE LAS CASCARAS DE PECANAS	52
6.4. RESULTADOS SEGÚN AGENTE ACTIVANTE UTILIZADO	52
6.5. CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE CASCARAS DE PECANAS	53
6.6 VARIACION DE LA TURBIDEZ USANDO CARBON ACTIVADO CON ACIDO FOSFORICO	54
6.7. VARIACION DE LA TURBIDEZ USANDO CARBON ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC	56
6.8. VARIACION DE LA TURBIDEZ USANDO CARBON ACTIVADO COMERCIAL	58
6.9. COMPARACION DE LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ USANDO TRES CARBONES ACTIVADOS	60
6.10. EFICIENCIA DE LOS CARBONES ACTIVADOS	61
6.11. EFICIENCIA EN LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ	62



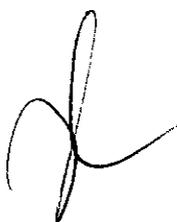
GRAFICAS

6.1. VARIACION DE LA TURBIDEZ USANDO CARBON ACTIVADO CON ACIDO FOSFORICO	54
6.2. VARIACION DE LA TURBIDEZ USANDO CARBON ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC.	56
6.3. RESULTADOS DE LA REGRESION LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO COMERCIAL	58
6.4. COMPARACION DE LA VARIACION DE LA TURBIDEZ SEGÚN AGENTE ACTIVANTE	60
6.5. EFICIENCIA EN LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ	65



FIGURAS

4.1 PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO CON ACTIVACION FISICA	25
4.2 PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO CON ACTIVACION QUIMICA	27
5.1 MUESTRA DE PECANAS	31
5.2 PESAJE DE LA MUESTRA DE CASCARAS DE PECANAS	36
5.3 REDUCCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA	36
5.4 TAMICES ASTM E11	37
5.5 IMPREGNACION CON ACIDO FOSFORICO	39
5.6 PREPARACION DE LA SOLUCION DE CLORURO DE ZINC	40
5.7 CARBONIZACION DE LAS CASCARAS DE PECANAS	41
5.8 ENFRIAMIENTO DE CARBON ACTIVADO EN DEHUMIDIFICADOR	42
5.9 MOLIENDA DEL CARBON ACTIVADO OBTENIDO	43
5.10 MUESTRA DE AGUA CON TURBIDEZ DE 35.5 NTU	45
5.11 TURBIDIMETRO VELP	45
5.12 CLARIFICACION DE AGUA TURBIA CON CARBON ACTIVADO OBTENIDO	46
5.13 PESAJE DE LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO PARA EL ENSAYO DE ADSORCION	46
5.14 MUESTRA DE AGUA DESPUES DE LA ADSORCION	47



5.15 LECTURA DE TURBIDEZ DESPUES DE LA CLARIFICACION	48
6.1 RESULTADOS DE LA REGRESION LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO CON ACIDO FOSFORICO	55
6.2 RESULTADOS DE LA REGRESION LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC	57
6.3 RESULTADOS DE LA REGRESION LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO COMERCIAL	59



II. RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación es establecer el proceso para la obtención de Carbón Activado a partir de pecanas a nivel Laboratorio.

Las cascaras de pecanas, aquí denominado precursor, se llevó a un tamaño de partícula de 1mm para luego ser impregnada con un agente activante, el ácido fosfórico al 40% de concentración, que se dejó reaccionar por 12 hr. con la finalidad que penetre en los intersticios y poder lograr una mayor porosidad en la etapa de carbonización y activación a temperaturas de 200°C y 500°C.

El rendimiento del producto carbón activado respecto al precursor la cascara de pecana fue de 42%.

El control de calidad del carbón activado obtenido se realizó con ensayos de turbidez en una muestra de agua con una turbidez de 35.5 NTU, dado que uno de los principales usos del carbón activado es en el tratamiento de aguas y otros fluidos. Los resultados obtenidos con el carbón activado de cascaras de pecanas fueron casi similar a los que se obtuvieron con carbón activado comercial.

PALABRAS CLAVE: Carbón Activado, Adsorción, Tratamiento de aguas.



ABSTRACT

The general objective of the present investigation is to establish the process for obtaining activated carbon from pecans at the laboratory level.

The pecan shells, here called precursor, was taken to a particle size of 1mm to be impregnated with an activating agent, the phosphoric acid at 40% concentration, which was allowed to react for 12 hr. with the purpose of penetrating the interstices and being able to achieve a greater porosity in the carbonization and activation stage at temperatures of 200 ° C and 500 ° C.

The yield of the product activated carbon with respect to the precursor, the pecan shell was 42%.

The quality control of activated carbon obtained was carried out with turbidity tests in a water sample with a turbidity of 35.5 NTU, since one of the main uses of activated carbon is in the treatment of water and other fluids. The results obtained with the activated charcoal from pecans were almost similar to those obtained with commercial activated carbon.

KEYWORDS: Activated Carbon, Adsorption, Water Treatment.



III. INTRODUCCION

3.1 La exposición del problema de la investigación

En el Departamento de Ica, según la oficina de estadísticas del Ministerio de Agricultura en el año 2015 se ha tenido 1500 Ha de sembríos de pecanas, siendo el rendimiento promedio de 2.5 Tm/Ha, lo cual da una producción promedio de 3750 Tm/año de pecanas de las cuales aproximadamente el 80% se exporta a China, Estados Unidos y otros países, que son utilizadas en gastronomía, pastelería y consumo directo por tener propiedades antioxidantes en la alimentación de las personas. Otros lugares donde se producen pecanas en el Perú son Huaral, La Libertad, Lambayeque, etc.

La comercialización de las pecanas se realiza sin cáscara en el mercado nacional así como en exportaciones con la finalidad de disminuir el costo de transporte o flete, resultando que las cáscaras de pecanas que se generan no se les da uso alguno.

Pruebas experimentales realizadas con una balanza analítica, indican que el porcentaje que representan las cáscaras de las pecanas oscila entre 12% y 20% del peso, lo que constituye un residuo sólido agrícola de más de 500Tm/año de cáscaras de pecanas y que amerita una invstigacion para darle valor agregado.

Por otro lado, en Perú se tienen importaciones de carbón activado que en los últimos 3 años han sido en promedio de 2500 TM/año, según las estadísticas reportadas por el Sistema integrado de información de comercio exterior (Siicex), para el uso en purificación de alimentos, fármacos, licores, diversos productos, así como en el tratamiento de

aguas, aprovechando su propiedad de adsorción tan importante para la remoción de impurezas.

En síntesis, la situación que se presenta es que se importa carbón activado y por otro lado se descartan las cáscaras de pecanas, las mismas que se pueden utilizar para producir dicho carbón para usos y aplicaciones en la industria aprovechando su propiedad de adsorción.

Se sabe que anteriormente se han realizado proyectos para producir carbón activado utilizando la cáscara de coco como materia prima o precursor del carbón activado, sin embargo se debe precisar que el suscrito ha realizado un estudio de mercado del carbón activado así como un estudio de la disponibilidad de cascara de coco en el Perú, resultando que la cantidad disponible de cáscara de coco sería insuficiente para poder abastecer a una planta de carbón activado, por lo que se hace necesario investigar el aprovechamiento de otros residuos agrícolas como podrían ser la cáscara de pecanas y otros.

Por lo expuesto, el presente proyecto de Investigación se centra en determinar las variables de operación de las etapas de carbonización y activación, que permitan obtener carbón activado a nivel laboratorio aprovechando la cascara de pecanas como materia prima.

3.1.1 . Problema General

¿Cómo debe ser el proceso para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de pecanas a nivel laboratorio?

3.1.2. Problemas específicos

a.-Cuáles deben ser las características de la cáscara de pecanas para poder ingresar al proceso?



b.- Cuáles son las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas?

c.- Cual es el agente de activación más conveniente para el proceso?

d.- Cuáles son las características del Carbón Activado obtenido usando cascaras de pecanas?

OBJETIVOS

3.1.3. Objetivo General

Establecer el proceso para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de pecanas a nivel laboratorio

3.1.4. Objetivos específicos

a.-Caracterizar la cáscara de pecanas para el proceso.

b.- Establecer las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas

c.- Determinar el agente de activación más conveniente para el proceso

d.- Caracterizar el Carbón Activado obtenido usando cáscaras de pecanas

3.2.- La importancia y la justificación de la investigación

3.2.1. Importancia

Respecto al porqué de la investigación, en primer lugar, es en cumplimiento de la ley universitaria N° 30220 que establece textualmente:



Artículo 48. Investigación. - "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas."

Porque no puede ser posible que se estén descartando más de 500 Tm/año de cáscara de pecanas solo en Ica, mientras que se esté importando carbón activado por más de 5 millones de dólares al año, pudiendo producirse con desechos agroindustriales como es el caso de las cáscaras de pecanas.

Porque hay un vacío de conocimientos sobre la industrialización de las cáscaras de pecanas para producir carbón activado requerido por diversas industrias para la remoción de contaminantes aprovechando la propiedad de adsorción de dicho producto.

La importancia de la investigación, está dada por sus aportes como se precisa a continuación:

Aporte científico, está dado por los conocimientos de las condiciones operacionales específicas para el procesamiento de las cáscaras de pecanas, para la obtención de carbón activado, lo que no ha sido investigado hasta la fecha en forma específica para aprovechar este residuo forestal.

Aporte tecnológico, los resultados de la presente investigación que, si bien es a nivel laboratorio, pueden servir de base o referencia a otros



interesados en el diseño de plantas a escala industrial para la producción de carbón activado, dándole un valor agregado a las cáscaras de pecanas.

Aporte económico, porque está relacionado con la sustitución de importaciones que como ya se ha indicado bordean los 5 millones de dólares anuales. La cáscara de pecanas permite sustituir la importación de carbón activado y así reducir la salida de divisas.

Aporte social, lo señalado en el párrafo anterior generaría puestos de trabajo, además porque el carbón activado obtenido también contribuirá a que la población pueda contar con productos exentos de contaminantes.

Aporte ambiental, dentro de una gestión eficiente de los residuos forestales, se estaría aprovechando un residuo forestal como es el caso de las cáscaras de pecanas, con lo cual se está contribuyendo a reducir la contaminación ambiental.

3.2.2. Justificación de la Investigación

Las motivaciones para la realización del presente trabajo de investigación se basan en los siguientes hechos observados:

a.- Se ha observado en los registros del Sistema Internacional de Información en Comercio Exterior (Siicex) que el Carbón activado es importado y que en los últimos 3 años en promedio se ha importado más de 2500 Tm/año con Valor CIF Callao de 5 000 000 de dólares/año.

b.- Si bien se han desarrollado proyectos sobre carbón activado a partir de cáscara de coco y otros desechos forestales en diversos países, también es cierto que no se ha realizado investigaciones para el posible uso de las cascaras de pecanas como precursor para la obtención de carbón



activado de amplio uso como agente depurador o de remoción de partículas y microorganismos por adsorción en la industria.

c.- Lo señalado en el párrafo anterior amerita desarrollar investigaciones para aprovechar los residuos forestales, tales como las cáscaras de pecanas para la obtención de carbón activado tendiente a posterior sustitución de importaciones de dicho producto adsorbente.

El valor de la Investigación radica en que no solo se trata de obtener un producto requerido por diversos sectores industriales ya señalados, sino que también está orientada a la reducción de la contaminación ambiental por el aprovechamiento de los residuos forestales como las cáscaras de pecanas, asimismo está orientada a la generación de puestos de trabajo.

Por otro lado, en tiempos donde en concordancia con la Norma ISO 14001 donde se requiere de un sistema de gestión ambiental eficiente, es importante un correcto manejo de residuos por lo que se hace necesario investigar desde el punto de vista de la Ingeniería química, las condiciones de operación más adecuadas para el aprovechamiento de las cáscaras de pecanas.



IV. MARCO TEORICO

4.1. Antecedentes

4.1.1 Antecedentes Internacionales

Previa búsqueda retrospectiva en fuentes especializadas de información técnica relacionada con la producción de Carbón activado y del aprovechamiento de residuos agrícolas, se ha encontrado lo siguiente:

Existen proyectos de investigación para la obtención de carbón activado utilizando cáscaras de coco, Orozco (10) que, si bien es una buena alternativa, debe señalarse que la disponibilidad de cáscara de coco en el Perú resulta insuficiente para la instalación de una planta industrial en condiciones de rentabilidad aceptable (1).

Orozco (10) desarrolló un proyecto de inversión para la instalación de una planta de carbón activado, cuyo objetivo fue "Evaluar técnica, comercial y económicamente la pre-factibilidad para la creación de una planta de Carbón Activado a base de cáscara de coco en Tumaco y/o sus alrededores generando un impacto social económico y ecológico positivo, que sea sostenible en el tiempo y genere ingresos adicionales para la comunidad" sin embargo no desarrolla la Ingeniería del proceso productivo, solo presenta información de la producción de coco y algunos aspectos económicos y financieros, es decir los aspectos técnicos o de ingeniería son limitados.

López Trinidad (7) desarrolló su tesis de grado de Magister en Ingeniería Química titulada "Activación de carbones para aplicación en almacenamiento de gas natural vehicular" en la cual presenta diversos métodos de activación de carbones en general, para dotar de porosidad y



área de adsorción, cabe señalar que no se aborda la activación de carbón de cáscara de pecanas.

Poleo N. et al. (12) en su "Estudio de diferentes activantes químicos para la obtención de carbón activado a partir de la cascara de *Hymenaea courbaril L* para remover Cadmio (II)" presenta el siguiente resumen: "El uso de diferentes agentes químicos ($ZnCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4 , HNO_3 Y HCl) para la activación de la cascara del fruto del algarrobo (*Hymenaea courbaril L*) permitió evaluar y comparar la capacidad adsortiva de los carbones preparados correspondientes. El precursor fue impregnado con los agentes químicos señalados por separado y pirolizados a $500^\circ C$ en cada caso. Las características superficiales de los carbones activados preparados (CAA) se determinaron a través del método convencional de Brunauer-Emmer-Teller (S_{BET}), obteniéndose las isothermas de adsorción de N_2 a 77 K y se compararon con los carbones activados comerciales Norit-A (CAC). La determinación del equilibrio en fase líquida del proceso se realizó utilizando soluciones de Cadmio (II) en ensayos por carga a concentraciones iniciales (C_0) de 25, 50, y 100 mg/L, durante un tiempo de contacto de 1 h. La concentración en equilibrio de cadmio (II) se determinó por espectrofotometría de adsorción atómica por llama (EAA). Los carbones activados con H_3PO_4 y $ZnCl_2$, presentaron valores de área específica (S_{BET}) de 1262 y 968 m^2/g , respectivamente. Se aplicaron los modelos de Freundlich y Langmuir a los resultados experimentales. Las isothermas demostraron mejores condiciones de adsorción en soluciones con una C_0 de 25mg/L de cadmio (II) para todos los carbones preparados. Los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la constante de adsorción K para el carbón activado con H_3PO_4 demostraron un mejor ajuste al modelo de Freundlich."



Es importante destacar que dicho trabajo está orientado a la obtención de carbón activado a partir de cascaras del fruto del algarrobo.

León M. (6) (2012) desarrolló su tesis para optar el título de Ingeniero Civil Químico titulada Factibilidad técnica-económica de una planta Producción de carbón activado de cascaras de nueces, para aplicaciones en Hidrometalurgia del oro, de la cual se presenta a continuación parte de su resumen: "se ha desarrollado los capítulos de balance de materia y energía, así como el diseño mecánico de los equipos principales y auxiliares, en base a las pruebas experimentales de la adsorción de auricianuro en carbón activado de cascaras de nueces vía física, desarrolladas a escala laboratorio que dieron la factibilidad técnica para el desarrollo de una evaluación económica de esta planta de producción a escala industrial."

Por tratarse de un estudio de factibilidad, León M. (6) aborda los capítulos de estudio de mercado, tamaño, localización, aspectos técnicos, económicos que permitieron estimar la rentabilidad. Se debe destacar que León M. emplea el método de activación física, usando vapor de agua como agente activante.

Respecto a la producción de nueces que son diferentes a las pecanas, León M. (6) agrega "Chile se ha convertido en un importante productor y exportador de nueces y almendras. Otros frutales de este grupo están en incipiente grado de desarrollo como es el caso del avellano europeo del cual ya existen 5225 Ha. cultivadas. También las pecanas se cultivan con fines comerciales, pero la superficie es aun exigua (29,7) Ha." Esto es importante tener en cuenta a efectos de evitar confusiones entre nueces y pecanas.



En relación al método de producción León M. (6) sostiene que “El análisis de los procesos de activación nos sugiere que nuestro proceso sea la activación física, ya que es el más usado en la generación de carbón activado en polvo (CAP), la activación producto de gases oxidantes como el vapor de agua, el CO₂, a alta temperatura nos generará un carbón activado de cascaras de nueces, dado que las pruebas de laboratorio han dado antecedentes suficientes acerca de las capacidades adsorbentes de este tipo de carbón activado con vapor de agua a 800°C.”

Luna D. (8) señala que “A partir de la cascara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación . Por ejemplo, activando la cascara de coco a alta temperatura (800°C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofílico (afinidad con el agua) , microporoso (con ultramicroporos de diámetros menores a 0.7nm) , apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450°C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos con mesoporos mayores a 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida. Además de obtener una amplia distribución de poros, el carbón activado obtenido de la cascara de coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, en relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que en los primeros, el porcentaje de cenizas es menor.”

Lo que se puede destacar en el trabajo de Luna D. es la versatilidad de su proceso dado que variando la temperatura de carbonización y la naturaleza del agente activante se pueden obtener diversas calidades de



carbón activado de cascara de coco, para una gama de aplicaciones en la industria.

4.1.2 Antecedentes Nacionales

En el Perú se tienen algunos trabajos de investigación y tesis para la obtención de carbón activado usando otras materias primas vegetales o precursores diferentes a la aquí propuesta.

Lazo R. (5) desarrolló un proyecto de investigación orientado a la obtención de carbón activado, utilizando como materia prima o precursor a las cascara de coco. El proceso de activación que utilizó fue, la activación física, dado que utilizó como agente activante el vapor de agua.

Cabello E. y Basilio R. (2) (2018) elaboraron su tesis de Pregrado para optar el título profesional de Ingeniero Químico en la Unac titulada "Proceso de obtención de carbón activado para la adsorción de Cr (VI) a partir de huesos de aceituna", de la cual se presenta su resumen a continuación:

"El cromo se encuentra en aguas residuales en la industria de curtiembre como Cr (III) y Cr(VI) en solución , siendo estas últimas más tóxicas y solubles a bajas concentraciones lo cual lo hace más móvil en medio acuático difundiéndose con mucha facilidad en el medio ambiente; por lo que se ha desarrollado el proceso y se ha obtenido el carbón activado a partir del hueso de la aceituna , para lo cual se siguió un proceso que consta de secado , calcinación, activación química, trituración y lavado por filtración".

Agregan Cabello y Basilio (2), "Finalmente se han realizado pruebas experimentales de la cual se concluye que la capacidad de adsorción del carbón activado elaborado a partir del hueso de aceitunas es de 51%"



4.2. MARCO:

4.2.1. Teórico

El estado de la técnica de la producción de carbón activado ha evolucionado como se detalla a continuación:

a.- Las materias primas

En el siglo XIX la materia prima más utilizada para la producción de carbón activado eran los huesos fósiles de animales para aprovechar su porosidad, luego se usaron diversos carbones tales como antracitas y lignitos. En la década del 60 se utiliza cáscaras de coco en Sudafrica, para luego utilizar cáscara de café como es el caso de Colombia y actualmente en el marco de manejo responsable de residuos, se viene utilizando residuos forestales como es el caso de cascaras de maní, cascaras de coco, huesos de aceitunas, carozo de duraznos, cascara, residuos de madera y aquí se propone darle un uso a las cascaras de pecanas.

b.- La carbonización y los equipos.

Se han desarrollado procesos de carbonización en ambientes inerte y en ambientes oxidantes, utilizando inicialmente hornos verticales, seguido de hornos rotatorios y finalmente hornos de lecho fluidizado. En la mayoría de casos la temperatura de carbonización oscila entre 500°C a 900°C

c.- Los agentes de activación

El uso de reactivos químicos para que actúen como agente activante de los carbones ha ido evolucionando, siendo los más utilizado el cloruro de zinc, luego ácidos como el fosfórico, sulfúrico, clorhídrico, nítrico y en los años 1950 hacia adelante se ha utilizado ácido sulfúrico.



Por otro lado, se ha desarrollado la activación física de carbones que se caracteriza fundamentalmente por el uso de gases como dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno entre otros.

A nivel internacional los países productores de Carbón activado, son Estados Unidos, China con métodos que no son conocidos ni están a libre disposición por cuanto están patentados para proteger su propiedad intelectual dentro de los lineamientos que emanan de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI).

El presente proyecto de Investigación, se diferencia porque aprovecha los desechos agrícolas no utilizados, como las cáscaras de pecanas de Ica, las que son impregnadas con agente activantes, y luego carbonizadas para la obtención de carbón activado muy requerido por la industria nacional que a la fecha lo viene importando.

Las etapas más importante del procesamiento de las cáscaras de pecanas son: Molienda, carbonización, activación, neutralización, tamizado y envasado.

4.2.2. Conceptual

Según Torres Bardales, (15) pg. 104 el marco conceptual "comprende a todos los conocimientos que tiene el investigador sobre el objeto de investigación adquiridos a través de la observación, el análisis y la síntesis En este caso, el marco conceptual es la originalidad teórica que enriquece el desarrollo científico."

Según ello, en el marco conceptual de la presente investigación se ha considerado:



Carbonización

La carbonización es un proceso que consiste en someter a un material a altas temperaturas en un medio inerte para la obtención de un carbón con determinadas características.

En el depósito de documentos de la FAO, se ha recuperado un artículo titulado "Métodos simples para la fabricación de carbón vegetal" (17) del cual se presenta un resumen:

"La madera se debe secar previamente al medio ambiente, a lo que se podría denominar presecado, dado que de todos modos existe una humedad remanente entre 12% y 18% la que se deberá extraer a temperaturas entre 40° y 100°C en el horno en la primera etapa del proceso de carbonización. Este proceso es endotérmico, por lo que parte de la energía requerida deberá ser suministrada por parte del material que se desea carbonizar."

En el inicio de la carbonización se debe dejar ingresar aire para que se quemara parte del material (en la presente investigación será la cáscara de pecanas). A la temperatura aproximada a 280°C se empieza a formar carbón y a salir agua y productos químicos como ácido acético, alquitrán, también se tiene gases como monóxido y dióxido de carbono producto de la combustión, así como el nitrógeno del aire que ingreso los cuales contribuye a inertizar el medio reaccionante. Soto J. (13). Este artículo trata de la carbonización de maderas en general y presenta el efecto de la temperatura sobre el contenido de carbono fijo.

"Bajas temperaturas de carbonización dan un mayor rendimiento en carbón vegetal, pero que es de baja calidad, que es corrosivo, por contener alquitranes ácidos, y que no quema con una llama limpia sin humo. Un buen carbón vegetal comercial debería contener carbono fijo en



alrededor del 75% para lo cual se requiere una temperatura final de carbonización de alrededor de 500°C.” FAO (17)

Este artículo de la FAO está orientado a maderas en general, sin embargo, se tomó como referencia para los ensayos que se realizaron con la cáscara de pecanas.

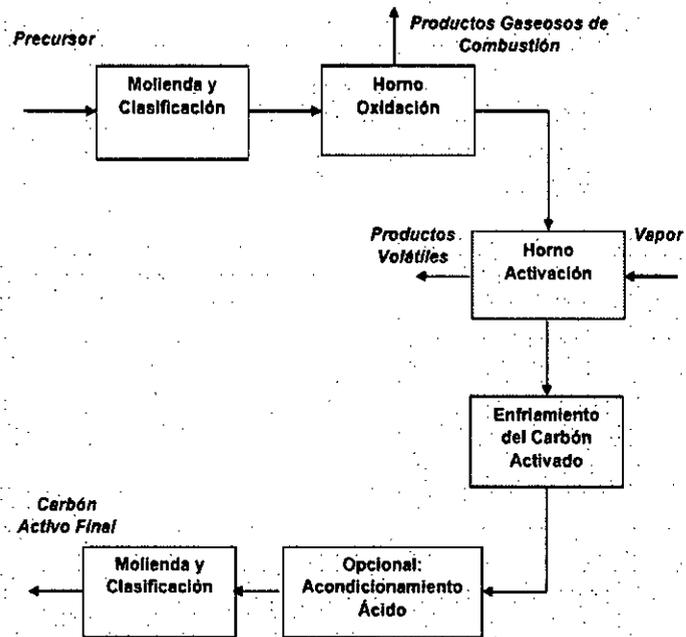
Activación.- Según el Manual del Carbón Activado,(19) la activación “consiste en el desarrollo de la estructura porosa antes generada, mediante la acción de agentes activantes.”

También se puede decir que es un proceso mediante el cual se pone en evidencia la capacidad de adsorción de un carbón, así como expandir su área superficial específica por la formación de poros y microporos. Existen dos métodos de activación, física y química.

Activación Física. – De acuerdo con Luna D. (8) “La porosidad de los carbones preparados mediante activación física, es el resultado de la gasificación del Material carbonizado a temperaturas elevadas. En la carbonización se eliminan elementos como el hidrogeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmosfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono o mezcla de ambos) que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica.”



Figura 4.1 PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON ACTIVACIÓN FÍSICA

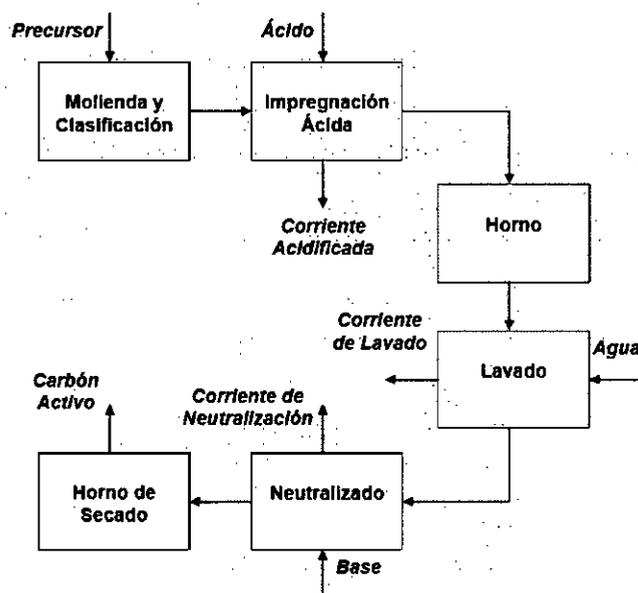


Fuente: Leon Martinez M. (6)

Activación química. - Siguiendo a Luna D. (8) "La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tiene lugar a temperaturas mucho más baja. En este proceso el material o base de carbón se impregna con un agente químico, principalmente ácido fosfórico (o cloruro de zinc) y el material impregnado se calienta en un horno a 500°-700°C . Los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes."

En general, para la activación química de carbones se suelen usar diversos agentes activantes como cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico y otros, para lo cual es necesario determinar la temperatura a la cual se debe realizar la activación, así como el tiempo de residencia y que depende del tipo de materia prima o precursor que se utilice.

Figura 4.2 PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON ACTIVACIÓN QUÍMICA



Fuente: Leon Martinez M. (6)

Puede apreciarse que las etapas fundamentales son, impregnación del precursor con agente químico y luego colocado en el horno para que se realiza tanto la carbonización como la activación de manera simultánea.

Señala Polo Peñaloza (18): "El proceso comienza mezclando la materia prima con el agente activante, formando una pasta. Esta pasta se deja secar y se carboniza en un horno, a una temperatura entre los 200°C y los 650°C, dependiendo de la sustancia química a utilizar para activar el carbón, ocurriendo una deshidratación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y amplia área superficial."

Los parámetros que se han controlado en la obtención de carbón activado fueron:

- La relación de impregnación
- Temperatura de activación
- Tiempo de residencia

Existen dos maneras de elaboración del carbón activado en lo referente al manejo de las etapas de carbonización y activación respectivamente.

4.3. Definiciones de la terminología

Pecana. - llamada también pecan y pecano, tiene como nombre científico *Carya illinoensis*, en Perú crece en el departamento de Ica, especialmente la denominada variedad criolla.

Según Carlos Villanueva Mendoza del Instituto Peruano de Exportaciones (IPEX) (2015) "Perú produce pecanas de calidad, pero no tiene mucho volumen de producción y no hay política de desarrollo que promueva este tipo de cultivo de larga data. Actualmente, existen más de 1 000



hectáreas de dicho producto, cuyo rendimiento promedio asciende a 2.5 toneladas por Ha. El 60% del total de cultivos son orgánicos y el resto convencionales.”

Asimismo, comentó Villanueva que “la principal región productora de pecanas en Perú es Ica donde están instaladas alrededor del 80% de los cultivos totales. Igualmente, la variedad más sembrada es Mahan, es la que exige el mercado, principalmente Asia, debido a que son de calibres grandes, alargadas y tiene buena preservación porque se oxida poco. Otras variedades son Merino y Stuart. En cuanto a las exportaciones peruanas de pecanas, éstas ascienden alrededor del 80% de la producción, siendo nuestros principales destinos Estados Unidos, Asia y Europa.”

Precursor.- En el mundo de los carbones activados se denomina precursor a la materia base que aporta los carbones, como es el caso de carbones inorgánicos y también los residuos forestales como, cascara de café, cascara de pecanas, huesos de aceitunas, carozo de durazno, cascara de coco y otros.

Carbón activado. – “El carbón activado es un término que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales carbonosos. Es un material que tiene un área superficialmente excepcionalmente alta. Es un producto obtenido a partir del material amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con el fin de aumentar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzar áreas de 1200 a 1500 m²/g. de carbón activado.” U. Sevilla (19)

“El carbón activado con una gran área superficial específica, con alta porosidad que tiene la propiedad de adsorber hacia su superficie, diversas impurezas, contaminantes como gases, toxinas, proteínas, que pueden

estar generando color, olor o sabor no deseable en un producto. Tiene una superficie interna que oscila entre 500 a 1500 m²/g. El carbón activado viene en dos presentaciones: Carbón activado en polvo y carbón activado granular para diversas aplicaciones en la industria, aprovechando su capacidad de adsorción." Fernández (3)

El carbón activado es considerado como el mejor adsorbente por excelencia y se utiliza en diversas industrias como:

Industria de alimentos

Industria química

Industria químico –farmacéutica

Tratamiento de aguas

Industria metalúrgica y otras

La norma técnica peruana NTP 311.331 (2018) establece las características que debe tener el carbón activado para el tratamiento de agua para consumo humano, es decir precisa las especificaciones técnicas para la calidad, de tal manera que se garantice la remoción de microorganismos y macropartículas, así como la reducción ostensible de la turbidez a menos de 1 NTU. como se explica más adelante.

Adsorción.- El Manual del Ingeniero Químico de Perry (11) señala que " la adsorción involucra , en general, la acumulación o reducción de moléculas de soluto en una interface (incluyendo interface gas-liquido, como en fraccionamiento con espuma y interface liquido-liquido como en detergencia) . La acumulación por unidad de área superficial es pequeña,



sin embargo, sólidos altamente porosos con una gran área interna por unidad de volumen son preferidos. La acumulación por unidad El área de la superficie es pequeña, se prefieren este sólido altamente poroso con una gran área interna por unidad de volumen.”

Número de Iodo.- Llamado también Índice de Yodo, es un número que mide los miligramos de Yodo adsorbidos por 1 gramo de carbón activado, de esta manera se puede establecer la capacidad de adsorción de los carbones activados. Norma mexicana N° NMX 296-Scfi-2011

Porosidad.- Entre los microcristales que constituyen el carbón, existen huecos o espacios vacíos los cuales se denominan poros. El área superficial total de estos poros, incluida el área de sus paredes, es muy amplia, siendo ésta la principal razón de su gran capacidad de absorción. De acuerdo con la terminología de la IUPAC, los poros cuyo tamaño no excede de 2 nm son llamados microporos, que son donde ocurre el fenómeno de adsorción en mayor medida, los que exceden de 50 nm son llamados macroporos, éstos juegan un papel importante en el transporte del adsorbato a través de los mesoporos hasta los microporos, los mesoporos son de tamaño intermedio a los valores mencionados (entre 2 y 50 nm). El volumen de los microporos es en general mayor de 0,2 cm³/g pudiendo alcanzar elevados valores de área de superficie específica interna. U. SEVILLA (19)

Área superficial específica- Según Colpas F. et al. (16) “ Se denomina superficie específica al área de la superficie por unidad de masa (m²/g) . Constituye la suma del área de la superficie de todas las partículas que forman un gramo de material. En el caso de los carbones activados, la superficie de la articula presenta una alta reactividad físico-química con el medio, lo que implica la existencia de fenómenos como la adsorción de cationes y moléculas de agua o variación de la carga eléctrica y de las



fueras de atracción–repulsión entre partículas en función del pH , salinidad y temperatura del medio.”

Turbidez. - denominada también turbiedad, según Lenntech (21), “La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua”

NTU.- “La turbiedad o turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento utilizado para medir la turbidez es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la dispersión de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.” Lenntech (21)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más, en ningún caso, de 5 NTU, siendo ideal que este por debajo de 1 NTU. (21)



V. MATERIALES Y METODOS

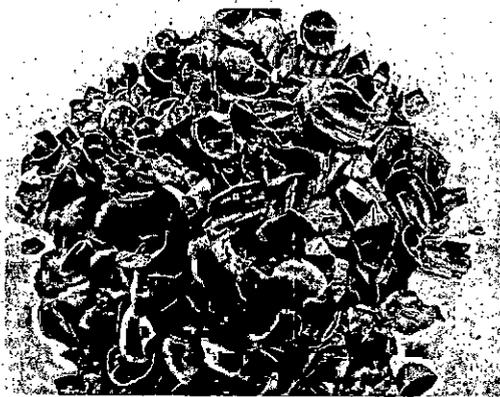
5.1. Materiales y equipos

5.1.1 Materia prima

Cáscaras de pecanas de Ica

FIGURA N° 5.1

MUESTRAS DE CASCARAS DE PECANAS DE ICA



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.- Reactivos

Ácido Fosfórico H_3PO_4

Cloruro de Zinc $Zn Cl_2$

c.- Equipos de vidrio

1 Probeta de 50 ml

3 Vasos de precipitación de 250ml

1 mortero con su pilón

1 bagueta de vidrio

5 Erlenmeyer de 500 ml

1 Matraz Kitasato de 500 ml

1 Embudo Buchner

5 embudos de vidrio

5.1.3. Instrumentos y otros materiales

Balanza analítica con precisión de 0.01g

Mufla con temperatura hasta 800°C

Pinzas metálicas para retirar crisoles de la mufla

Guantes de cuero

Turbidímetro Velp Instruments modelo TB1

5.2. Población y muestra

5.2.1 Determinación de la población

Para efectos de la directiva para informes finales de investigación de la UNAC, se utilizara el termino Universo para referirse a la cantidad de cascara de pecanas disponible.

A nivel laboratorio se considera como unidad muestral la cascara de una pecana y que en promedio es de 10g. teniendo en cuenta la disponibilidad de cascara de pecanas en Ica, estadísticamente hablando estamos frente a una población infinita definida con más de 100 000 unidades muestrales.

5.2.2. Determinación de la muestra

Teniendo en cuenta que se trabaja a nivel laboratorio y considerando que se usa como reactor una mufla del laboratorio de Química Analítica Cuantitativa, dándose el caso que dentro de la mufla se pueden colocar como máximo 4 crisoles en fila, y en cada crisol de 50 ml se pueden colocar 50 g. de cascara de pecanas molidas. En tal sentido el Tamaño experimental será de $4 \cdot 50 = 200\text{g}$. de cáscaras de pecanas.

Por otro lado, aplicando las clásicas formulas estadísticas para la determinación del tamaño de la muestra de un universo infinito, esto es, cuenta con más de 100 000 unidades muestrales, se utilizar la formula:

$$n = Z^2 PQ / E^2$$

Siendo:

N= Universo

P= 50% favorable

Q= 50% desfavorable

n = tamaño de la muestra (a nivel laboratorio)

E= máximo error permisible, 6%

Z= 1,96 porque se trabajará con 95% de confiabilidad estadística.

$$n = (1.96)^2 \cdot (0.5 \cdot 0.5) / (0.06)^2 = 266 \text{ g.}$$

Hernandez Sampieri [4] señala (pg 179) que "asumimos que "p" y "q" serian de 50% y que resulta lo más común, particularmente cuando seleccionamos por vez primera una muestra en una población", precisamente este caso se presenta en esta investigación.

En términos estadísticos y matemáticos se podrá verificar que cuando se considera $P = 50\%$ y $Q = 50\%$ se obtiene el mayor tamaño de muestra posible.

En tal sentido, la cantidad utilizada ha sido de 266 g. para las diversas corridas de carbonización como de activación de las cáscaras de pecanas.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

La Técnica de recolección de datos, que corresponde por la naturaleza de la presente investigación es el de experimentación, o como señala Torres Bardales (15) "es la de Observación experimental", toda vez que se manipularon variables como, temperatura de carbonización y activación para la obtención del carbón activado, naturaleza del agente activante, así como el tiempo de residencia en la mufla.

Con respecto al método utilizado para la obtención de los datos experimentales, se puede precisar que, para la Investigación Aplicada Experimental, se desarrolló a nivel laboratorio de la siguiente manera:

5.3.1.- Preparación de la muestra de cáscaras de pecanas

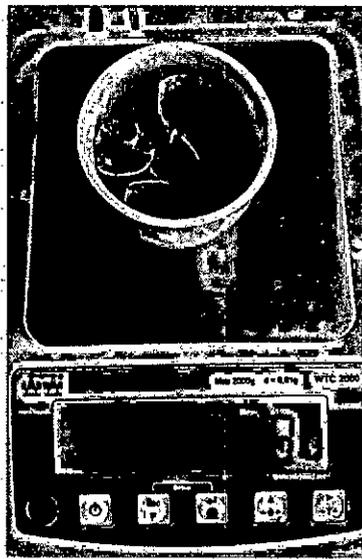
Básicamente se realizó una clasificación por tamaños, separando las cascaras más delgadas con la finalidad de contar con cascaras más

fuerres que resistan mejor las etapas de preparación del carbón activado y minimizar la generación de gases o volátiles.

La preparación también incluye un presecado de las cascaras a temperatura ambiente por 48 horas de manera que se cuente con partículas más sólidas para facilitar la carbonización.

FIGURA N° 5.2

PESAJE DE LA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

5.3.2.- Trituración

Para proveer de un tamaño de partícula que facilite la carbonización, las muestras secadas en la etapa anterior, se sometieron a trituración con ayuda de un mortero en el laboratorio, con la finalidad de llevar a un tamaño de partícula adecuado como se detalla en el siguiente párrafo. A escala industrial se recomienda utilizar un molino de martillos.

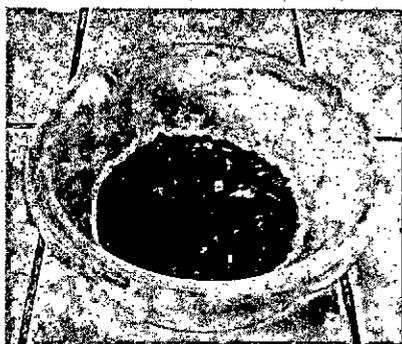
A handwritten signature or mark, possibly a stylized letter 'R', located in the bottom left corner of the page.

FIGURA N° 5.3
REDUCCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA DE LAS CASCARAS DE
PECANAS



Fuente: Elaboración propia

(a)



Fuente: Elaboración propia

(b)

R

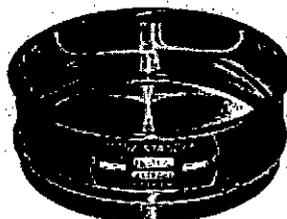
5.3.3.- Tamizado

Posterior a la trituración se realizó un tamizado, utilizando el kit de tamices del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC, para seleccionar las partículas de cáscaras de pecanas entre mallas ASTM E11 con N°18 (1mm) y N°10 (2mm) de manera que se pueda introducir en los crisoles para su posterior carbonización y activación en la mufla.

FIGURA N°5.4

TAMICES ASTM E11 – TAMAÑO DE PARTICULA

TAMICES



Malla con marco de acero inoxidable de 8 pulgadas de diámetro por 2 Pulgadas de altura con malla de acero inoxidable que cumple con la norma ASTM E11.

Malla No. 4	Apertura: 4,75 mm
Malla No. 5	Apertura: 4 mm
Malla No. 6	Apertura: 3,35 mm
Malla No. 8	Apertura: 2,36 mm
Malla No. 10	Apertura: 2 mm
Malla No. 12	Apertura: 1,7 mm
Malla No. 14	Apertura: 1,4 mm
Malla No. 16	Apertura: 1,18 mm
Malla No. 18	Apertura: 1 mm
Malla No. 20	Apertura: 850 µm
Malla No. 25	Apertura: 710 µm
Malla No. 30	Apertura: 600 µm
Malla No. 35	Apertura: 500 µm
Malla No. 40	Apertura: 425 µm
Malla No. 50	Apertura: 300 µm
Malla No. 60	Apertura: 250 µm
Malla No. 70	Apertura: 212 µm
Malla No. 80	Apertura: 180 µm
Malla No.100	Apertura: 150 µm
Malla No.120	Apertura: 125 µm
Malla No.140	Apertura: 106 µm
Malla No.170	Apertura: 90 µm
Malla No.200	Apertura: 75 µm
Malla No.230	Apertura: 63 µm
Malla No.270	Apertura: 53 µm

Fuente:

https://www.myminstrumentostecnicos.com/wenv/file_data.php?id=2054

5.3.4.- Impregnación con activantes químicos

A diferencia de otras investigaciones que utilizan activación física con gases, en la presente investigación se utilizó la activación química, para lo cual se utilizaron como agentes activantes el ácido fosfórico y el cloruro de zinc a una concentración de 40% en solución acuosa.

ES conveniente precisar que antes de la etapa de carbonización-activación fue necesario realizar la impregnación de las cascaras molidas con el agente activante considerando la siguiente proporción entre Precursor/ agente activante:

Cáscaras de pecanas/ ácido fosfórico= 1/3

Cáscaras de pecanas / cloruro de zinc = 1/3

La impregnación permite que el agente activante reaccione con las cascaras y posibilita que el rendimiento sea mayor.

El tiempo de impregnación que se utilizó fue de 12 horas

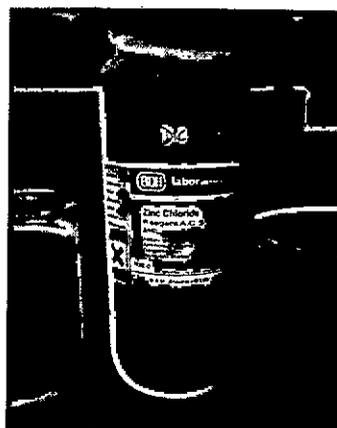
FIGURA N° 5.5

IMPREGNACION CON ACIDO FOSFORICO



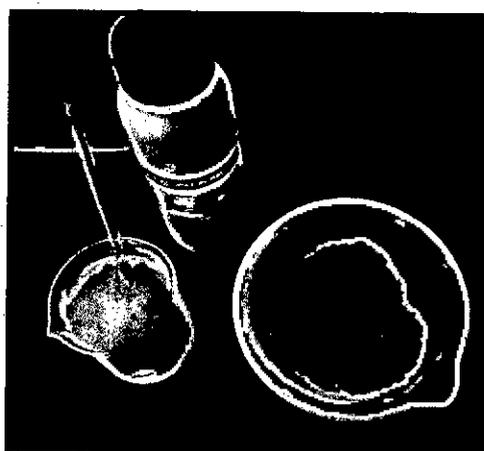
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.6 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORURO DE ZINC



Fuente: Elaboración propia

(a)



Fuente: Elaboración propia

(b)

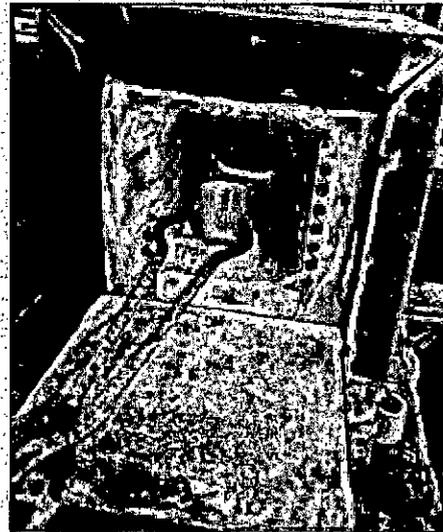
d

5.3.5.- Carbonización-Activación

Para la etapa del proceso con activación química, después de la impregnación se colocaron las cáscaras de pecanas en crisoles de 50 c.c los mismos que luego fueron colocados dentro de la mufla primero a 200°C durante 1 hora y después a 500°C por una hora adicional. En esta operación se realizó la carbonización de las cascarras de pecanas y su activación de manera simultánea.

FIGURA N°5.7

CARBONIZACION DE LAS CASCARAS DE PECANAS



Fuente: Elaboración propia

R

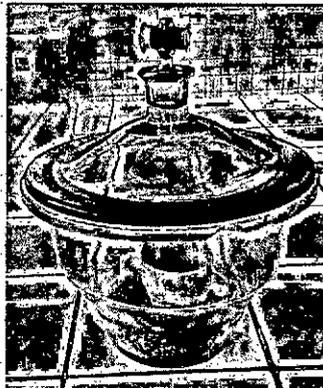
5.3.6.- Enfriamiento y secado del carbón activado obtenido.

Inmediatamente después que ha culminado la etapa de carbonización-activación, se extraen de la mufla los crisoles con el carbón activado con ayuda de una pinza metálica y guantes de cuero.

Para evitar que, durante el enfriamiento, el carbón activado obtenido se humedezca por influencia del medio ambiente, se colocaron los crisoles en un deshumidificador de vidrio con Silica-gel hasta que se logró la temperatura ambiente (22°C).

GRAFICA N°5.8

ENFRIAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO EN DEHUMIDIFICADOR



Fuente: Elaboración propia

[Handwritten signature]

5.3.7. Neutralización

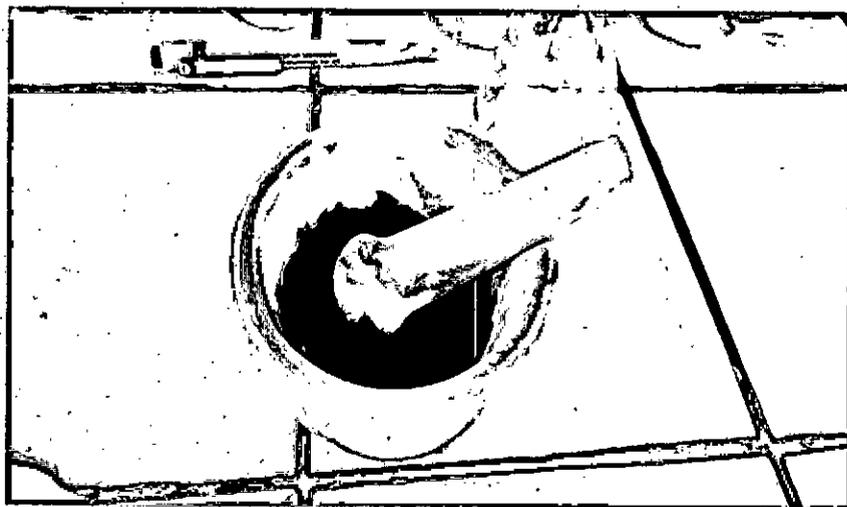
Es necesario remover el agente activante que existe en exceso en el carbón activado obtenido, más aun teniendo en cuenta que el producto es requerido en el mercado con pH cercano a 7 para lo cual se somete el producto antes enfriado a lavados sucesivos con Hidróxido de sodio 0.2N hasta que se logró un pH cercano a 7.

5.3.8. Molienda

El carbón activado se somete a una nueva trituración en el mortero en el laboratorio con la finalidad de darle la mayor área superficial específica posible. En la presente investigación se logró a malla N° 18 y N° 20 por lo que por su tamaño de partícula califica como carbón activado granular (CAG).

FIGURA N°5.9

MOLIENDA DEL CARBON ACTIVADO OBTENIDO



Fuente: Elaboración propia

Handwritten signature or initials.

5.3.9. El control de calidad del carbón activado obtenido con cascarras de pecanas.

Tal como corresponde a la producción de un producto, al final se realizó el correspondiente control de calidad del carbón activado obtenido con cáscaras de pecanas de Ica.

En primer lugar, se realizó un análisis proximal básico siguiendo lo indicado en las siguientes normas técnicas:

- Determinación de la humedad en carbón activado, según la norma técnica ASTM D2867.
- Determinación de la densidad aparente del carbón activado. ASTM D2854

En segundo lugar, fue necesario determinar la eficiencia del carbón activado obtenido, para lo cual fue sometido a una prueba para remoción de sólidos en suspensión en una muestra de agua turbia con turbidez de 35.5 NTU. Su efectividad se comparó con la eficiencia de un carbón activado comercial con ayuda de un turbidímetro.

Se realizaron pruebas de reducción de la turbidez utilizando cantidades diferentes de carbón activado tales como 0.5 ; 1; 1.5 y 2 g.

Las imágenes de los experimentos realizados se presentan en las siguientes figuras.

FIGURA N° 5.10

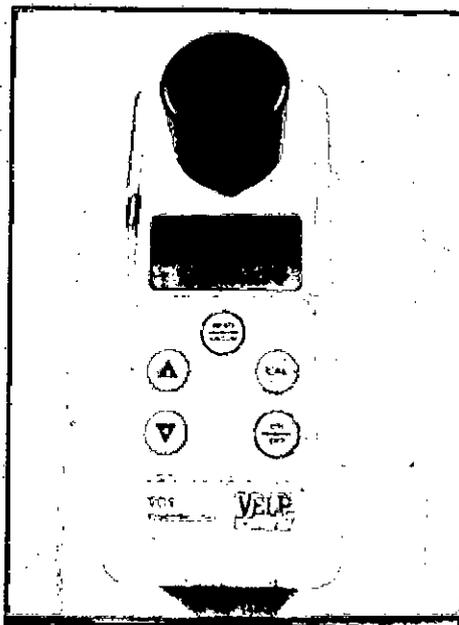
MUESTRA DE AGUA CON TURBIDEZ DE 35.5 NTU



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5.11

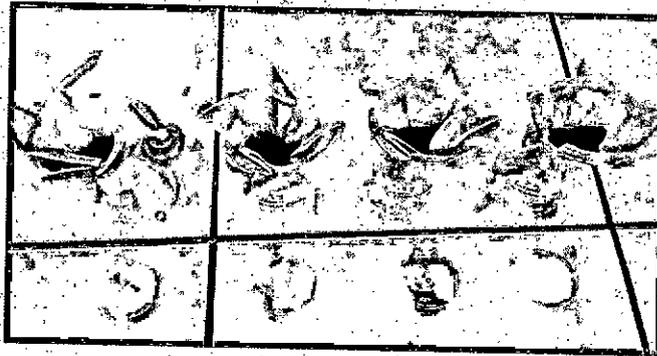
TURBIDIMETRO VELD INSTRUMENTS



Fuente: Elaboración propia

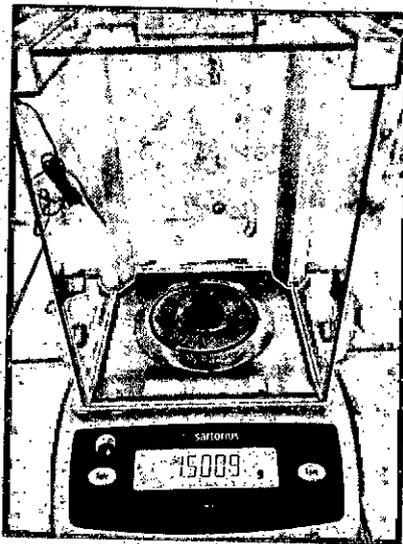
R

FIGURA N° 5.12
CLARIFICACION DEL AGUA TURBIA CON CARBON ACTIVADO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5.13
PESAJE DE LA CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO PARA LA ADSORCION



Fuente: Elaboración propia

R

FIGURA N° 5.14

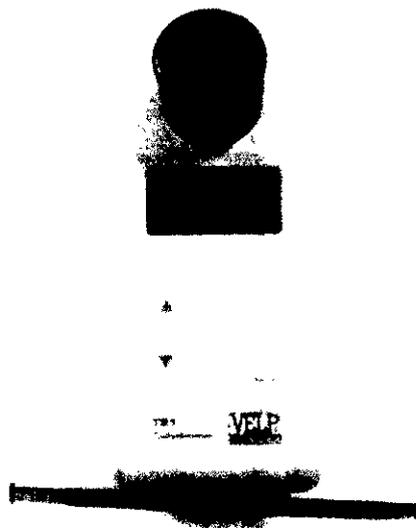
MUESTRAS DESPUES DE LA ADSORCION



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5.16

LECTURA DE LA TURBIDEZ DESPUES DE HABER FILTRADO CON CARBON ACTIVADO



Fuente: Elaboración propia

R

5.4. Las técnicas de análisis y procesamiento de datos

Para el Análisis Estadístico de los datos obtenidos en el laboratorio, se siguieron las siguientes etapas: ordenamiento, clasificación, tabulación de los datos y se calcularon estadígrafos de posición y de dispersión.

Se realizaron análisis de regresión a los modelos de desempeño de los carbones activados obtenidos utilizando Excel 2010, mediante:

Datos/ Análisis de datos/ regresión, lo cual se aplicó a los datos de la variación de la turbidez del agua frente a diferentes cantidades de carbón activado utilizadas, para obtener el índice de Correlación R y el coeficiente de determinación R^2 , los cuales ameritan un análisis ya que se podría tener un valor cercano a 1, pero es necesario establecer si existe una relación de causalidad entre las variables dependiente e independiente y no una relación de casualidad matemática.

Se realizó un análisis de regresión a la relación entre la turbidez y la cantidad de carbón activado utilizada para clarificar una muestra de agua con una turbidez de 35.5 NTU.



VI. RESULTADOS

Como ya se ha indicado en párrafos anteriores existen 2 métodos para la obtención de carbón activado, el primero incluye una pirolisis y una posterior activación y el segundo comprende prácticamente una sola etapa, en la cual es necesario que la materia prima o precursor se impregna previamente con el agente activante y luego se somete a una sola operación en el horno o mufla para que se desarrolle la carbonización y activación de manera simultánea. Este segundo método es el que se ha desarrollado en la presente investigación, en tal sentido los resultados aquí presentados están basados en dicho método.

6.1 Resultados respecto al objetivo a.-Caracterizar la cáscara de pecanas para el proceso.

Las cascaras de pecanas fueron obtenidas en el departamento de Ica, el mayor productor de pecanas. Sus características más destacadas que se han encontrado son:

TABLA N° 6.1

CARACTERÍSTICAS DE LAS CÁSCARAS DE PECANAS

Variables	valores
Densidad aparente	0.72 gr/cc.
pH	8.1
Humedad	12%
Cenizas	4.62%

Fuente: Elaboración propia

Para poder utilizar las cascaras de pecanas en la obtención de carbón activado, esta debe ser reducida a un tamaño de partícula entre mallas ASTM E11 con N°18 (1mm) y N°10 (2mm) y una humedad no mayor a 5% para evitar la mayor generación de cenizas y de gases carbónicos.

6.2 Resultados respecto al objetivo b.- Establecer las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas

La primera condición es que las cascaras de pecanas deben ingresar al proceso de carbonización exenta de humedad con la finalidad de evitar la generación de humos por combustión incompleta. Así mismo es de primera importancia que la carbonización se debe realizar en medio inerte, esto es, en ausencia de oxígeno con la finalidad de evitar que las cáscaras de pecanas se combustionen generando mayor cantidad de cenizas y por lo tanto vaya en desmedro del rendimiento del proceso.

Las variables que se tienen que controlar en la etapa de carbonización en la producción de carbón a partir de las cascaras de pecanas son: temperatura de carbonización, tiempo de residencia, así como el tamaño de partícula, cuyos valores establecidos se presentan en la siguiente tabla



TABLA N° 6.2

VARIABLES DE LA CARBONIZACIÓN DE LAS CASCARAS DE PECANAS

Variables de la carbonización	Valores
Temperatura de carbonización	200°C
Tiempo de residencia	1 hr
Tamaño de partícula	Malla N° 18

Fuente: Elaboración propia

6.3. Resultados respecto al objetivo c.- Determinar el agente de activación más conveniente para el proceso

La activación es la etapa más importante por cuanto permite ampliar el área interna entre los intersticios del carbón, con lo cual se le da propiedad de adsorción que es la principal característica de todo carbón activado.

En la presente investigación se ha trabajado con solución de cloruro de zinc y ácido fosfórico

Los carbones activados obtenidos con las cascaras de pecanas y usando como agentes activantes, el ácido fosfórico al 40% y solución de cloruro de Zinc a una concentración de 40% .



TABLA N° 6.3
VARIABLES DE LA ACTIVACION DEL CARBON DE CASCARAS DE PECANAS

Variables de la Activación	Valores
Temperatura	500°C
Tiempo de residencia	1 hr

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos usando dos agentes activantes fueron:

TABLA N°6.4
RESULTADOS SEGÚN EL AGENTE ACTIVANTE UTILIZADO

	Con ácido fosfórico	Con cloruro de zinc
Rendimiento	42%	35%
pH	7.6	8.1
Densidad aparente	0.58	0.61

Fuente: Elaboración propia

6.4. Resultados respecto al objetivo d.- Caracterizar el Carbón Activado obtenido usando cáscaras de pecanas

Las características del carbón activado obtenido en la presente investigación se detallan en la siguiente tabla.



TABLA N° 6.5

CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE
CASCARAS DE PECANAS

Característica	Valor
Presentación	granular
Color	negro
Densidad aparente	0.58
pH	7.6
cenizas	4%
Humedad	4.5%
Tamaño de partícula	1mm a 2mm

Fuente: Elaboración propia

**6.5 Resultado de la evaluación del carbón activado obtenido con las
cascaras de pecanas**

Siendo necesario evaluar la calidad del carbón activado obtenido a partir de las cascaras de pecanas, habiéndose trabajado con dos agentes activantes como son el ácido fosfórico y el cloruro de Zinc, se procedió a aplicar una prueba para determinar en qué medida reducía la turbidez de una muestra de agua con una turbidez de 35.5 NTU. Así como se ha realizado una comparación de la performance del carbón activado obtenido en la presente investigación comparándolo con un carbón activado comercial. Siendo los resultados obtenidos como se presenta a continuación.

6.5.1. Evaluación del carbón activado con ácido fosfórico

TABLA N° 6.6.

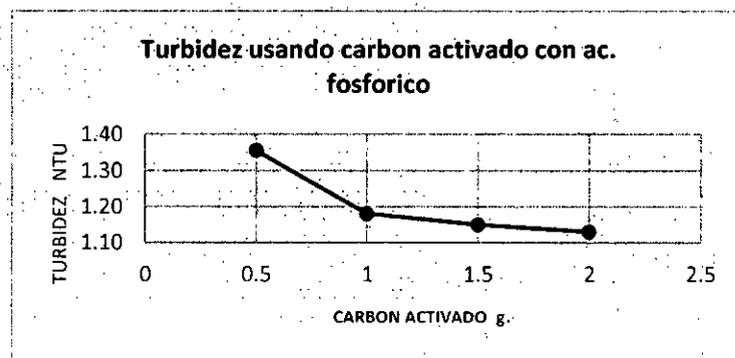
VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO CON ACIDO FOSFÓRICO

N°	Peso de carbón activado g.	TURBIDEZ NTU
1	0.5	1.36
2	1	1.18
3	1.5	1.15
4	2	1.13

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N°6.1

VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO CON ACIDO FOSFÓRICO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 6.1

RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBÓN ACTIVADO CON ACIDO FOSFORICO

Resumen	CON CARBON ACTIVADO CON ACIDO FOSFORICO				
<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación	0.99338805				
Coefficiente de determinación	0.98681982				
R² ajustado	0.98022973				
Error típico	0.01446924				
Observaciones	4				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>de cuadrado de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de</i>	
Regresión	1	0.03135003	0.03135003	149.742958	0.006611951
Residuos	2	0.00041872	0.00020936		
Total	3	0.03176875			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	1.04525641	0.01483561	70.4559092	0.00020139	0.981423931
Variable X 1	0.15215385	0.01243397	12.2369505	0.00661195	0.098654802
Turbidez =1.04525 + 0.15215/peso de carbon activado					

Fuente: Elaboración propia realizada con Excel.

6.5.2. Evaluación del carbón activado con cloruro de zinc.

TABLA N° 6.7

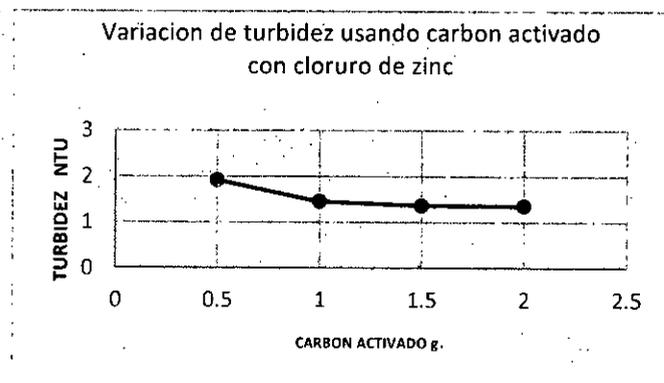
VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC.

N°	Peso de carbón activado g.	TURBIDEZ NTU
1	0.5	1.92
2	1	1.45
3	1.5	1.36
4	2	1.35

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N° 6.2

VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 6.2

RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC

Resumen		CON CARBON ACTIVADO CON CLORURO DE ZINC			
<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación		0.98763597			
Coefficiente de determinación		0.97542482			
R ² ajustado		0.96313723			
Error típico		0.05192203			
Observaciones		4			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
		<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.21400821	0.21400821	79.382918	0.012364025
Residuos	2	0.00539179	0.0026959		
Total	3	0.2194			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	1.10589744	0.05323672	20.7732067	0.00230933	0.876838308
Variable X 1	0.39753846	0.04461857	8.9097092	0.01236403	0.20556026
Turbidez = 1.10589 + 0.397538/peso de carbon activado					

Fuente: Elaboración propia con EXcel

6.5.3 Resultado de la evaluación del carbón activado comercial

TABLA N° 6.8

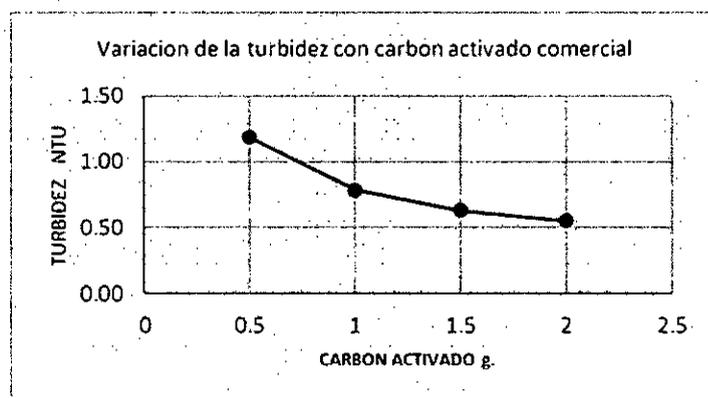
VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL

N°	Peso de carbón activado g.	TURBIDEZ NTU
1	0.5	1.18
2	1	0.78
3	1.5	0.63
4	2	0.55

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N° 6.3

VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 6.3

RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA TURBIDEZ Y LA CANTIDAD DE CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL

Resumen	CON CARBON ACTIVADO COMERCIAL				
<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación	0.99944845				
Coefficiente de determinación	0.99889721				
R ² ajustado	0.99834581				
Error típico	0.0113905				
Observaciones	4				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Media Cuadrado</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.23504051	0.23504051	1811.57708	0.000551549
Residuos	2	0.00025949	0.00012974		
Total	3	0.2353			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	0.35102564	0.01167892	30.0563515	0.00110511	0.300775316
Variable X 1	0.41661538	0.00978829	42.5626253	0.00055155	0.374499765
Turbidez = 0.35102045 + 0.416615/peso de carbon activado					

Fuente: Elaboración propia con Excel

6.5.4. Resultados de la comparación de la variación de la turbidez

TABLA N° 6.9

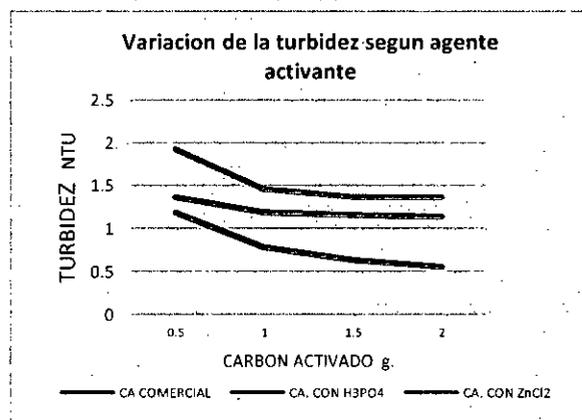
COMPARACION DE LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ USANDO 3 CARBONES ACTIVADOS

N°	Peso de carbón activado g.	TURBIDEZ USANDO C.A. COMERCIAL (NTU).	TURBIDEZ USANDO C.A. CON ACIDO FOSFORICO (NTU)	TURBIDEZ USANDO C.A. CON CLORURO DE ZINC. (NTU)
1	0.5	1.18	1.35	1.92
2	1	0.78	1.18	1.45
3	1.5	0.63	1.15	1.36
4	2	0.55	1.13	1.35

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N° 6.4

COMPARACION DE LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ SEGÚN AGENTE ACTIVANTE



Fuente: Elaboración propia

6.5.5. Resultados de la evaluación de la eficiencia de los carbones activados obtenido con cascara de pecanas

TABLA N° 6.10

EFICIENCIA DE CARBONES ACTIVADOS

PESO C.A g.	CA. COMERCIAL		CA. ACIDO FOFORICO		CA. CLORURO ZINC	
	NTU	EFICIENCIA	NTU	EFICIENCIA	NTU	EFICIENCIA
0.5	1.8	0.9493	1.35	0.9620	1.92	0.9459
1	0.78	0.9780	1.18	0.9668	1.45	0.9592
1.5	0.63	0.9823	1.15	0.9676	1.36	0.9617
2	0.55	0.9845	1.13	0.9682	1.35	0.9620
EFICIENCIA PROMEDIO		0.9735		0.9661		0.9572

Fuente: Elaboración propia

NOTA: La eficiencia se ha calculado en base a la reducción de la Turbidez de la muestra de agua turbia de 35.5 NTU

Ejemplo para el Carbón activado con ácido fosfórico en el laboratorio:

$$Efc. = (35.5 - 1.13)/35.5 = 0.9682 = 96.82\%$$

TABLA N° 6.11

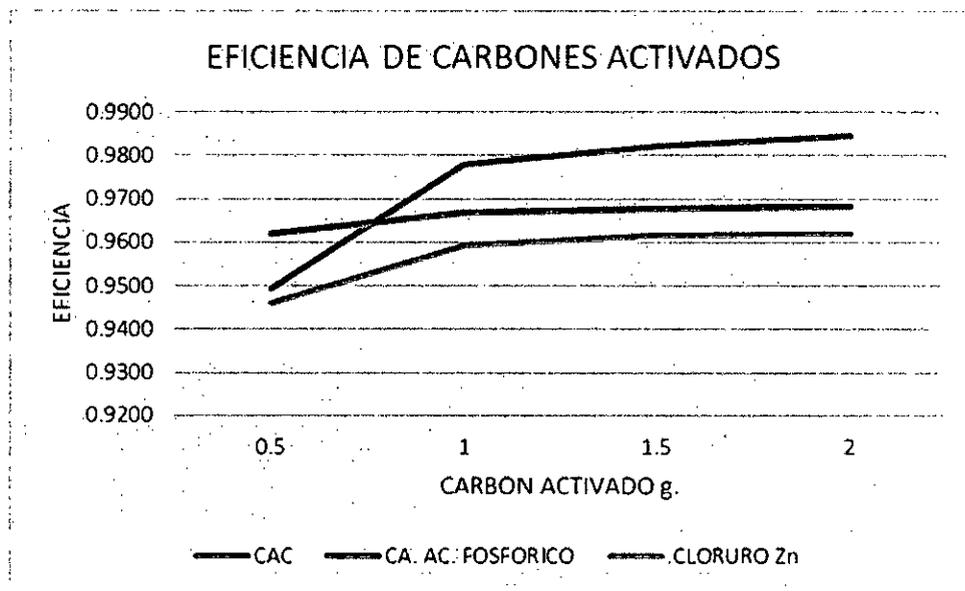
EFICIENCIA EN LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ

Peso g.	CAC	AC. FOSFORICO	CLORURO Zn
0.5	0.9493	0.9620	0.9459
1	0.9780	0.9668	0.9592
1.5	0.9823	0.9676	0.9617
2	0.9845	0.9682	0.9620

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N° 6.5

EFICIENCIA EN LA REDUCCION DE LA TURBIDEZ



Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSION

Visto los resultados obtenidos en los experimentos realizados en el Laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química de la Unac en relación a la obtención de carbón activado utilizando como materia prima o precursor a las cascaras de pecanas de Ica, aquí se presentan los análisis relacionados con:

Discusión sobre los métodos de obtención del carbón activado

Según U. Sevilla (19), en general existen dos métodos de obtener un carbón activado:

- a.- Carbonización seguida de impregnación con el agente activante y posterior activación
- b.- Impregnación del precursor con el agente activante y posterior carbonización y activación al mismo tiempo.

Al respecto, los experimentos permitieron verificar que el segundo método es más conveniente, por cuanto presenta un mayor rendimiento y la generación de volátiles y cenizas era menor.

Discusión sobre el agente activante más conveniente

En la presente investigación se ha utilizado la denominada activación química, para lo cual se ensayaron dos agentes activantes, el ácido fosfórico y cloruro de zinc al 40% de concentración por ser los más recomendables para maderas y residuos forestales.

Un análisis comparativo de la Tabla N° 6.4 de la pg. 43, permite comparar los resultados cuando se utiliza cada agente activante señalado. En este



caso el ácido fosfórico presenta mejores ventajas para la activación del carbón de cascaras de pecanas, dado que su rendimiento es de 42% siendo mayor al del cloruro de zinc de 35%. Este elemento de análisis es fundamental por cuanto se relaciona con la productividad y además tiene efectos directos en los análisis económicos de los procesos cuando se desee implementar a escala industrial.

Discusión sobre la efectividad del carbón activado obtenido frente a carbón activado industrial.

Para tal efecto se realizaron pruebas con una muestra de agua turbia con turbidez de 35.5 NTU y se midieron la turbidez adquirida después de usar diferentes cantidades de carbón activado. En la tabla N° 6.9 y figura 6.4 de la página 51, se puede contrastar el comportamiento de los carbones activados, esto es el carbón que se activó con ácido fosfórico frente al que se obtuvo activando con cloruro de zinc.

Un análisis comparativo señala que el carbón activado con ácido fosfórico presentó mejor efectividad frente al que se activó con cloruro de zinc. Por ejemplo, a nivel laboratorio con 2g. de carbón activado se redujo la turbidez de la muestra de 100 ml de agua turbia de 35.5 NTU a 1.13 NTU en el caso del ácido fosfórico frente a 1.35 NTU cuando se usó cloruro de zinc.

Se puede contrastar la efectividad del carbón activado con ácido fosfórico frente a un Carbón Activado Comercial (CAC) apreciándose que, bajo las mismas condiciones señaladas en el párrafo anterior, con el CAC se redujo la turbidez de 35.5 NTU a 0.55 NTU frente a 1.13 NTU cuando se usó carbón activado con ácido fosfórico obtenido en la presente investigación.



Es evidente que la diferencia entre ambos carbones activados es mínima, lo cual juega a favor de la obtención de carbón activado usando cascara de pecanas como materia prima o precursor.

Por otro lado, un análisis de la eficiencia de los dos carbones activados en la presente investigación se presenta a continuación. En primer lugar, se debe definir la señalada eficiencia como que tanto es capaz de adsorber los sólidos en suspensión, vale decir reducir la turbidez de la muestra de agua que es de 35.5 NTU. En base a los resultados mostrados en las Tablas N° 6.10 y 6.11 y representadas en la gráfica N° 6.5 de la página 54 al comparar la eficiencia del carbón activado con ácido fosfórico en promedio es de 97.3% frente a la del carbón activado con cloruro de zinc que resultó de 95.7% se evidencia que el primero es más eficiente que el segundo, pero al mismo tiempo se puede inferir que ambos presentan una eficiencia muy aceptable.

Al comparar la eficiencia de los carbones activados obtenidos en la presente investigación con otro carbón activado comercial (CAC) se puede apreciar en la tabla N° 6.10 que la diferencia es ínfima de casi 1%.

Si se correlaciona la variación de la reducción de la turbidez de la muestra de agua en relación a la cantidad utilizada de carbón activado se puede apreciar en las figuras N°6.1 a 6.3 que las curvas responden a un modelo matemático inverso, con índice de correlación mayores a 0.96, lo cual permite inferir que hay una relación inversa entre la disminución de la turbidez con respecto a la cantidad de carbón activado, es decir a mayor cantidad de carbón activado menor turbidez del agua tratada. Sin embargo, se debe agregar que en las graficas N° 6.1 a 6.3 también se puede apreciar la cantidad de carbón activado en el equilibrio, esto es,

cuando la hipérbola es casi horizontal, lo cual significa que hay una cantidad de carbón activado en la cual se logra la mayor disminución de la turbidez de la muestra de agua turbia, lo que es relevante cuando se trata de optimizar los procesos de adsorción ya que se puede estimar la cantidad optima de carbón activado recomendable.

Además, los modelos inversos encontrados permiten predecir los valores de la turbidez que se obtienen en base a una determinada cantidad de carbón activado.

Ahora respecto a la contrastación frente a los resultados obtenidos por otros investigadores se puede sostener que León Martínez (6) elaboró un proyecto de factibilidad para una planta de carbón activado de cascara de nueces, para aplicaciones en hidrometalurgia del oro, en el cual se centra en nueces que se producen en grandes cantidades en Chile, mas no en pecanas porque como señala la superficie es exigua. Utiliza activación física con vapor de agua mientras que en la presente investigación se utilizó la activación química; obtuvo carbón activado en polvo (CAP) en tanto aquí se ha obtenido carbón activado granular (CAG).

León M. (6) propone producir Carbón activado en Chile para venderle a Perú que si produce oro, en cambio en esta investigación se propone producir carbón activado en Perú para el mercado interno y contribuir a la reducción de las importaciones de dicho producto.



VIII. CONCLUSIONES

Se lograron cumplir con los objetivos propuestos en la investigación, de la siguiente manera:

a.- Las características de las cascaras de pecanas para poder ser utilizadas en el proceso de obtención de carbón activado son:

Variables	valores
Densidad aparente	0.72 gr/cc.
pH	8.1
Humedad	12%
Cenizas	4.62%

b.-Las variables del proceso de carbonización son:

Variables de la carbonización	Valores
Temperatura de carbonización	200°C
Tiempo de residencia	1 hr
Tamaño de partícula	Malla N° 18

c.- El agente activante más conveniente para el proceso es el ácido fosfórico a 40% de concentración

d.- Las características del carbón activado obtenido usando cascara de pecanas son las siguientes

Característica	Valor
Presentación	granular
Color	negro
Densidad aparente	0.58
pH	7.6
cenizas	4%
Humedad	4.5%
Tamaño de partícula	1mm a 2mm

e.- La evaluación en el laboratorio de la calidad del carbón activado obtenido a partir de cascara de pecanas, presenta una eficiencia casi similar al de un carbón activado comercial, cuando se aplica al tratamiento de una muestra de agua turbia con turbidez de 35.5 NTU.



IX. REFERENCIALES

- 1.-Avalos, H.(2010).*Perfil de inversión para la producción de Carbón activado*. Unac. Lima. Perú.
- 2.-Cabello,E. (2018). *Proceso de obtención de carbón activado para la adsorción de Cr (VI) a partir de huesos de aceituna*- Tesis de pregrado. UNAC. Facultad de Ingeniería Química. Lima. Perú.
- 3.-Fernandez, A. et al (2006). *Aspectos industriales de la producción de carbón y su aplicación en la mitigación ambiental*. Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales. La Habana. Cuba.
- 4.- Hernández Sampieri, R. et al. (2012). *Metodología de la Investigación Científica*, México. Editorial Mc Graw Hill. Quinta edición.
- 5.- Lazo, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de Carbón Activado a partir de la Cascara de coco*. Informe final de Investigación. UNAC- Lima. Perú.
6. León, M. (2012) *Planta de producción de carbón activado de cascaras de nueces para aplicación en hidrometalurgia del oro*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Químico. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.
- 7.-Lopez, L. (2013). *Activación de carbones para aplicación en almacenamiento de gas natural vehicular*. Tesis para optar el Grado de Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia .

- 8.-Luna, D. (2007). *Obtención de carbón activado a partir de cascara de coco*. UAM. Revista Contactos p 39-48. México.
- 9.- Namakforoosh, M. (2013). *Metodología de la Investigación*. 2da Edición. México. Editorial Limusa.
- 10.-Orozco, C. (2013). *Estudio de prefactibilidad para la creación de una planta de carbón activado a base de cascara de coco en Tumaco y sus alrededores*, Universidad ICESI Santiago de Cali. Colombia.
- 11.-Perry, R. y otros (2 000). *Manual del Ingeniero Químico*. Quinta edición, México. Ed. Mc Graw Hill.
12. Poleo, N. et al. (2010). *Estudio de diferentes activantes químicos en la obtención de carbón activado a partir de la cascara de Hymanea courbaril L. para la remoción de cadmio*. En Rev. Tec. Ing. Universidad del Zulia. Vol. 33, N° 1.
- 13.-Soto, J. (2007). *Evaluación técnica económica de una planta de carbón activado*. Universidad de Chile.
- 14.- Torres, C. (2005). *El proyecto de Investigación Científica*. 3ra Edición. Lima. Perú.
- 15.- Torres, C. (2007). *Metodología de la investigación científica*. 9na Edición. Lima. Perú.

Links consultados en internet

16. Colpas, F. et al. *Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum Officinarum*, Revista de Ciencias Agrícolas Volumen 34(2):62-72.

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a05.pdf>

artículo web consultado el 20 de diciembre del 2018

17.- FAO, *Métodos simples para la fabricación de carbón vegetal*.

Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/X5328S/X5328S05.htm>

artículo web consultado el 26 de julio del 2017

18.-Polo, A. (2012). *Planta piloto de activación de carbón*. Universidad de Sevilla. España

Disponible en:

http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/14830/mod_resource/content/0/pfc.carbon%20activo.pdf

Artículo web consultado el 30 de Julio 2017

19.- Universidad de Sevilla. *Manual del carbón activado.*

Disponible en:

<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Artículo web consultado el 30 de Octubre 2018

20.-Thomas, B. y Soney, G. (2015). *Production of Activated Carbon from Natural Sources.* En Trends in Green Chemistry. India.

Disponible en:

<http://green-chemistry.imedpub.com/production-of-activated-carbon-from-natural-sources.php?aid=7835>

Artículo web consultado el 30 de Octubre 2018

21.- Lenntech. *Que es turbidez?*

Disponible en:

<https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

Artículo web consultado el 30 de Diciembre 2018

22.Agraria.pe *Exportaciones de pecanas crecen 11%*

Disponible en:

<http://www.agraria.pe/noticias/exportaciones-peruanas-de-pecanas-crecen-11-por-año>

Artículo web consultado el 30 de Diciembre 2018

ANEXOS

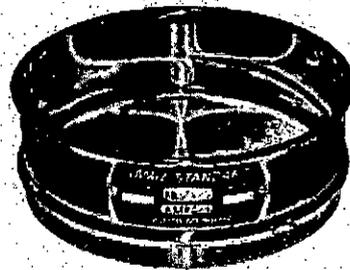
Anexo 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Proyecto: "PROCESAMIENTO DE CÁSCARAS DE PECANAS PARA LA OBTENCIÓN CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	VARIABLES
<p>PROBLEMA PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo debe ser el proceso para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de pecanas a nivel laboratorio?</p>	<p>OBJETIVO PRINCIPAL</p> <p>Establecer el proceso para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de pecanas a nivel laboratorio</p>	<p>HIPOTESIS PRINCIPAL</p> <p>Si se establecen las variables del proceso de carbonización y de activación de la cáscara de pecanas entonces se podrá obtener Carbón activado.</p>	<p>1.-TIPO DE INVESTIGACION Investigación Aplicada experimental.</p> <p>2.-NIVEL ; DESCRIPTIVO,</p> <p>3.- METODO Análisis Deductivo Inductivo, Estadístico</p> <p>4.- DISEÑO El experimento consiste en extraer el aceite de la pepita de uva quebranta</p> <p>5.-UNIVERSO El universo está conformado por la cantidad de cáscara de pecanas que al ser abundante constituye un universo infinito por tener mas 100 00 unidades de muestreo. La unidad muestral es el gr, por trabajarse en laboratorio.</p> <p>6.- MUESTRA El tamaño de la muestra se calculó en 384 gr. a nivel laboratorio .</p> <p>7.- TECNICAS Se realizara una Observación experimental</p> <p>8.- INSTRUMENTOS Normas técnicas para el control de calidad Guía para la experimentación.</p>	<p>LA VARIABLE DEPENDIENTE :</p> <p>Y= El producto, Carbón activado de cáscara de pecanas.</p> <p>INDICADORES:</p> <p>Y1= Capacidad de adsorción Y2= Densidad Y3 = Tamaño de partícula</p> <p>LAS VARIABLES INDEPENDIENTES :</p> <p>1.- X= El proceso de carbonización:</p> <p>INDICADORES:</p> <p>X1=Temperatura X2=Tiempo de residencia</p> <p>2.- W= Proceso de activación</p> <p>INDICADORES</p> <p>W1 = Temperatura W2 = Tiempo de residencia W3=Cconcentración del agente activante.</p>
<p>PROBLEMAS SECUNDARIOS</p> <p>¿Cuáles deben ser las características de las cáscaras de pecanas para poder ingresar al proceso?</p> <p>¿Cuáles son las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas?</p> <p>¿Cuál es el agente de activación conveniente para el proceso?</p> <p>¿Cuáles son las características del Carbón Activado obtenido de cáscaras de pecanas?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS O SECUNDARIOS</p> <p>a.-Caracterizar la cáscara de pecanas para el proceso</p> <p>b.- Establecer las variables del proceso de carbonización de las cáscaras de pecanas</p> <p>c.- Determinar el agente de activación más conveniente para el proceso</p> <p>d.- Caracterizar el Carbón Activado obtenido usando cáscaras de pecanas</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>a.- Si se caracteriza las cáscaras de pecanas para el proceso de carbonización entonces se podrá obtener carbón activado.</p> <p>b.- Si se precisan las variables del proceso, entonces se podrá obtener el Carbón activado.</p> <p>c.- Si se determina el agente de activación más conveniente, se podrá obtener el Carbón activado.</p> <p>d.- Si se aplican las normas técnicas se podrá determinar la calidad del Carbón activado de cáscaras de pecanas.</p>		

Anexo 2. TAMICES ASTM- E11

TAMICES



Malla con marco de acero inoxidable de 8 pulgadas de diámetro por 2 Pulgadas de altura con malla de acero inoxidable que cumple con la norma ASTM E11.

Malla No. 4	Apertura: 4,75 mm
Malla No. 5	Apertura: 4 mm
Malla No. 6	Apertura: 3,35 mm
Malla No. 8	Apertura: 2,36 mm
Malla No. 10	Apertura: 2 mm
Malla No. 12	Apertura: 1,7 mm
Malla No. 14	Apertura: 1,4 mm
Malla No. 16	Apertura: 1,18 mm
Malla No. 18	Apertura: 1 mm
Malla No. 20	Apertura: 850 μ m
Malla No. 25	Apertura: 710 μ m
Malla No. 30	Apertura: 600 μ m
Malla No. 35	Apertura: 500 μ m
Malla No. 40	Apertura: 425 μ m
Malla No. 50	Apertura: 300 μ m
Malla No. 60	Apertura: 250 μ m
Malla No. 70	Apertura: 212 μ m
Malla No. 80	Apertura: 180 μ m
Malla No. 100	Apertura: 150 μ m
Malla No. 120	Apertura: 125 μ m
Malla No. 140	Apertura: 106 μ m
Malla No. 170	Apertura: 90 μ m
Malla No. 200	Apertura: 75 μ m
Malla No. 230	Apertura: 63 μ m
Malla No. 270	Apertura: 53 μ m

Fuente:

https://www.myminstrumentostecnicos.com/wenv/file_data.php?id=2054

