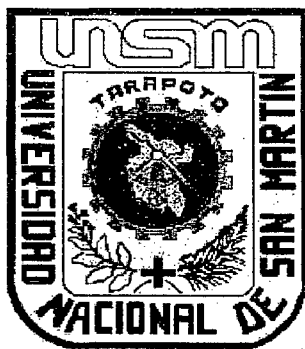


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**“Determinación de la Eficiencia del Carbón Activado Obtenido
Experimentalmente a Partir de Residuos
Agrícolas del Alto Mayo”**

TESIS

PARA OBTENER TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

Autor : Bach. Yeltsin Richelly Terrones Vásquez

Asesor : Ing. MSc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Co- Asesor : Lic. MSc. Fabián Centurión Tapia

N° DE REGISTRO: 06052112

**MOYOBAMBA – PERÚ
2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**“Determinación de la Eficiencia del Carbón Activado Obtenido
Experimentalmente a Partir de Residuos
Agrícolas del Alto Mayo”**

TESIS

PARA OBTENER TITULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

Autor : Bach. Yeltsin Richelly Terrones Vásquez

Asesor : Ing. MSc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Co- Asesor : Lic. MSc. Fabián Centurión Tapia

N° DE REGISTRO: 06052112

MOYOBAMBA – PERÚ

2014



ACTA DE SUSTENTACION PARA OBTENER EL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las Diez de la Mañana del día **Jueves 20 de Marzo del Dos Mil Catorce**, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA	PRESIDENTE
Ing. MSc. MANUEL RAMIREZ NAVARRO	SECRETARIO
Ing. RUBEN RUIZ VALLES	MIEMBRO
Ing. MSc. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA	ASESOR

Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado **“Determinación de la Eficiencia del Carbón Activado Obtenido Experimentalmente a Partir de Residuos Agrícolas del Alto Mayo”**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Ambiental Yeltsin Richelly Terrones Vásquez según **Resolución de Consejo de Facultad N° 0014-2012-UNSM-T-FE-CF** de fecha **08 de Agosto del 2012**.

Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO y nota QUINCE (15).

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 12:00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.



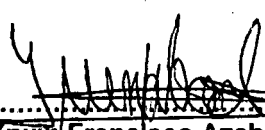
 Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera
 Presidente



 Ing. M.Sc. Manuel Ramirez Navarro
 Secretario



 Ing. Ruben Ruiz Valles
 Miembro



 Ing. MSc. Yrwin Francisco Azabache Liza
 Asesor

DEDICATORIA

A mi señor, Jesús, quien día a día me llena de fe, fortaleza, esperanza y salud para concluir con este trabajo.

A mis padres Juan Terrones y Egma Vásquez, por su apoyo incondicional, su comprensión y ayuda para la realización de este proyecto.

A mis Hermanas Jessica y Juanita, por el aliento que me brindan y porque son mi motor y motivo de seguir adelante.

Yeltsin Richelly Terrones Vásquez

AGRADECIMIENTO.

La costumbre de incluir un epígrafe de agradecimientos al finalizar un trabajo escrito no se entiende completamente hasta que se comienza a vislumbrar la conclusión de la tesis para la obtención del título profesional. Desde que se comienza una tesis se sueña con el momento de comenzar a escribir los agradecimientos, ya que esto supone que se está culminando el trabajo de los últimos años. Ahora que ha llegado este momento, la verdad es que no sé muy bien por dónde empezar. Al echar la vista atrás, tengo la suerte de no ver nada más que personas a las que tengo mucho que agradecer, quisiera que estas palabras no sean consideradas como una simple formalidad para cumplir con la costumbre, sino el resultado de un profundo sentimiento de gratitud y reconocimiento hacia todas aquellas personas que me han ayudado y que han hecho posible la finalización de esta tesis.

En el campo de los agradecimientos institucionales quiero agradecer a la Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, que me ha acogido durante los últimos años y más concretamente a la Facultad de Ecología, que me ha permitido realizar análisis y en cuyo laboratorio se han realizado la gran mayoría de los experimentos que contiene esta tesis. Quiero agradecer al Blgo. Alfredo Díaz Visitación, encargado del laboratorio de Biología y Química, por haber brindado la viabilidad de uso del laboratorio.

En el terreno personal, en primer lugar quiero dejar constancia de mi agradecimiento a mi Asesor el Ing. MSc. Yrwin Francisco Azabache Liza de igual manera a mi Co-asesor el Lic. MSc. Fabián Centurión Tapia. Mi gratitud hacia ellos, es difícilmente expresable únicamente en unas pocas palabras y la deuda que he contraído con ellos a lo largo de este, es inconmensurable. Para mí es un honor y una enorme satisfacción que figuren como mis asesores de tesis. Muchas gracias por vuestra entrega, apoyo, paciencia, dedicación y por la confianza que me habéis otorgado a lo largo estos años.

A mis compañeros de la universidad Carlos Altamirano, Alonso Cabrera, Samuel Cieza, Francie Flores, Luis Liñan, grandes compañeros y amigos, con quienes he compartido alegrías, disgustos, discusiones, comidas e infinidad de conversaciones. Todos ellos han contribuido activamente en la realización de esta tesis. Nos hemos dado ánimos por el camino y de esta forma el desarrollo de la tesis se ha hecho mucho más factible.

A mis padres, mis hermanas, mis tíos(as) y abuelos(as), que han llenado de amor mi vida y han hecho de mí la persona que hoy soy, me enseñaron el valor de las cosas y la perseverancia en el trabajo. Además me ofrecieron todo su apoyo tanto en los difíciles años que he pasado como estudiante, así como los recientes meses de tesis. Sirva esta tesis como pequeño homenaje a todos los sacrificios que han realizado durante toda su vida para hacernos las cosas más fáciles.

Finalmente, pero no menos importante agradezco a Dios todopoderoso, por haberme protegido y brindado las fuerzas necesarias y haberme colmado de ánimos para seguir adelante y para concluir con la tesis.

Y.R.T.V

Moyobamba, Marzo del 2014

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I:	
1.1.Planteamiento del problema	01
1.2. Objetivos	02
1.3.Fundamentación teórica	03
1.3.1. Antecedentes de la investigación	03
1.3.2. Bases teóricas	06
1.3.2.1. Carbón activado	06
1.3.2.2. Estructura del carbón activado	09
1.3.2.3. Características del carbón activado	11
1.3.2.4. Propiedades del carbón activado	13
1.3.2.5. Importancia de la textura porosa de los carbones activos	14
1.3.2.6. Diferencia entre adsorción y absorción	15
1.3.2.7. Descripción de adsorción del carbón activado	16
1.3.2.8. Principales aplicaciones del carbón activado	16
a) En fase líquida.	16
b) En fase gas	20
1.3.2.9. Aplicación del carbón activado en la industria del agua	21
1.3.2.10. Aplicación del carbón activado en el aire	28
1.3.2.11. Obtención del carbón activado	29
1.3.3. Definición de términos	35
1.4.Variables	37
1.5.Hipótesis	37

CAPITULO II:

2.1. Tipo de investigación	38
2.2. Diseño de investigación	38
2.3. Población y muestra	39
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	40

CAPITULO III:

3.1 Resultados	52
3.1.1 Análisis de las propiedades físico-químicas de la materia prima	52
3.1.1.1. Determinación de la humedad	52
3.1.1.2. Determinación del carbono fijo	53
3.1.1.3. Determinación de las cenizas totales	53
3.1.1.4. Determinación de la porosidad	54
3.1.1.5. Determinación de la materia volátil.	55
3.1.2. Análisis de las variables que influyen en la etapa de carbonización - activación de las muestras.	56
3.1.2.1. Variación de la temperatura de carbonización-activación	56
3.1.2.2. Variación del tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno	61
3.1.2.3. Variación de los gramos de carbón activado agregados a la solución de azul de metileno	64
3.1.2.4. Porcentaje promedio de adsorción de la solución de azul de metileno.	67
3.1.2.5. Comparación del carbón activado comercial vs el carbón activado experimental.	70
3.1.2.6. Análisis estadístico con la prueba t-student para identificar si existe significancia durante la variación de la temperatura de carbonización-activación para cada una de las muestras de cascaras de coco, café y cacao.	73

3.2.	Discusiones	83
3.3.	Conclusiones	84
3.4.	Recomendaciones	85
3.5.	Referencias bibliográficas	86
	Anexos	90

RELACIÓN DE ANEXOS

- ANEXO N° 01:** Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación de la temperatura de carbonización-activación. 90
- ANEXO N° 02:** Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación del tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución. Considerando las temperaturas óptimas. 91
- ANEXO N° 03:** Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación del peso del carbón activado. Considerando las temperaturas óptimas. 92
- ANEXO N° 04:** Panel Fotográfico 93

RELACIÓN DE CUADROS

CUADRO N°01: Principales aplicaciones del carbón activado en fase líquida.	18
CUADRO N°02: compuestos con muy alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activado.	25
CUADRO N°03: Compuestos con alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activo:	26
CUADRO N°04: Compuestos con probabilidad moderada de ser eliminados por el carbón activo	27
CUADRO N°05: Compuestos para cuya eliminación no es probable que el carbón activo sea efectivo. Sin embargo sí lo es en ciertos casos en los que el flujo o la concentración del compuesto son muy bajos:	27
CUADRO N°06: Efectos de la temperatura en la pirolisis	32
CUADRO N°07: % de humedad de la materia prima	52
CUADRO N°08: % de carbono fijo de la materia prima	53
CUADRO N°09: % de cenizas totales de la materia prima	54
CUADRO N°10: % de porosidad de la materia prima	55
CUADRO N°11: % de materia volátil de la materia prima	55
CUADRO N°12: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco.	56
CUADRO N°13: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de café	58
CUADRO N°14: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao.	59
CUADRO N°15: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco.	61
CUADRO N°16: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de café.	62
CUADRO N°17: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao	63
CUADRO N°18: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco.	64

CUADRO N°19: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café.	65
CUADRO N°20: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao.	66
CUADRO N°21: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco, café y cacao.	67
CUADRO N°22: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco, café y cacao.	69
CUADRO N°23: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado experimental y carbón activado comercial con variación del tiempo de contacto.	70
CUADRO N°24: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado experimental y carbón activado comercial con variación de los gramos del carbón activado.	72
CUADRO N° 25: Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) para datos de carbón activado de cascara de coco.	73
CUADRO N° 26: Obtención de suma de cuadrados del total, suma de cuadrados del error, cuadrados medios	74
CUADRO N°27: Análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de coco	74
CUADRO N°28: Análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de café.	77
CUADRO N°29: Análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de cacao	80

RELACION DE GRAFICOS

GRAFICO N° 01: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco haciendo variar la temperatura.	57
GRAFICO N° 02: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café haciendo variar la temperatura.	58
GRAFICO N° 03: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao haciendo variar la temperatura.	60
GRAFICO N° 04: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de coco variando el tiempo de contacto.	61
GRAFICO N° 05: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café con variación del tiempo de contacto.	62
GRAFICO N° 06: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao con variación del tiempo de contacto.	63
GRAFICO N° 07: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de coco con variación de los gramos de carbón activado	64
GRAFICO N° 08: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café con variación de los gramos de carbón activado	65
GRAFICO N° 09: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao con variación de los gramos de carbón activado.	66
GRAFICO N° 10: Porcentaje de adsorción del carbón activado (cascaras de coco, café y cacao) con la solución de azul de metileno con variación del tiempo de contacto.	68
GRAFICO N° 11: Porcentaje de adsorción del carbón activado (cascaras de coco, café y cacao) con la solución de azul de metileno con variación del peso del carbón activado.	69
GRAFICO N° 12: Porcentaje de adsorción del carbón activado comercial VS carbón activado experimental en función al tiempo de contacto.	71
GRAFICO N° 13: Porcentaje de adsorción carbón activado comercial VS carbón activado experimental en función al peso.	72

RELACION DE FIGURAS

FIGURA N° 01: Representación esquemática de la estructura del carbón activado formado por capas aleatorias de carbono (izquierda) y de poros en un carbón activado (derecha). 10

FIGURA N° 02: Representación esquemática del sistema poroso de un carbón y clasificación de los poros según su tamaño (d = dimensión característica del poro). Los círculos representan las moléculas del adsorbato. 15

FIGURA N° 03: Diagrama de flujo de la obtención de carbón activado. 44

RESUMEN

El presente trabajo de tesis titulado **“Determinación de la eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo”**, se ha realizado con la finalidad de obtener carbón activado y de esta manera dar un valor agregado a los residuos agrícolas, ya que la materia prima utilizada para la obtención del producto final son: cascaras de coco, café y cacao.

El proyecto desarrollado fue de tipo explicativo, en donde se usaron equipos y materiales de los que dispone la Facultad de Ecología-Laboratorio de Biología y Química. El trabajo tiene como objetivo: Determinar la eficiencia del Carbón Activado mediante procesos de adsorción de la solución de Azul de Metileno. Para ello se hizo inicialmente el análisis de las características físico-químicas de las muestras (% de humedad, % de carbono fijo, % de cenizas totales, % de porosidad y % de materia volátil).

Además se realizaron análisis en los cuales se evaluaron las variables que influyen en la obtención del carbón activado y durante el proceso de adsorción. Dentro de las variables se consideró la temperatura de carbonización-activación de la muestra, variándose desde 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C. Además como análisis extras en la etapa de adsorción, se ha variado el tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno con tiempos de 1 min, 1:30 min, 2 min, 2:30 min, 3 min y finalmente se hizo variar los gramos de carbón activado agregados a la solución de azul de metileno con pesos de 0.5 gr, 0.75 gr, 1.0 gr, 1.25 gr, 1.5 gr.

Finalmente se concluye que durante el proceso de adsorción se determinó que la eficiencia del carbón activado de la cascara de coco es a una temperatura de 700°C (85.34%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 1:30 min (85%) y agregando 0.5 gr (85.6%). La eficiencia del carbón activado de la cascara de café es a una temperatura de 650°C (89.86%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 2 min (76.9%) y agregando 1 gr (85.6%). La eficiencia del carbón activado de la cascara de cacao es a una temperatura de 650°C (96.32%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 1 min (88.1%) y agregando 0.5 gr (89.4%).

SUMMARY

The present thesis work entitled " Efficiency determination of the of the activated carbon obtained experimentally from the Alto Mayo agricultural residues", it has been realized by the purpose of obtaining activated coal and hereby to give a value added to the agricultural residues, since the raw material used for the obtaining of the final product they are: coconut rinds, coffee and cocoa.

The project developed was explanatory type, where teams were used and materials available to the ecology faculty - Biology and Chemistry Laboratory. This work has as objective: to determine the efficiency of the activated carbon adsorption processes by means of the methylene blue solution. For it the analysis of the characteristics became initially physicist - chemistry of the samples (dampness %, fixed carbon %, total ashes %, porosity % and volatile matter %).

In addition analysis was carried out in the evaluated variables that influence the obtaining of the activated carbon and during the adsorption process. Inside the variables it was considered to be the carbonization temperature - activation of the sample, being changed from 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C. In addition as analysis extras in the adsorption stage, have been changed the contact time of the coal activated with the solution of blue of methylene by times of 1 min, 1:30 min, min, 2:30 min, 3 min and finally made to him change the grams of activated coal added to the blue solution of methylene with weight of 0.5 gr, 0.75 gr, gr, 1.25 gr, 1.5 gr.

Finally, it is concluded that during the adsorption process is determined that the efficiency of the activated carbon of the coconut husk is at a temperature of 700 °C (85.34 %), time of contact of the activated carbon with the methylene blue solution of 1:30 min (85 %) and adding 0.5 gr (85.6 %). The efficiency of the activated carbon from the coffee peel is at a temperature of 650 °C (89.86 %), time of contact of the activated carbon with the methylene blue solution for 2 min (76.9 %) and adding 1 gr (85.6 %). The efficiency of the activated carbon from the peel of cocoa is at a temperature of 650 °C (96.32 %), time of contact of the activated carbon with the methylene blue solution for 1 min (88.1 %) and adding 0.5 gr (89.4 %).



CAPITULO I:

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Alto Mayo existen cultivos de coco, café, cacao, entre otros. Esto trae como consecuencia que la generación de residuos agrícolas sea abundante y como consecuencia se genera un impacto ambiental, además de ser el hábitat apropiado para la proliferación de vectores de diferentes plagas o enfermedades.

En los cultivos de café, mediante un proceso mecánico se separa la cascara de la pepa interior. Las cascaras obtenidas no tienen casi ninguna aplicación y por eso las arrojan, a los ríos, arroyos, a tierras no cultivadas o las queman. La contaminación por las cascaras de café es tan considerable como la producida por las de coco y cacao, aunque no se puede ver mucho este impacto, porque la producción de café generalmente se concentra en el campo agrícola o en fincas.

El carbón activado es un adsorbente preparado a partir de materiales carbonosos que se caracteriza por poseer una alta superficie interna y una buena distribución de poros, propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas. La preparación de este tipo de material se lleva a cabo a través de procesos físicos o químicos, mediante la interacción con gases o la adición de químicos, respectivamente. En este sentido, conocedores de la gran importancia que posee el Carbón Activado, para citar los resultados tangibles y potencializar los resultados que se obtendrán, los cuales nos ayudarán a determinar la eficiencia del carbón activado, se formulará el siguiente problema:

¿Cuál es la eficiencia del Carbón Activado, obtenido experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo?

1.2 OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL:

- Determinar la eficiencia del Carbón Activado mediante procesos de adsorción de la solución de Azul de Metileno.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Obtener carbón activado a partir de la cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao.
- Realizar análisis de las características físico-químicas de las muestras de cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao.
- Analizar las variables que influyen en la preparación y activación del carbón.
- Evaluar las variables que influyen durante el proceso de adsorción de la solución de Azul de Metileno.

1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En esta oportunidad quiero dar a conocer que los estudios en lo que concierne al tema de carbón activado, ya no se encuentran nulos, por lo que hoy en día existen trabajos de investigación a nivel local nacional e internacional, pero es importante recalcar que en su mayoría de investigaciones que se reportan, se han realizado a nivel internacional.

I. A nivel internacional

- **Bastidas Marlon, Buelvas Lina M., Márquez María I. y Rodríguez Kellys.** “Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia”. (Colombia, 2009). Concluyó que Los carbones bituminosos del Departamento del Cesar al ser activados desarrollaron áreas superficiales entre 44 y 218 m²/g, el manto 240 activado química y físicamente, reportó valores de 57 y 218 m²/g, respectivamente. Con todo esto, el manto 240 sometido a activación química presentó el mejor resultado en la prueba de adsorción de fenol, evidenciando que el área superficial del material adsorbente no es el factor determinante en la adsorción de fenol sobre los carbones activados.
- **Fernández Rodríguez Aramis, Castillo Eguis Casto Rafael.** “Aspectos industriales de la producción de carbón activado y sus aplicaciones en la mitigación ambiental”. (La Habana-Cuba, 2006). Concluyó afirmando que en Cuba existen condiciones para la producción de carbón activado a nivel industrial. De acuerdo con ello, la producción en Cuba de este material, es de altos precios y demanda creciente en el ámbito mundial, deberá estar enfocada, como estrategia

fundamental, hacia el sector del mercado, tanto nacional como internacional, vinculado con la protección del medio ambiente.

- **García Matamoros Jorge Bedia.** “Catalizadores Carbonosos obtenidos mediante Activación Química de Residuos Lignocelulósicos”. (MÁLAGA, 2008). En donde se concluyó que La activación química de residuos lignocelulósicos con ácido fosfórico produce carbones con una estructura porosa bien desarrollada cuyas características dependen fundamentalmente de la relación de impregnación. Las relaciones de impregnación bajas producen carbones con una estructura predominantemente microporosa, mientras que relaciones de impregnación altas producen carbones con una porosidad ancha y una importante contribución de microporos anchos y mesoporos.
- **Luna Donaciano, González Armando, Gordon Manuel y Martín Nancy.** “Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco”. (México, 2007). El proyecto es muy ambicioso dado que se está proponiendo un nuevo tipo de agroindustria que utilice a una materia prima nacional (cascara de coco) considerada basura, transformándola en una industria sustentable de un material con mayor valor agregado (carbón activado), que genere ingresos económicos a las personas que viven del coco, nuevos empleos y que ayude a reducir la importación de este producto.
- **Tomalá Andrade Cesar Enrique.** “Análisis de un sistema de adsorción y desorción de oro de carbón activado y su electrodeposición”. (Guayaquil-Ecuador, 1998). Donde se concluyó afirmando que mediante el incremento de la dosis de carbón, se incrementa la velocidad de adsorción del oro sobre carbón activado.

II. A nivel nacional

- **Reyna Figueroa Juan José.** “Adsorción de cromo presente en los efluentes de las curtiembres empleando carbón activado”. (Trujillo-Perú, 1996). Trabajo de investigación en el que se concluyó que la adsorción del cromo está influenciada por la temperatura de adsorción y por el tamaño de poro del adsorbente.
- **Paredes Doig Ana Lucia.** “Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparado a partir de la cascara de castaña”. (Lima, 2011). En el cual a partir de los resultados obtenidos, se concluyó que Se sintetizaron carbones activados por activación química de cáscara de castaña obteniéndose materiales con micro y meso porosidad y con áreas superficiales entre 1176-1434 m²/g y al incrementar la razón de impregnación y la temperatura de activación en los carbones preparados, aumentó su grado de porosidad.

III. A nivel local

- **Bardález Viena A.** “obtención química de carbón activado a partir del endocarpo de coco (*Coccus nucifera*) en la región San Martín”. En donde se concluyó que los tratamientos que mejor decoloran para las variedades de coco enano y gigante es utilizando ácido fosfórico a 50 ppm, sobresaliendo en un 0.6% más eficiente respecto al otro agente activante (ácido sulfúrico), a la misma concentración.

1.3.2 BASES TEÓRICAS

1.3.2.1. CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un material muy singular que posee una gran capacidad de adsorción de numerosos compuestos tanto en fase gas como en fase líquida. En la actualidad ocupa un lugar primordial en su uso para descontaminación ya que es muy eficaz.

El carbón activado es un término general que se aplica a toda una serie de productos derivados de materiales carbonosos; es un material amorfo que presenta un área superficial excepcionalmente alta y se caracteriza por tener una proporción de microporos (poros menores que 2 nanómetros). Estas características le confieren propiedades adsorbentes excepcionales que pueden ser aprovechadas en diferentes áreas. La preparación de carbón activado se realiza a partir de materia orgánica en su mayoría de origen vegetal, por carbonización o por acción de sustancias químicas (agentes químicos). *(Rodríguez, F. 2005).*

El carbón activado es un adsorbente que presenta un elevado y variado grado de porosidad, una considerable superficie interna y un cierto contenido de grupos químicos superficiales; estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, utilizadas en aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida. El carbón activado es un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de purificación en fase gaseosa y líquida. *(Milan Smisek, 2004)*

Actualmente el carbón activado puede ser producido a partir de cualquier material rico en carbono, pero sus propiedades estarán muy influenciadas por la naturaleza de la materia prima con que es producido y por la calidad del proceso de activación. Entre las principales fuentes se destacan: los carbones minerales, el cascarón del coco, la cascarilla de arroz, cascaras de café, cascaras de cacao, las maderas, el bagazo, etc. (Rodríguez, F. 2005).

Una de las ventajas del carbón activado es su uso para retirar sustancias altamente tóxicas que se encuentran a muy bajas concentraciones. Para aplicaciones en fase líquida, los carbones activados más utilizados son los pulverizados; y sus usos más frecuentes son: decoloración y purificación de azúcares, procesos químicos, minería (extracción de oro), purificación de diferentes materiales, farmacia, purificación del agua (tanto para la potabilización a nivel público como doméstico), medicina, tratamiento de aguas residuales, máscaras antigás, filtros de purificación y controladores de emisiones de automóviles, entre otros muchos usos. Los residuos de madera, las cáscaras de coco y frutos secos, así como las semillas de algunas frutas junto con los carbones minerales y el coque de petróleo, son los precursores más usados. La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. (Moreno. 2004).

Los residuos agrarios, son los residuos generados en el entorno natural y lo integran un grupo heterogéneo de productos compuestos raíces, cascaras, hojas o frutos que se descomponen y se integran en el suelo mejorando las propiedades agronómicas del suelo cultivado. De igual manera se producen unos residuos que no se aprovechan en la zona en que son generados, debido a su estructura y composición., que es preciso separar para obtener el fruto, o el propio producto agrícola. (Montaño, Patiño. 2005).

Si analizamos los residuos que se producen en las diferentes agroindustrias, encontramos, por ejemplo, que en la industria cervecera se utiliza solamente el 8% de los nutrientes del grano, en las industrias de palma y de la celulosa se utiliza menos del 9% y 30%, respectivamente de la biomasa producida, en las plantaciones de cacao principalmente se usan las semillas y las cascara son eliminados. Para el caso de la industria del café, solamente se utiliza el 9.5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 90.5% queda en forma de residuo. (*Mont, Ele. 2003*)

A partir de la cáscara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación. Por ejemplo, activando la cáscara de coco a alta temperatura, en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofílico (afinidad con el agua), microporoso (con ultramicroporos de diámetros < 0.7 nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (con mesoporos > 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida. (*Rodríguez, F. 2005*)

Además, de obtener una amplia distribución de poros, el carbón activado obtenido de la cáscara de coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera u otros residuos. 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. (*Lehner, R. 2004.*)

1.3.2.2. ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO

La base del carbón activado es el carbono y posee una porosidad sumamente desarrollada formada en la etapa de activación. Esta porosidad o textura y sus propiedades químicas dependen de la materia prima (precursor) y del proceso de preparación, lo cual permite obtener carbones de características muy variadas y por ende diversas aplicaciones. La microestructura del carbón activado está formada por un conjunto irregular de láminas de grafeno ordenadas aleatoriamente y los espacios interlaminares constituyen la porosidad, que fundamentalmente corresponde a microporos.

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

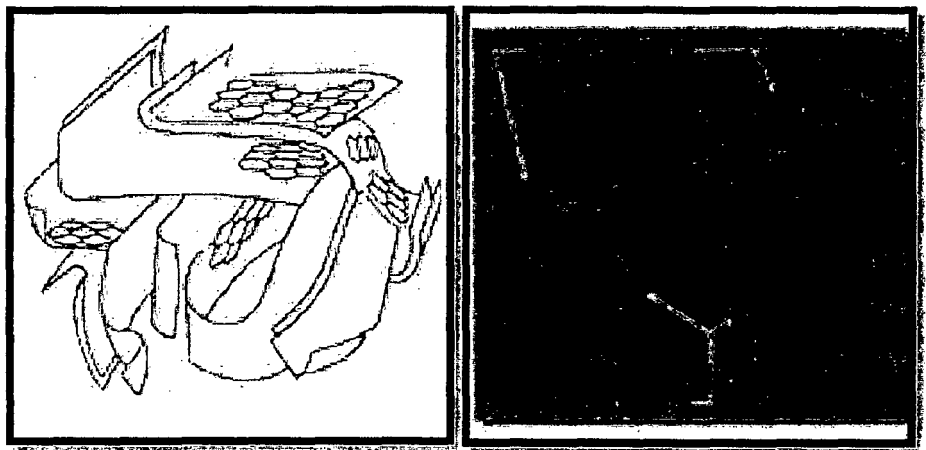
Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son de transporte y tienen un rango muy amplio de tamaño, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista, y que corresponde a 0.1mm. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. (*Lehner, R. 2004.*)

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Mientras que los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores. (Moreno. 2004).

Por lo tanto la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener).

FIGURA N° 01: Representación esquemática de la estructura del carbón activado formado por capas aleatorias de carbono (izquierda) y de poros en un carbón activado (derecha).



Fuente: Martín, J.M. 2000.

1.3.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención.

La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante.

En general, los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. Por otra parte, el carbón activado tiene escasa especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente “universal”. *(Rodríguez, F. 2005)*

No obstante, por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes, etc.), mientras que sustancias como nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no son retenidas por el carbón a temperatura ambiente. Además el carbón activado es usado en la eliminación de contaminantes procedentes de sectores muy variados, tanto en fase gas (sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, vapores de gasolinas, etc.) como líquida (aguas potables, industriales y residuales, tintorerías, etc.). *(Rodríguez, F. 2005)*

A. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

A.1.- Composición Química

El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y en su granulometría.

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. (*Lehner, R. 2004.*)

A.2.- Estructura Física

El carbón activo posee una estructura micro-cristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada.

De acuerdo con la terminología de la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemists*), 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). (*Leyva, R. 2007*).

1.3.2.4. PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO

Desde tiempos remotos los egipcios descubrieron que el carbón de madera podría utilizarse para purificar otros productos e incluso usarse con fines medicinales. En la actualidad, el carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual lo podemos encontrar en aplicaciones tan sencillas como desde filtros de refrigerador hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos. *(Lehner, R. 2004)*

El carbón activado actúa como adsorbente debido a un desequilibrio de fuerzas en la superficie de las placas grafiticas. Este desequilibrio provoca atracciones intermoleculares que causan la condensación del adsorbato gaseoso o la precipitación del adsorbato de la solución. El carbón activado, adsorberá una molécula con mayor fuerza si existen dos placas grafiticas lo suficientemente cercanas a la misma como para atraerla. Una molécula con mayor peso molecular se retendrá con mayor fuerza, siempre y cuando su tamaño le permita caber entre las placas grafiticas. *(Montaño, Patiño. 2005)*

El carbón activado adsorbe bien todo tipo de moléculas orgánicas. No así las inorgánicas, excepto algunas como los molibdatos, los cianuros de oro, el di-cianuro de cobre, el cloruro de mercurio, el yodo y las sales de plata, entre otros. La mayoría de las moléculas orgánicas que tienen ligados átomos de cloro, bromo o yodo se adsorben con mayor fuerza. *(Moreno, C. 2004).*

1.3.2.5. IMPORTANCIA DE LA TEXTURA POROSA DE LOS CARBONES ACTIVOS

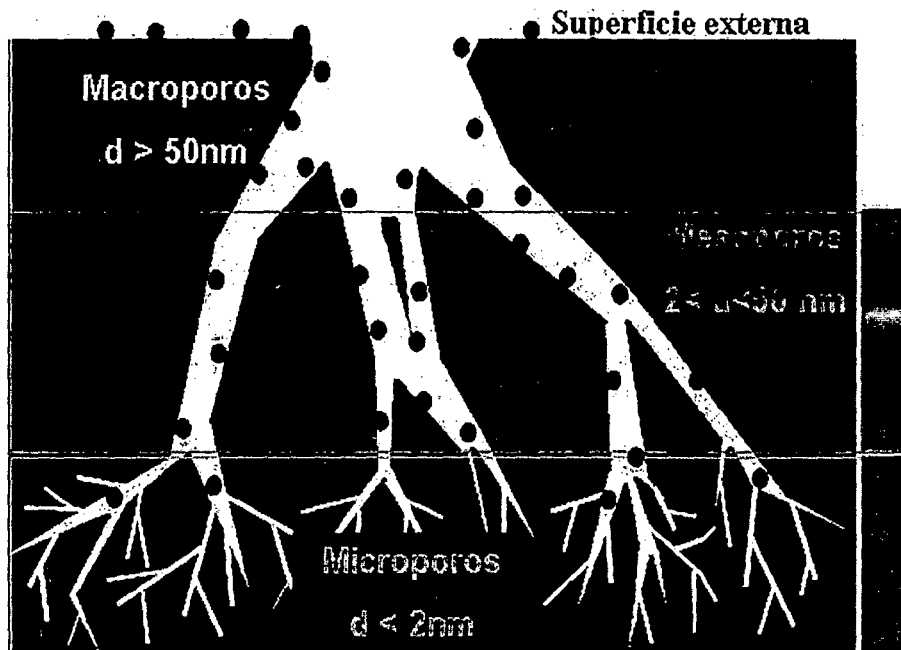
Los carbones activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de 1000 m²/g e incluso llegar a los 3000 m²/g. Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica.

En principio, cabría pensar que a mayor superficie específica, mejores serán las características como adsorbente del carbón activado, puesto que también deberíamos tener mayor número de espacios para adsorber el adsorbato. Así, dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato, puede suceder que éstas sean mayores que algunos de los poros, y por tanto, no toda la superficie sea accesible a dichas moléculas. (*Moreno, C. 2004*).

En numerosas ocasiones también se ha observado que determinados compuestos se adsorben muy bien en un cierto carbón activado, mientras que la adsorción es mucho menor en otros carbones activados, a pesar de poseer éstos una textura porosa, por ejemplo, una distribución de tamaños de poros y superficie específica, muy similar.

Esto se debe al importante hecho de que: una elevada superficie específica, con una buena distribución de tamaños de poros que la hagan fácilmente accesible al adsorbato, es una condición necesaria, pero no suficiente, para optimizar la preparación de un carbón activado. (*Mont, Ele. 2003*).

FIGURA N° 02: Representación esquemática del sistema poroso de un carbón y clasificación de los poros según su tamaño (d = dimensión característica del poro). Los círculos representan las moléculas del adsorbato.



Fuente: Martín, J.M. 2000.

1.3.2.6. DIFERENCIA ENTRE ADSORCIÓN Y ABSORCIÓN

La **adsorción**, consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas.

Cuando la sustancia es absorbida es un medio diferente entonces se conoce como **absorción**. Cuando un gas es atraído dentro de una solución se habla de absorción. (*Lehner, R. 2004*)

1.3.2.7. DESCRIPCION DE ADSORCION DEL CARBÓN ACTIVADO

Las moléculas en fase gas o de líquido serán unidas físicamente a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo. El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro transporte: movimiento del material orgánico a través del sistema de macroporos del carbón activado (macroporos > 50 nm).
- Micro transporte: movimiento del material orgánico a través del sistema de microporos del carbón activado (microporos < 2 nm; mesoporos 2-50 nm).
- Adsorción: adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activado en los microporos y mesoporos del carbón activo.

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo. (*Lehner, R. 2004*)

1.3.2.8. PRINCIPALES APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en polvo como granular en medio líquido y gaseoso.

A) EN FASE LIQUIDA.

Se utiliza el carbón activado en polvo y granular. Entre las aplicaciones se encuentran la eliminación de:

- Eliminación de impurezas que causan color, olor y sabor en el agua potable (mejora de las propiedades organolépticas en el agua), además ayuda en la potabilización del agua superficial o de pozo.
- Decoloración de líquidos de procesos alimenticios (jugos, vinos, zumos, vinagre, etc.), líquidos de procesos químicos (solventes, fármacos, etc.).
- Color, compuestos orgánicos tóxicos y metales ligados a moléculas orgánicas en aguas residuales de origen municipal o industrial.
- Precursores de color que pueden no tener color original, pero que lo causan en una etapa posterior del proceso o después de que el producto se ha vendido (ejemplo: glucosa de maíz).
- Contaminantes que interfieren en la cristalización o en el rendimiento de la formación de cristales (ejemplo: industria química y azucarera).
- Compuestos que causan espuma o procesos que la causen como aireación, agitación. Impurezas que causan turbidez (ejemplo: ginebra, ron y otros destilados).
- Productos de alta pureza (ejemplo: producción de ácido ascórbico utilizado en la fabricación de la vitamina C).
- Trazas de iones metálicos, que se hacen reaccionar con un reactivo orgánico para adsorberlos posteriormente.

- Cloro, cloraminas u ozono del agua, se eliminan por reacción química en la superficie del carbón activado.
- Decoloración de aguas para su uso en la fabricación de bebidas refrescantes.
- Tratamiento de aguas residuales (Tratamiento terciario de aguas residuales.)
- Decoloración y mejora de bebidas alcohólicas (vinos, rones).
- Purificación de grasas y aceites comestibles.
- Purificación de proteínas, como medicamento en la desintoxicación de personas, purificación de plasma sanguíneo,
- Otras aplicaciones que consisten en la eliminación de son: la concentración de un material valioso contenido en una solución diluida, por medio de la adsorción y con la posterior recuperación de dicho material (ejemplo: recuperación de oro y plata). (*Lehner, R. 2004*).(*ver cuadro N° 01*)

CUADRO N° 01: Principales aplicaciones del carbón activado en fase líquida.

FASE LIQUIDA		
INDUSTRIA	DESCRIPCION	USO TIPICO
Tratamiento de agua potable	Carbones activados granulares (GAC) instalados en filtros de rápida gravedad.	Eliminación de contaminantes orgánicos disueltos y control de problemas del olor.

Bebidas Embotelladas	Tratamiento de agua potable, esterilización con cloro.	Eliminación del cloro y adsorción de contaminantes orgánicos disueltos.
Elaboración de la cerveza	Tratamiento de agua potable.	Remoción de los trihalometanos (THM)
Recuperación del oro	La operación del carbón como absorbente.	La recuperación del oro disuelto en cianuro de sodio.
Petroquímico	Reciclaje del condensado de vapor para el agua de alimentación de la caldera.	Remoción de la contaminación del aceite y del hidrocarburo.
Agua Subterránea	Contaminación industrial de las reservas del agua subterránea.	Reducción de los trihalometanos (THM) y de los halógenos orgánicos absorbibles (AOX) incluyendo el cloroformo, el tetracloroetileno y el tricloroetileno.
Deshechos de Agua Industrial	Tratamiento efluente de proceso para satisfacer la legislación ambiental.	Reducción de los trihalometanos (THM), de la demanda biológica del oxígeno (DBO) y de la demanda de oxígeno producido por reacción química (DQO).
Piscinas	Inyección del ozono para el retiro de contaminantes orgánicos.	El retiro del ozono residual y en el control los niveles de cloro.

Fuente: IPL Industries-2009

B) EN FASE GAS

Se utiliza carbón activo granular. Las principales aplicaciones consisten en:

- Almacenamiento y separación de gases, en máscaras antigás, protección anti-radiactiva en plantas nucleares, desodorizante de productos alimenticios. Entre otras aplicaciones, de forma general, se pueden mencionar su utilización en filtros de cigarrillos.
- Desodorizarían y eliminación de olores en lugares habitables, de esparcimiento, en almacenes y olores generados en procesos industriales o en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Eliminación de compuestos orgánicos tóxicos en aire que va a respirar el hombre de manera inmediata y tratamiento de emisiones atmosféricas.
- Vapores de ácidos, álcalis u otros compuestos no absorbibles en carbón activado. Esto se logra impregnado al carbón activado con un compuesto químico que reaccione con el contaminante que quiera eliminarse. El carbón aporta su gran área superficial.
- Contaminantes orgánicos en gases que se producen industrialmente y que requieren purificarse (ejemplo: dióxido de carbono, hidrogeno, oxígeno, etc.).
- Etileno generado por frutas y otros vegetales almacenados en bodegas, mediante la adsorción en carbón activado impregnado con un agente oxidante. Con esta purificación, se evita una maduración prematura.

- Gases radioactivos (ejemplo: isotopos radioactivos de kriptón, xenón y yodo).
- Vapores en los tanques que almacenan productos orgánicos volátiles.
- Compuestos orgánicos en aire o en gases de escape. El carbón activado puede tener como objetivo no solo la purificación del aire o gas de escape, sino la recuperación del solvente. (*Lehner, R. 2004*).

1.3.2.9. APLICACIÓN DEL CARBON ACTIVADO EN LA INDUSTRIA DEL AGUA

El carbón activado es un sólido que tiene dos propiedades que lo han hecho muy útil en el tratamiento de aguas. La primera consiste en que atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos en sus paredes, con una facilidad tal que puede dejar un agua prácticamente libre de estos compuestos. La segunda, es que destruye el cloro libre residual que no ha reaccionado después de que dicho compuesto haya realizado una acción desinfectante. (*Moreno, C. 2004*).

Una de las funciones del carbón activo en el tratamiento de aguas es la eliminación de concentraciones residuales de agentes oxidantes como cloro y ozono, y de los derivados cancerígenos, trihalometanos, originados en estos tratamientos. El carbón activo actúa adsorbiendo estos productos o catalizando su paso a formas reducidas inofensivas.

En cuanto a las plantas potabilizadoras municipales, existen dos realidades: la de los países “desarrollados” y las de países “en desarrollo”. En los primeros, el carbón activado se aplica en casi todas

las plantas. En los segundos, se aplica más bien cuando existen problemas de olor y sabor. Los primeros potabilizan el agua con carbón activado debido a que en los últimos años se ha encontrado que prácticamente ya no existe río, lago ni pozo cuyo agua se encuentre libre de contaminantes orgánicos sintéticos.

De todo lo anterior puede decirse que, por un lado, la purificación de agua con carbón activado es muy común desde hace tiempo, especialmente en el sector industrial. Por otro, que también lo es, aunque de manera más reciente, en las plantas municipales de países desarrollados. Y finalmente, que se utilizará cada vez más en el área municipal de países en vía de desarrollo. (*Moreno, C. 2004*).

A. CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO

La aplicación de carbón activo en el tratamiento del agua está enfocada en la retención de materia orgánica. La decoloración, constituye una excepción, porque el cloro no es de carácter orgánico, no es un contaminante, sino un desinfectante que agrega el hombre. Los contaminantes orgánicos se pueden clasificar en tres grupos: materia orgánica natural, químicos orgánicos sintéticos y subproductos de la desinfección. (*Lehner, R. 2004*)

1. Materia orgánica natural.

El mayor porcentaje de la materia orgánica soluble que se encuentra en el agua es de origen natural y proviene del metabolismo de la vegetación, así como de aquella que se encuentra en estado de descomposición. Es importante eliminar la materia orgánica disuelta antes de la desinfección, ya que de lo

contrario se forman subproductos de la desinfección que son nocivos para la salud. El carbón activado adsorbe de manera muy eficiente la fracción volátil, en la que se incluye el olor y sabor. (Lehner, R. 2004)

2. Químicos orgánicos sintéticos.

Estos compuestos provienen de las descargas de aguas residuales de origen industrial o municipal, de productos químicos agrícolas y urbanos. Se encuentran en el agua, generalmente en muy bajas concentraciones y pueden ser muy diversos. Las investigaciones indican que a largo plazo, la ingestión de combinaciones de estas sustancias, puede ser causa de cáncer y defectos congénitos. El carbón activado es un adsorbente eficaz, excepto de aquellos químicos que son tan volátiles o más que el propano y de los que tienen un peso molecular muy grande y no caben en los poros del carbón. (Lehner, R. 2004)

3. Subproductos de la desinfección.

Al desinfectar el agua para consumo humano con cloro, el cloro reacciona con la materia orgánica y genera los subproductos de la desinfección que son compuestos tóxicos parecidos a los compuestos químicos orgánicos sintéticos, ambos se adsorben de manera similar por el carbón activado, considerándose en la actualidad al carbón activado como la mejor tecnología disponible para su eliminación del agua. Los **Trihalometanos** son solamente algunos de los muchos subproductos de la desinfección formados durante la cloración del agua que contiene materia orgánica disuelta. Comprenden los siguientes compuestos: cloroformo (CHCl_3), bromodiclorometano (CHBrCl_2), dibromoclorometano

(CHBr₂Cl) y bromoformo (CHBr₃). Estos compuestos se adsorben con mayor eficiencia que los anteriores ya que el cloro y el bromo aumentan la adsorbabilidad de los compuestos orgánicos. (*Descripción del ICMC.htm*).

B. USOS DEL CARBÓN ACTIVO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La adsorción sobre carbón activo, es un método de tratamiento avanzado de agua residual que se emplea para la eliminación tanto de compuestos orgánicos, como de las concentraciones residuales de compuestos inorgánicos como nitrógenos, sulfuros y metales pesados.

Normalmente las aguas por encima de los lechos de carbón activo se disponen filtros de medio granular, con el objeto de eliminar la materia orgánica soluble asociada a los sólidos suspendidos presentes en efluentes secundarios. Las elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente provocan la aparición de depósitos en los granos de carbón, lo cual causa pérdidas de presión, canalización y obstrucción del flujo, y pérdida de capacidad de adsorción. La variabilidad en las condiciones de pH, temperatura y caudal también pueden afectar al rendimiento del carbón activado. (*Moreno, C. 2004*).

C. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS PRESENTES EN EL AGUA

- El tipo de compuesto que desea ser eliminado. En general los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se adsorben más fácilmente.

- La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanta más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.
- La presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
- El pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pH bajo.

Según esto podemos clasificar algunos compuestos según su probabilidad de ser eficazmente adsorbidos por el carbón activo en el agua.

Cuadro N° 02: compuestos con muy alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activado.

2,4-D	Deisopropiltatracina	Linuron
Alacloro	Desetilatraccina	Malation
Aldrin	Demeton-O	MCPA
Antraceno	Di-n-butiltalato	Mecoprop
Atraccina	1,2-diclorobenceno	Metazaclor
Azinfos-etil	1,3- diclorobenceno	2-Metil bencenammina
Bentazona	1,4- diclorobenceno	Metil naftaleno
Bifenil	2,4-diclorocresol	2-Metilbutano
2,2-Bipiridina	2,5-diclorofenol	Monuron
Bis(2-Etilhexil) Ftalato	3,6-diclorofeno	Naftaleno
Bromacil	2,4-diclorofenoxi	Nitrobenceno

Bromodiclorometano	Dieldrin	m-Nitrofenol
p- Bromofenol	Dietilftalato	o-Nitrofenol
Butilbenceno	2,4-dinitrocresol	p-Nitrofenol
Hipoclorito de calcio	2,4-dinitrotolueno	Ozono
Carbofurano	2,6- dinitrotolueno	Paration
Cloro	Diuron	Pentaclorofenol
Dióxido de cloro	Endosulfan	propacina
Simacina	Clorobenceno	Endrin
Terbutrin	4-cloro-2- nitrotolueno	Etilbenceno
tetracloroeliteno	2-clorofenol	Hezaclorobutadieno
Triclopir	Clorotolueno	Hexano
1,3,5- trimetilbenceno	Criseno	Isodrin
m-xileno	m-cresol	Isooctano
o-xileno	Cinacina	Isoproturon
p-xileno	Ciclohexano	lindano
2,4-xilenol	DDT	Hezaclorobenceno

Fuente: Lehner, R. 2004.

Cuadro N° 03: Compuestos con alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activo:

Anilina	Dibromo-3- cloropropano	1-Pentanol
Benceno	Dibromoclorometano	Fenol
Alcohol bencílico	1,1-Dicloroetileno	Fenilalanina
Ácido benzoico	cis-1,2- Dicloroetileno	Ácido o-ftálico
Bis(2-cloroetil) éter	trans-1,2- Dicloroetileno	Estireno
Bromodiclorometano	1,2-Dicloropropano	1,1,2,2-

		Tetracloroetano
Bromoformo	Etileno	Tolueno
Tetracloruro de carbono	Hidroquinona	1,1,1-Tricloroetano
1-Cloropropano	Metil Isobutil Ketona	Tricloroetileno
Clorotoluron	4-Metilbencenammina	Acetato de vinilo

Fuente: Lehner, R. 2004.

Cuadro N° 04: Compuestos con probabilidad moderada de ser eliminados por el carbón activo: Para estos compuestos el carbón activo es una tecnología efectiva solo en ciertos casos.

Ácido acético	Dimetoato	Metionina
Acrilamida	Etil acetato	Metil-tert-butil éter
Cloroetano	Etil éter	Meti etil ketona
Cloroformo	Freón 11	Piridina
1,1-Dicloroetano	Freón 113	1,1,2-Tricloroetano
1,2-Dicloroetano	Freón 12	Cloruro de vinilo
1,3-Dicloropropeno	Glifosato	
Dikegulac	Imazipur	

Fuente: Lehner, R. 2004.

Cuadro N° 05: Compuestos para cuya eliminación no es probable que el carbón activo sea efectivo. Sin embargo sí lo es en ciertos casos en los que el flujo o la concentración del compuesto son muy bajos:

Acetona	Cloruro de metileno
Acetonitrilo	1-Propanol

Acrilonitrilo	Propionitrilo
Dimetilformaldehido	Propileno
1,4-Dioxano	Tetrahidrofurano
Isopropil alcohol	Urea
Cloruro de metilo	

Fuente: Lehner, R. 2004.

1.3.2.10. APLICACIÓN DEL CARBON ACTIVADO EN EL AIRE

A. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire.

- **El tipo de compuesto que desea ser eliminado.** En general los compuestos con elevado peso molecular, baja presión de vapor/alto punto de ebullición y alto índice de refracción son mejor adsorbidos.
- **La concentración del compuesto que desea ser eliminado:** Cuanta más alta sea la concentración, más carbón se necesitara.
- **La temperatura:** Cuanto más baja sea la temperatura, mejor será la capacidad de adsorción.
- **La Presión:** Cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción.
- **La Humedad:** Cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción. (*Lenntech, 2004*).

1.3.2.11. OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO

A. PROCESO DE CARBONIZACION

La primera etapa en la fabricación del carbón activado consiste en la carbonización de la materia prima, un proceso térmico con ausencia de aire. Según un estudio de CHANEY de 1919, la temperatura de la carbonización, debería ser menor a los 600°C para posibilitar el cambio del carbón a un cambio activo.

Este resultado, fue comprobado por muchos otros trabajos científicos y juega un papel muy importante como parámetro en el proceso de carbonización. Aunque no es una ley y se conoce también de procesos con buenos resultados usando temperaturas más altas. (*Montaño, Patiño. 2001*)

Durante la carbonización, la mayoría de los elementos no carbónicos se desprenden y forman un gas combustible. Pero debido al elevado calor también se producen y se evaporan fragmentos de moléculas orgánicas, las que se condensan como líquido destilado (alquitrán). Por su composición química, tanto el gas como el líquido, tienen cierta toxicidad.

Durante el calentamiento de la biomasa a temperaturas entre 200°C y 400°C, el hidrógeno, oxígeno y parte del carbón forman una mezcla muy complicada de compuestos. Esta mezcla se puede ver como humo y por temperaturas bajo 150°C (por enfriamiento) se condensa como líquido negro o pardo y dependiente de la humedad de la biomasa, este líquido puede ser viscoso como aceite o asfalto o muy líquido como agua. El líquido, conocido como alquitrán, tiene un olor desagradable. (*Montaño, Patiño. 2005*)

La composición del gas o líquido desprendido durante la pirolisis, se puede dividir en tres partes.

- 1) AGUA O VAPOR: que estaba físicamente como humedad en la biomasa o que se formaba de los elementos hidrogeno y oxígeno por una reacción química.
- 2) GAS COMBUSTIBLE O GAS POBRE: con una composición aproximada de:
 - Nitrógeno (N_2) -----50-58%
 - Monóxido de carbono (CO) -----15-30%
 - Hidrogeno (H_2) -----12-20%
 - Dióxido de carbono (CO_2) -----3-15%
 - Metano (CH_4) -----0.5-7%
- 3) HIDROCARBUROS PESADOS: de la formula C_nH_m , los cuales forman el líquido negro o alquitrán. Su naturaleza puede variar entre gasolina (octano C_8H_{18}), un líquido de baja viscosidad, hasta betún ($C_{36}H_{74}$), una masa negra muy viscosa.

El proceso de carbonización es muy complejo, sin embargo, se puede considerar como un conjunto de procesos individuales representativo de la mayoría de las reacciones involucradas.

Durante la carbonización tiene lugar la reorganización de los átomos de carbono en estructuras macro-cristalinas tipo grafito. A medida que aumenta la temperatura, los compuestos primarios se polimerizan e independientemente de que el material original tenga cadenas alifáticas o aromáticas, se origina un sistema planar de moléculas tipo benceno

condensadas, formándose así un sólido como resultado de las uniones C-C entre planos vecinos. (Milan, 2000).

Desde 400°C hasta 700°C estos sistemas condensados crecen gradualmente, pero todos los átomos periféricos están unidos por enlaces químicos a átomos de hidrogeno o grupos hidrocarbonados, estas sustancias tienen alta resistividad eléctrica. Entre 700°C y 800°C, muchos de los átomos de hidrogeno y los grupos hidrocarbonados son eliminados, dejando pequeños cristallitos con estructura similar al grafito lo que coincide con una drástica reducción de la resistividad eléctrica. (Leyva, R. 2007)

B. PIROLISIS

Consiste en el cambio químico de los componentes de la materia prima por medio del calor, en ausencia de oxígeno. Se considera que la pirólisis de los materiales leñosos se inicia a temperaturas de orden de 250-300°C y que transcurre con la producción en proporciones variables de gases, líquidos y un residuo carbonoso que es el carbón. En la pirolisis se distinguen tres fases claramente diferenciadas:

1. **La primera fase 30-170°C:** corresponde principalmente a la deshidratación de la materia y destilación de algunos aceites esenciales, unido todo ello a una pequeña degradación de la materia.
2. **La segunda fase 170-270°C:** transcurre con abundante desprendimiento de gases, CO₂ y CO principalmente y la destilación de líquidos acuosos. (*Descripción del carbón. htm*).

3. La tercera fase 270°C-a más: es la pirolisis propiamente dicha, el desprendimiento de materiales volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón. (*Descripción del carbón. htm*).

CUADRO N° 06: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA PIROLISIS

TEMPERATURA (RANGO °C)	REACCION QUIMICA
100-120	Deshidratación
250	Desoxigenación y desulfurización, disociación molecular del agua y dióxido de carbono, comienza la liberación del sulfuro de hidrogeno.
340	Rotura de enlaces en compuestos alifáticos, comienza la liberación de metano y otros compuestos alifáticos ligeros.
380	Fase de carbonización. Concentración de carbón en los residuos.
400	Rotura de enlaces C-O y C-N
400-600	Descomposición de los materiales bituminosos. Generación de aceites y alquitranes. Carbonización de baja temperatura.
600	Cracking de los materiales bituminosos, generación de hidrocarburos gaseosos de cadena corta e hidrocarburos aromáticos (derivados del benceno)

> 600	Dimerización de las olefinas (etileno) a α -butileno, reacción del etileno a ciclo hexano, generación de compuestos aromáticos volátiles.
-------	--

Fuente: (transformación térmica de la madera-monografias_com.htm)-2007.

C. PROCESO DE ACTIVACION

En cuanto al proceso de activación, existen dos tecnologías básicas: térmica y por deshidratación química.

C.1. ACTIVACIÓN POR PROCESO FÍSICO (TÉRMICO):

Se produce por la reacción del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO₂, etc.) con el carbono del material que está siendo activado. Este tipo de activación consta de varias etapas. Así, a veces son necesarios ciertos **pre-tratamientos** como la molienda y el tamizado para obtener un tamaño adecuado del precursor. En otras ocasiones el material de partida es molido hasta formar un fino polvo, después compactado con algún aglomerante en forma de briquetas y luego vuelto a moler hasta obtener el tamaño deseado. De esta forma se consigue una mejor difusión del agente activante y por tanto una mejor porosidad en el carbón activado resultante. (Rodríguez, F. 2005).

Otra etapa previa a la activación propiamente dicha es la **carbonización**, en la cual el precursor es sometido a elevadas temperaturas (del orden de los 800 °C) en ausencia de aire, para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será el que se someta a la activación. Durante la desvolatilización, la salida de los gases y vapores del

precursor produce una porosidad “incipiente” en el carbonizado, la cual se desarrolla aún más durante la etapa de activación. (Rodríguez, F. 2005).

La **activación** consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo activado; de forma que se produzca un “quemado selectivo” que va horadado progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado. (Montaño, Patiño. 2001).

C.2. ACTIVACIÓN POR PROCESO QUÍMICO:

Este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, en este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante.

Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente son el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH). (Rodríguez, F. 2005).

1.3.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- ✓ **Adsorbato:** Son aquellas sustancias absorbidas por un carbón activo o por otro material adsorbente.
- ✓ **Adsorbente:** Material, como el carbón activo, en el que se realiza el fenómeno de la adsorción.
- ✓ **Adsorción:** Adhesión de un finísimo estrato de moléculas, líquidas o gaseosas, a la superficie de sólidos (carbón activo) con los que aquéllas entran en contacto.
- ✓ **Área superficial:** Es la cantidad de superficie referida al conjunto de los poros del carbón. Se la determina en base a una isoterma de adsorción, según el método de Brunauer, Emmett y Teller (BET). Se expresa en m²/g.
- ✓ **Carbón no grafitable:** Carbón no grafitico que no puede transformarse en grafito solamente mediante un tratamiento térmico, a presión atmosférica o menor. El caso opuesto lo constituye un carbón no grafitable.
- ✓ **Carbón lavado:** Carbón que ha sido sometido a la acción de una solución o en agua destilada a fin de disolver las cenizas y compuestos en el contenidas.
- ✓ **Cenizas:** Contenido mineral del carbón activo. Se definen normalmente en % del peso de la muestra calcinada con respecto a la muestra que se examina.
- ✓ **Columna de carbón:** Una columna rellena con carbón activo granulado cuya función primaria es la adsorción preferente de tipos de moléculas específicos.

- ✓ **Desorción (o desadsorción):** Es lo opuesto a la adsorción. Se trata de un fenómeno en el que las moléculas adsorbidas abandonan la superficie del material adsorbente.
- ✓ **Distribución de los poros:** Es una medida de la estructura de los poros que confieren a los carbones activos su característica capacidad adsorbente. Se la puede representar de dos maneras: a) por distribución integral, que especifica la relación entre las dimensiones de los poros (o sea, el radio o el diámetro) y el volumen total de todos los poros superiores o inferiores a dicha dimensión; b) por distribución derivada, que indica la cantidad de volumen asociado a los poros cuya dimensión esté comprendida entre dos valores específicos.
- ✓ **Dureza:** Es la medida de la resistencia de un carbón granulado a la acción degradante obtenida con esferas de acero en un molino de tambor rotante. Se calcula pesando la cantidad de carbón atrapada en la malla de un determinado cedazo tras haber pulverizado el carbón. Se expresa en % respecto de la cantidad inicial.
- ✓ **Macroporos:** Se llaman así a los poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro sea superior a los 500 Angstroms.
- ✓ **Mesoporos:** Poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro queda comprendido entre los 500 y los 30 Angstroms.
- ✓ **Microporos:** Poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro sea inferior a 30 Angstroms.
- ✓ **Reactivación:** Restablecimiento de la capacidad de adsorción de un carbón saturado. Puede efectuarse mediante tratamiento térmico, físico o químico.

- ✓ **Tiempo de contacto:** Tiempo que necesita una corriente para atravesar una columna de carbón, suponiendo que toda la corriente fluya a idéntica velocidad. Es igual al volumen del lecho de carbón, en vacío, dividido por el volumen del efluente.

- ✓ **Humedad:** Porcentaje del peso de agua contenido en el carbón activo.

1.4 VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE:

Y= Carbón activado a partir de residuos agrícolas

VARIABLE DEPENDIENTE:

X= Eficiencia del carbón activado

1.5 HIPÓTESIS

H₁= Si obtenemos carbón activado experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo, entonces tiene una alta eficiencia.

H₀: Si obtenemos carbón activado experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo, entonces no tiene una alta eficiencia.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 De acuerdo a la orientación.

Aplicada

2.1.2 De acuerdo a la técnica de contrastación.

Explicativa

2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación denominado **“Determinación de la eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo”**, se desarrolló en el laboratorio de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, perteneciente a la provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. El diseño de investigación se realizó de la siguiente manera:

- a. **Se obtuvo carbón activado a partir de la cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao.**

Se obtuvo carbón activado a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo, mediante la recolección de muestras representativas de cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao. Estas muestras fueron conseguidas de la ciudad de Rioja, los distritos de Yantaló y Jepelacio.

- b. **Se realizó análisis de las propiedades fisico-químicas de las muestras de cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao.**

Una vez obtenidas las muestras representativas de cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao, se pasó a realizar el análisis de las propiedades fisicoquímicas de cada una de las muestras.

- c. **Se analizó la variable temperatura que influye durante el proceso de carbonización-activación.**

En el desarrollo del proceso de carbonización-activación de las muestras del carbón, éstas fueron sometidas a la acción de diversas temperaturas, ya que esta influye sobre la naturaleza de la formación del centro activo del carbón y en la formación de los poros del carbón (macroporos, mesoporos y microporos).

- d. **Se evaluó las variables que influyen durante el proceso de adsorción de la solución de Azul de Metileno.**

Durante el proceso de adsorción de la solución de Azul de Metileno, influyen variables como el tiempo de adsorción, la relación gr de carbón activado/ ml de solución de azul de metileno, también influye la temperatura de adsorción, pero durante el desarrollo del presente proyecto de investigación, se trabajó la adsorción de la solución de Azul de Metileno a temperatura ambiente.

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN:

La población del presente proyecto de investigación viene a ser todos los residuos agrícolas conformado por cascara de coco, café y cacao del Alto Mayo.

MUESTRA:

La muestra fue 1kg de cascara de coco extraída de la provincia de Rioja, 1kg de cascara de café extraída del distrito de Yantaló y 1kg de cascara de cacao extraída del distrito de Japelacio.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Se identificó el área de estudio.
- Se identificó exactamente las zonas donde se desarrollaban los cultivos de coco, café y cacao.
- Se recopiló información apoyada principalmente de antecedentes de investigación sobre carbón activado obtenido a partir de los diferentes residuos agrícolas. Además para complementar la información requerida, se optó por recopilar información secundaria como publicaciones, revistas, libros, aportes de especialistas sobre el mencionado.
- Una vez identificada la zona de estudio y recopilada la información, se procedió a iniciar con el desarrollo experimental, obteniendo finalmente los resultados del porcentaje de adsorción de la solución de azul de metileno.
- Finalmente se procedió a evaluar estadísticamente la variable temperatura, para identificar cual es la temperatura óptima para la obtención del carbón activado.

2.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el presente trabajo de investigación, se determinaron factores importantes en la materia prima, que influyen en la calidad del carbón activado que se obtuvo experimentalmente a nivel de laboratorio. Se realizaron los siguientes procedimientos:

2.5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN QUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVADO

En el Alto Mayo al poseer un sin número de cultivos agrícolas, se necesita cierta tecnología para la transformación de estas, pero esta tecnología debe ir de la mano con los recursos humanos y equipos que se posee, actualmente no se cuenta con ciertos equipos que brinden la utilización de una tecnología de punta.

Es por eso que la decisión tomada para desarrollar el presente trabajo de investigación fue utilizar el método de activación por proceso químico, ya que se contó con los equipos, materiales y reactivos para la obtención del carbón activado. Se realizaron las siguientes etapas para obtener carbón activado:

❖ **Pre-secado de la materia prima.**

Antes de determinar el contenido de humedad de las muestras de cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao, éstas fueron secadas a temperatura ambiente por un lapso de 14 días con la finalidad de tratar de homogenizar el contenido de agua de dichas muestras.

❖ **Secado de la materia prima.**

Posteriormente las cascaras de coco, café y cacao, fueron secadas en la estufa a 110°C por un periodo de 24 horas. Con la finalidad de eliminar el contenido de humedad.

❖ **Trituración de la materia prima**

La trituración se realizó utilizando como materiales un cuchillo y un martillo. Con el propósito de obtener trozos de muestra más pequeños como en el caso de las cascaras de coco y cacao.

❖ **Impregnación del agente activante**

En la impregnación del agente activante, se realizó con la aplicación del ácido fosfórico a 37% de concentración. Para aplicar el agente activante, se tuvo en consideración la relación gramos de muestra/ gramos de ácido fosfórico.

❖ **Carbonización-activación**

La carbonización y activación se realizó en una sola etapa. La carbonización se hizo en una mufla con rango de 25°C a 1400°C, con una velocidad de calentamiento de 20°C/minuto, donde las muestras son colocadas en crisoles. En esta etapa se varió las temperaturas desde 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C. Llegando a dichas temperaturas se dejó carbonizar por un periodo de 30 minutos.

❖ **Obtención de carbón activado**

Culminado las etapas anteriores, finalmente se obtiene el carbón activado, que es tratado en las siguientes etapas.

❖ **Molienda del carbón activado**

La molienda se realizó manualmente con la ayuda de un mortero, con la finalidad de homogenizar los carbones activados resultantes de las muestras de las cascaras de coco, café y cacao. La molienda se realizó en los ambientes del laboratorio de Biología y Química-Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

❖ **Lavado**

Posteriormente se realiza el lavado del carbón activado, se hace con la finalidad de dejarlo libre como sea posible del agente activante utilizado. Este proceso se hizo con la ayuda de vasos de precipitación y de papel filtro. El lavado se realizó con agua destilada y se hizo hasta que el agua quede completamente limpia y transparente. Este proceso se hizo para cada una de las muestras de carbón activado.

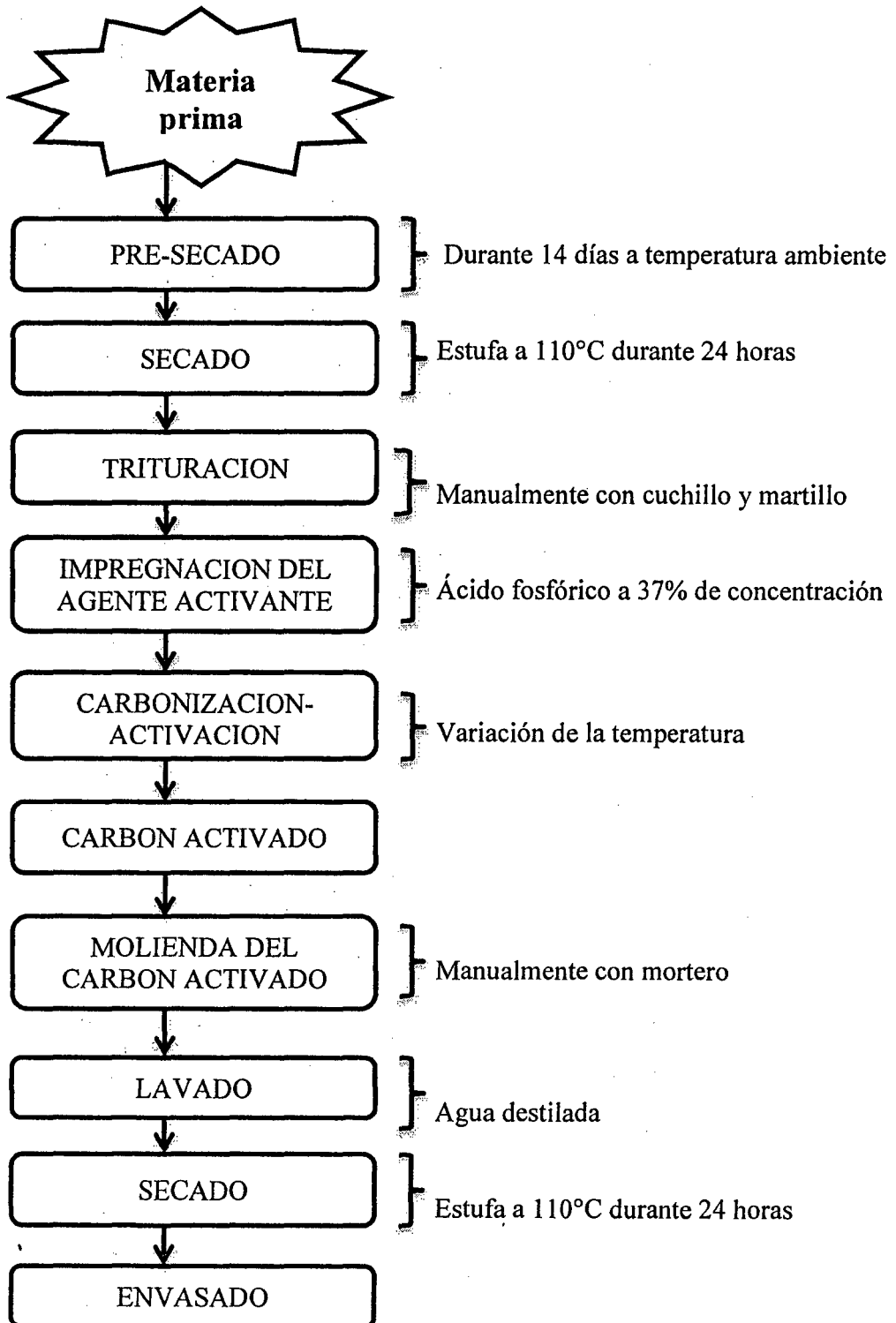
❖ **Secado**

Posteriormente al lavado, se procedió a secar las muestras de carbón activado a una temperatura de 110°C por un periodo de 24 horas.

❖ **Envasado**

Finalmente se procedió al envasado de las muestras de carbón activado que ha sido secado. Las muestras finales fueron ubicadas en papel bond A4 en forma de U que simula un canal, para así poder evitar las pérdidas del material.

FIGURA N° 03: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCION DE CARBON ACTIVADO



Fuente: Elaboración propia-2013

2.5.2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.

A) Materiales y equipos:

- Crisol de porcelana (tamaño mediano).
- Estufa.
- Balanza analítica.
- Materias primas: cáscara de coco, cascara de cacao y cáscara de café.

B) Procedimiento:

- Pesar el crisol de porcelana.
- Luego, Pesar el crisol con una cantidad determinada de materia prima.
- Seguidamente colocar en estufa a 110 °C por un periodo de 24 horas.
- Finalmente, pesar el crisol con la muestra y por diferencia de pesos, se determina el porcentaje de humedad de dicha materia.
- Se hicieron 5 repeticiones para cada muestra (cascaras de coco, café y cacao), posteriormente se promedió.
- Para la determinación de la humedad de una muestra, se debe aplicar la siguiente formula.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Fuente: Bardález-2005.

2.5.3. DETERMINACIÓN DE LAS CENIZAS TOTALES.

A) Materiales y Equipos:

- Crisol de porcelana (tamaño mediano).
- Mufla; temperatura 25 - 1200 °C
- Balanza analítica.
- Materias primas: cáscara de coco, cascara de cacao y cáscara de café.

B) Procedimiento:

Se determinó en una mufla a 600°C hasta que todo el carbón haya sido eliminado y se haya formado la ceniza, se utilizó el siguiente procedimiento:

- Pesar el crisol de porcelana.
- Luego, Pesar el crisol con una cantidad determinada de materia prima (10 gr aproximadamente), obteniéndose el peso 1.
- Seguidamente, colocar el crisol con la materia prima en la mufla por un espacio de 2 horas a 600 °C.
- Pesar muy rápidamente el crisol más la ceniza, se descontó el peso del crisol, obteniéndose el peso 2.
- Por diferencia de pesos, se determina la cantidad de ceniza en cada muestra.
- Se hicieron 5 repeticiones para cada muestra (cascaras de coco, café y cacao), posteriormente se promedió.
- El porcentaje de ceniza se obtiene con la siguiente formula.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P1 = Peso inicial

P2 = Peso final

Fuente: Bardález-2005.

2.5.4. DETERMINACION DE CARBONO FIJO

A) Materiales y Equipos:

- Crisol de porcelana (tamaño mediano).
- Mufla; temperatura 25 - 1200 °C
- Balanza analítica.
- Materias primas: cáscara de coco, cascara de cacao y cáscara de café.

B) Procedimiento:

Se determinó en una mufla con un rango de 25°C a 1400°C, solo llegando a los 600°C, con una velocidad de calentamiento de 20°C / minuto, hasta la carbonización. Se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se colocaron 10 gr de la materia prima aproximadamente (obteniéndose el peso1), en un crisol pesado.
- Se puso el crisol en la mufla con cada una de las materias primas correspondientes, hasta la carbonización.
- Después de la carbonización, se pesó el crisol más la materia prima carbonizada, se descontó el peso del crisol (obteniéndose el peso2).
- Se hicieron 5 repeticiones para cada muestra (cascaras de coco, café y cacao), posteriormente se promedió.
- El porcentaje de carbono fijo, se obtiene aplicando la siguiente formula:

$$\% \text{ Carbono fijo} = \frac{P2}{P1} \times 100$$

P1 = Peso inicial

P2 = Peso final

Fuente: Bardález-2005.

2.5.5. DETERMINACION DE LA POROSIDAD

A) Materiales:

- Probeta
- Pipeta
- Materias primas: cáscara de coco, cascara de cacao y cáscara de café.

B) Procedimiento:

La porosidad de la materia prima, se calculó de la siguiente manera:

- Inicialmente las muestras se sometieron al proceso de molienda.
- Se colocó el material en una probeta, se midió su volumen.
- Luego se colocó agua hasta el tope del material.
- Se mide el volumen agregado y se divide entre el volumen ocupado por el material.
- Se hicieron 5 repeticiones para cada muestra (cascaras de coco, café y cacao), posteriormente se promedió.

2.5.6. DETERMINACION DE LA MATERIA VOLÁTIL.

Para determinar el porcentaje de la materia volátil, se realizaron cálculos, aplicando la siguiente formula:

$$\% Mv = 100 - \% C - \%Ceniza - \% H$$

Donde:

%Mv = porcentaje de materia volátil.

%C = porcentaje de carbono fijo.

%Ceniza = porcentaje de Ceniza.

%H = porcentaje de Humedad.

Fuente: Bardález-2005.

2.5.7. ANALISIS DE LA EFICIENCIA (% ADSORCION) DEL CARBON ACTIVADO OBTENIDO EXPERIMENTALMENTE CON EL METODO DE DECOLORACION DE LA SOLUCION DE AZUL DE METILENO.

El poder adsorbente del carbón activado puede ser evaluado por su capacidad de decolorar sustancias que contienen colorantes o tintes, de esta manera se tiene una idea de la cantidad de centros activos que éste posee.

Haciendo uso del espectrofotómetro se realiza la lectura de cuanto ha adsorbido el carbón activado frente a la solución de azul de metileno. Mediante este método se determina que porcentaje de la solución ha sido adsorbida por el carbón activado. La solución de azul de metileno utilizada fue de 1 ppm, en la cual fue estable el volumen de la solución que fue 20 ml.

A) Materiales, equipos y reactivos:

- Fiola, capacidad 1000 ml
- Pipeta, capacidad 5 y 10 ml
- Bureta, capacidad 100 ml
- Vaso de precipitado, capacidad 100 ml
- Espectrofotómetro
- Azul de metileno
- Agua destilada
- Balanza analítica
- Crisol de porcelana
- Mortero
- Homogenizador casero.
- Papel filtro

B) Procedimiento:

- Primeramente se pesó 1 gr de azul de metileno.
- Luego hizo la dilución con agua destilada en una Fiola de 1 litro hasta el enrase.
- Posteriormente se preparó azul de metileno a una concentración de 1 ppm.
- Luego se realizó la lectura de la densidad óptica en el espectrofotómetro.

Para realizar la adsorción de la solución del azul de metileno con el carbón activado obtenido experimentalmente, se realizaron los siguientes procedimientos:

- Triturar el carbón activado en el mortero. Luego se pesó la cantidad de carbón activado requerido en la balanza analítica.
- Posteriormente se ubicó el carbón activado en el vaso de precipitado de 100 ml. Luego se agregó 20 ml de la solución de azul de metileno, se trató del homogenizar la muestra con un equipo fabricado manualmente llamado "Homogenizador casero", que cumplió la función de hacer girar la solución de azul de metileno con el carbón activado. En este paso, se consideró la variable tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución.
- Una vez cumplido el tiempo de contacto, se quitó rápidamente el Homogenizador casero para luego pasarle a filtrar la muestra.
- Luego del filtrado, la muestra resultante se ubicó en un recipiente apropiado y previamente rotulado.
- Finalmente la muestra resultante fue ubicado en el espectrofotómetro para analizar el porcentaje de adsorción que se tuvo. Para este caso se utilizó como blanco Agua destilada.
- Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras de carbón activado obtenido experimentalmente.

2.5.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Los datos que se obtuvieron durante el desarrollo experimental, se evaluaron estadísticamente para la cual se aplicó el análisis de varianza (ANVA). Además de esta manera evaluar si existen diferencias significativas durante los procesos de adsorción de la solución de Azul de Metileno, y en caso de que exista significancia se aplicará la prueba estadística de DUNCAN al 5 %, con 95% de confiabilidad. Además se realizará utilizando el diseño completamente aleatorizado (DCA) la cual se aplicará para las muestras de carbón activado obtenidas a partir de los residuos agrícolas del Alto Mayo tales como: cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao respectivamente.

Modelo lineal del DCA:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = efecto del i ésimo tratamiento aplicado al j ésimo tratamiento.

μ = efecto medio verdadero.

T_i = efecto verdadero el i ésimo tratamiento.

E_{ij} = efecto verdadero del error i ésimo unidad experimental sujetos j ésimo tratamiento.

Fuente: Bardález-2005.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1 RESULTADOS

- A partir de la cascara de coco, cascara de café y cascara de cacao, se obtuvo carbón activado de buena eficiencia, la cual fue analizada mediante pruebas de adsorción de la solución de Azul de Metileno.

3.1.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1.1. Determinación de la humedad

Se sometió a la estufa teniendo como promedio los siguientes datos:

CUADRO N° 07: % de humedad de la materia prima

MATERIA PRIMA	% HUMEDAD
Cascara de coco	6.14
Cascara de café	5.58
Cascara de cacao	5.48

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Es deseable que el contenido en humedad de la madera sea lo más bajo posible, y en cualquier caso, no superior al 15-20%. Dado que la madera fresca recién acabada de cortar contiene un 40-60% de agua, se aconseja una desecación previa de la misma bien al aire o por otro procedimiento. Si se parte de madera seca puede obtenerse un rendimiento entre 25-33% de carbón vegetal. (*Transformación térmica de la madera*)

3.1.1.2. Determinación del carbono fijo

El carbono fijo de la materia prima, fue determinante ya que los resultados ayudaron a corroborar con la moderada cantidad de materia volátil presente en la materia prima (cascaras de coco, café y cacao), siendo este un parámetro muy importante ya que ayuda a explicar el poder de combustión de la materia prima. (*Obtención química de carbón activado a partir de Ttola*).

El contenido de carbono fijo es mayor porque la estructura lignocelulósica se fracciona produciendo carbón, vapor de agua, bióxido de carbono y otros vapores productos de la pirólisis. Se obtuvieron los siguientes datos como resultados promedios:

CUADRO N° 08: % de carbono fijo de la materia prima

MATERIA PRIMA	% CARBONO FIJO
Cascara de coco	13.7
Cascara de café	23.2
Cascara de cacao	29.4

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

3.1.1.3. Determinación de las cenizas totales

El porcentaje promedio de las cenizas totales presentes en la materia prima a utilizar para la obtención de carbón activado, presentan un contenido moderado, es decir una cantidad de minerales pesados y no pesados que pueden tener contacto con la solución que se desea tratar con el carbón activado. Se obtuvieron los siguientes datos:

CUADRO N° 09: % de cenizas totales de la materia prima

MATERIA PRIMA	% CENIZAS TOTALES
Cascara de coco	13.0
Cascara de café	26.9
Cascara de cacao	16.7

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

3.1.1.4. Determinación de la porosidad

La porosidad de la materia prima utilizada, explica la dureza de la materia y su alta capacidad a la resistencia mecánica. Las materias primas celulósicas, deben su dureza a un componente químico que es la lignina, cuanto más dureza tiene la materia prima, entonces tiene mayor contenido de lignina y este compuesto químico al volatilizarse con los otros compuesto formados por la deshidratación del ácido activante y por ende el proceso de carbonización-activación son los que forman la estructura porosa del carbón.

Un parámetro de mucha importancia en la calidad del carbón activado, es su resistencia mecánica, el cual está determinado básicamente por la porosidad de la materia prima. Un coeficiente de porosidad de la materia prima superior al 40%, indica que los carbones activados poseen una estructura de anchos poros, lo que facilita el rompimiento de la misma por acción de fuerzas externas disminuyendo de esta forma la resistencia mecánica de los carbones activados preparados a partir de este. (Heschel W.; Klose, E.)

Se obtuvieron los siguientes datos de porosidad:

CUADRO N° 10: % de porosidad de la materia prima

MATERIA PRIMA	% POROSIDAD
Cascara de coco	96.45
Cascara de café	81.69
Cascara de cacao	95.59

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

3.1.1.5. Determinación de la materia volátil.

A partir de este análisis, se pudo determinar que la materia prima está conformada en su mayoría por compuestos orgánicos termolábiles tales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales se degradan fácilmente cuando son sometidos a elevadas temperaturas. (*Obtención química de carbón activado a partir de Ttola*).

El contenido de materia volátil en la materia fue:

CUADRO N° 11: % de materia volátil de la materia prima

MATERIA PRIMA	% MATERIA VOLATIL
Cascara de coco	67.16
Cascara de café	44.32
Cascara de cacao	48.42

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

3.1.2. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ETAPA DE CARBONIZACIÓN - ACTIVACIÓN DE LAS MUESTRAS.

3.1.2.1. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CARBONIZACIÓN- ACTIVACIÓN.

Para obtener el carbón activado, se realizó la activación química, con la solución de ácido fosfórico a 37% de concentración en el que se tuvo en consideración la temperatura de carbonización-activación como un factor muy importante, ya que esta influye sobre la naturaleza de la formación del centro activo del carbón y en la formación de los poros del carbón (macroporos, mesoporos y microporos).

Se determinó la temperatura óptima mediante la adsorción de la solución de azul de metileno. Mostrándose a continuación los siguientes resultados:

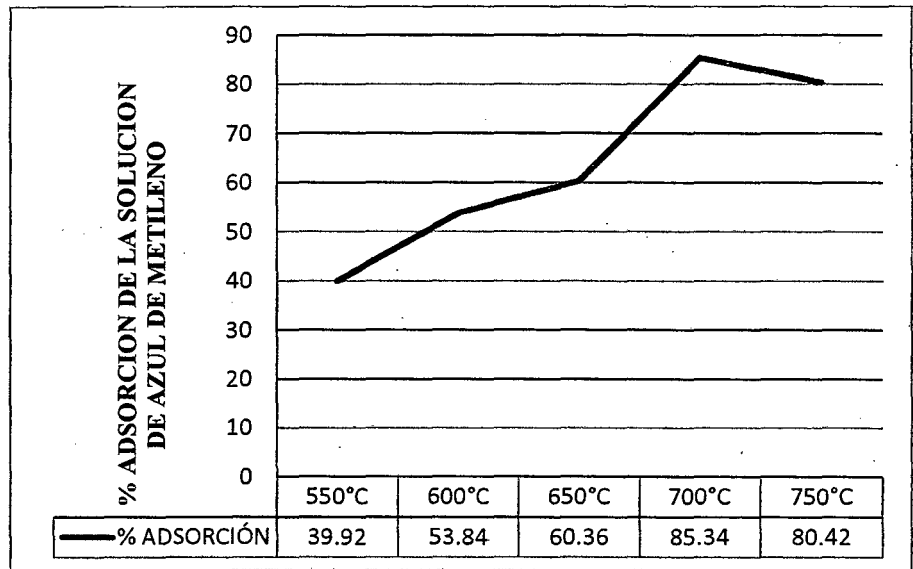
A). Carbón activado de cascara de coco

CUADRO N° 12: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco.

Temperatura	% medio de Adsorción
550°C	39.92
600°C	53.84
650°C	60.36
700°C	85.34
750°C	80.42

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 01: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco haciendo variar la temperatura.



Fuente: Cuadro N°12

Interpretación:

En este gráfico, se puede apreciar que la capacidad de adsorción del azul de metileno con carbón activado obtenido de la cascara de coco, se incrementa a medida que se aumenta la temperatura de carbonización-activación. Mostrándose que a 550°C se obtuvo un porcentaje de adsorción de 39.92, a 600°C ésta se incrementa en 53.84%, a 650°C el 60.36%

Además se observa que la máxima eficiencia en adsorción de la solución de azul de metileno, que se produce con el carbón activado es a una temperatura de 700°C con un porcentaje de adsorción de 85.34% y posteriormente a 750°C disminuye la adsorción en un 80.42%.

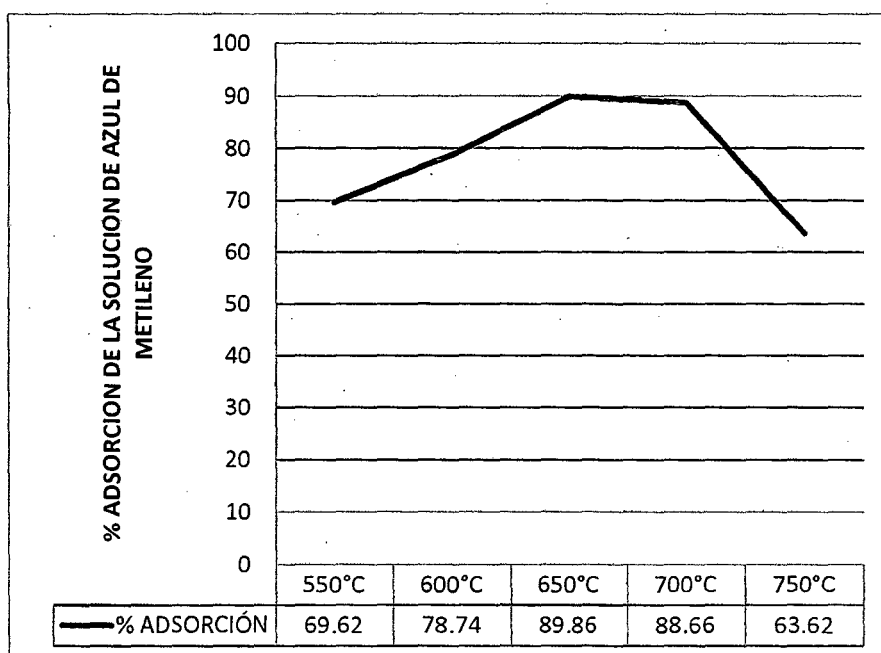
B). Carbón activado de cascara de café

CUADRO N° 13: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de café

Temperatura	% medio de Adsorción
550°C	69.62
600°C	78.74
650°C	89.86
700°C	88.66
750°C	63.62

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 02: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café haciendo variar la temperatura.



Fuente: Cuadro N°13

Interpretación:

En el grafico se puede observar, que el carbón activado obtenido de la cáscara de café, inicialmente a una temperatura de 550°C es el 69.62% de adsorción, a 600°C se obtuvo el 78.74% de adsorción, mostrándose que la temperatura óptima alcanzada es 650°C con un porcentaje de adsorción máxima de 89.86%. Así como también se observa que a partir de 700°C el porcentaje de adsorción va disminuyendo a 88,66% y a 7500C el 63,62%.

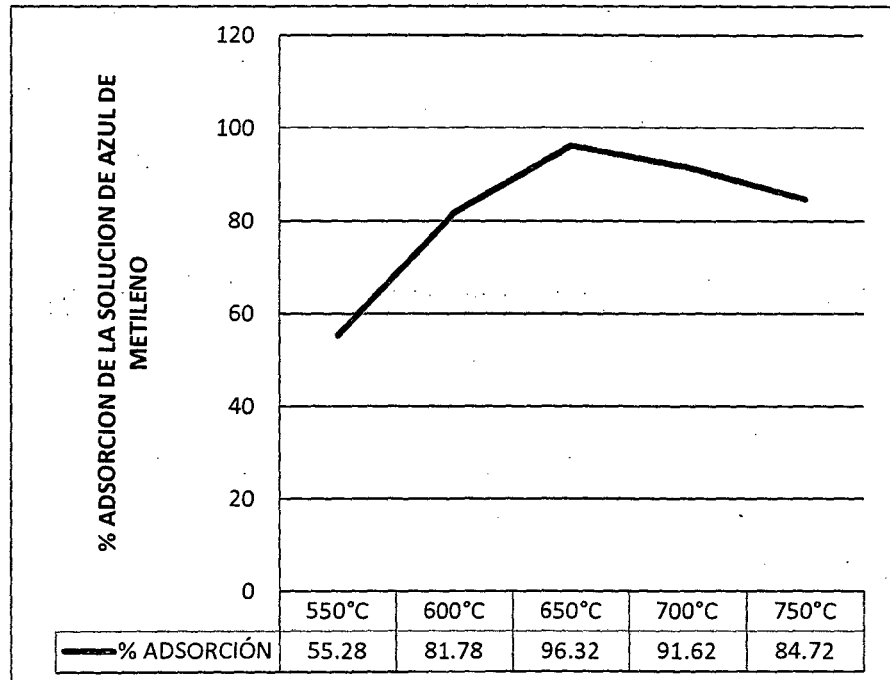
C). Carbón activado de cascara de cacao

CUADRO N° 14: Porcentaje medio de adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao.

Temperatura	% medio de Adsorción
550°C	55.28
600°C	81.78
650°C	96.32
700°C	91.62
750°C	84.72

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 03: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao haciendo variar la temperatura.



Fuente: Cuadro N°14

Interpretación:

En este grafico se observa, que el carbón activado obtenido de la cascara de cacao, inicialmente a una temperatura 550°C tuvo un porcentaje de adsorción de 55.28%. Posteriormente a medida que se incrementa la temperatura de carbonización-activación se va incrementando los porcentajes de adsorción, llegando a la temperatura más alta de 650°C con un porcentaje de adsorción del 96,32. Luego al incrementar la temperatura, se observa q disminuye la adsorción, tal es el caso 700°C con el 91,62% de adsorción y a 750°C con 84.72% de adsorción.

3.1.2.2 VARIACION DEL TIEMPO DE CONTACTO DEL CARBON ACTIVADO CON LA SOLUCION DE AZUL DE METILENO

Para este proceso, se ha trabajado con las temperaturas óptimas de activación -carbonización para cada una de las muestras como: cascara de coco (700°C), cascara de café (650°C) y cascara de cacao (650°C).

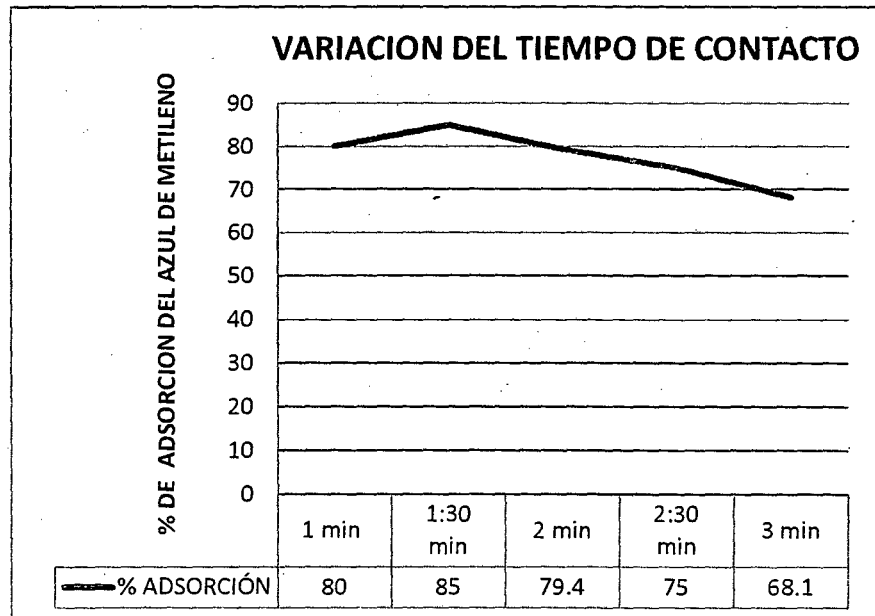
a) Carbón activado de cascara de coco

CUADRO N° 15: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco con variación del tiempo de contacto.

TIEMPO DE CONTACTO	% ADSORCIÓN
1 min	80
1:30 min	85
2 min	79.4
2:30 min	75
3 min	68.1

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 04: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de coco variando el tiempo de contacto.



Fuente: cuadro N° 15

Interpretación:

A partir de los resultados obtenidos que se muestran, se observa que durante el tiempo de contacto de 1 min., se obtiene una adsorción de 80%, observándose que el tiempo óptimo de adsorción es a 1:30 min. Con un 85% de adsorción. Además se observa que para tiempos mayores va disminuyendo la adsorción de la solución del azul de metileno (3 min. solo alcanzó adsorber 68.1%).

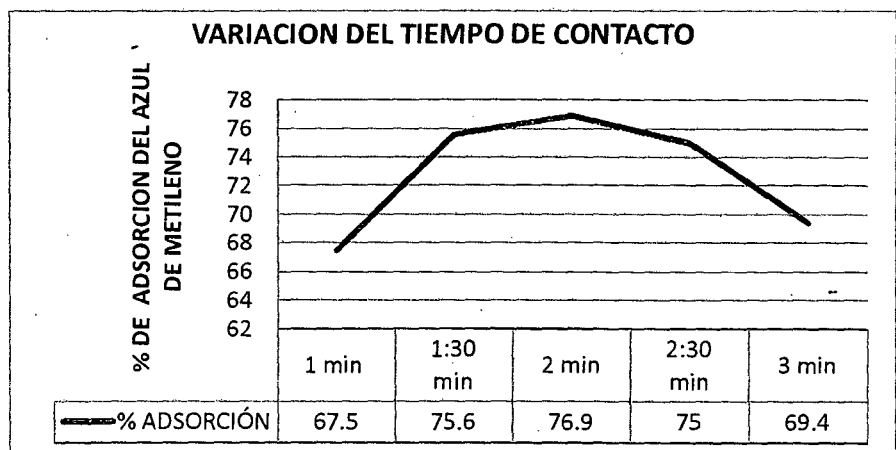
b) Carbón activado de cascara de café

CUADRO N° 16: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de café.

TIEMPO DE CONTACTO	% ADSORCIÓN
1 min	67.5
1:30 min	75.6
2 min	76.9
2:30 min	75
3 min	69.4

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 05: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café con variación del tiempo de contacto.



Fuente: cuadro N° 16

Interpretación:

Los resultados obtenidos que se muestran en el siguiente gráfico, se observa que durante el tiempo de contacto de 1 min., se obtiene una adsorción de 67.5%, observándose que el tiempo óptimo de adsorción es a 2 min. Con un 76.9% de adsorción. Además se observa que para tiempos mayores va disminuyendo la adsorción de la solución del azul de metileno (3 min. alcanzo adsorber 69.4%).

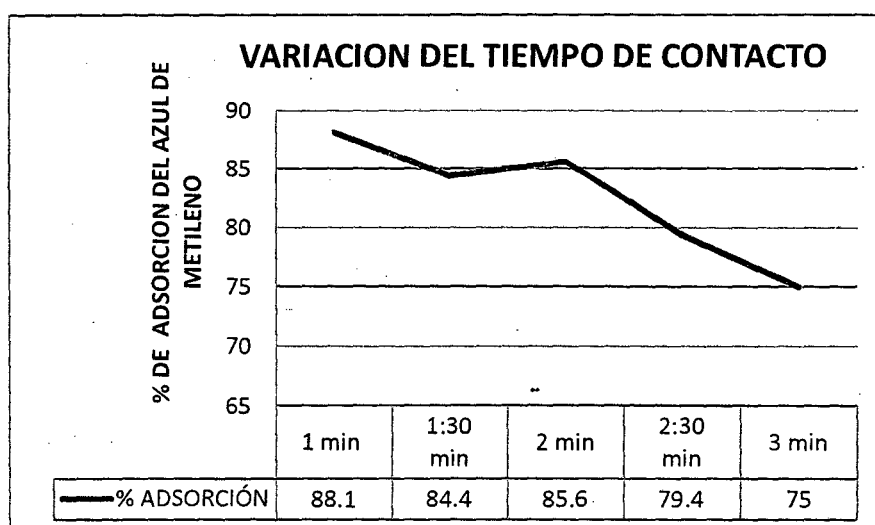
c) Carbón activado de cascara de cacao

CUADRO N° 17: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de cacao.

TIEMPO DE CONTACTO	% ADSORCIÓN
1 min	88.1
1:30 min	84.4
2 min	85.6
2:30 min	79.4
3 min	75

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 06: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao con variación del tiempo de contacto.



Fuente: cuadro N° 17

Interpretación:

En este grafico se observa que inicialmente a un tiempo de contacto de 1 minutos se adsorbió 88.1 %, considerándose como tiempo óptimo de adsorción. Posteriormente al aumentar el tiempo de contacto, el porcentaje de adsorción disminuye tal es el caso de 2 minutos con 85.6% y a 3 minutos con 75% de adsorción.

3.1.2.3. VARIACIÓN DE LOS GRAMOS DE CARBÓN ACTIVADO AGREGADOS A LA SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO

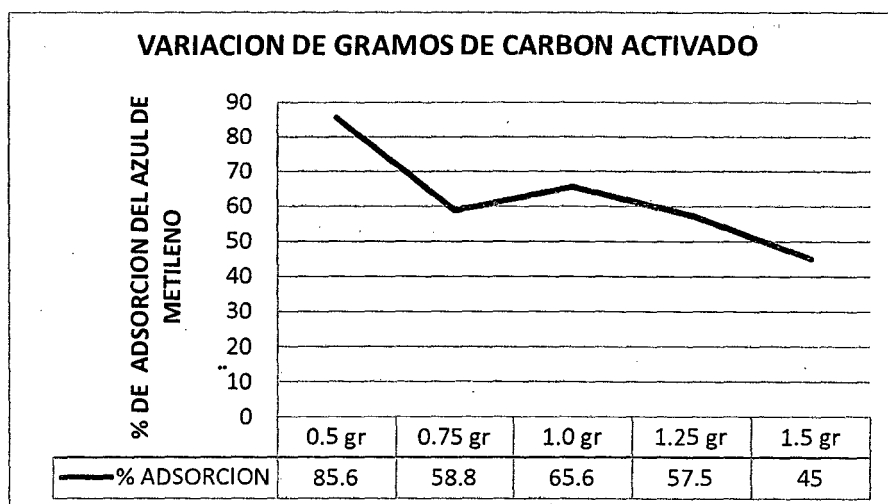
a) Carbón activado de cascara de coco

CUADRO N° 18: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco.

GRAMOS DE CARBON ACTIVADO	% ADSORCION
0.5 gr	85.6
0.75 gr	58.8
1.0 gr	65.6
1.25 gr	57.5
1.5 gr	45

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 07: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de coco con variación de los gramos de carbón activado.



Fuente: cuadro N° 18

Interpretación:

Se observa que el peso óptimo de carbón activado es de 0.5 gr con una adsorción de 85.6%, posteriormente al agregar mayor cantidad de carbón activado, se observa que disminuye el porcentaje de adsorción, por la razón que el carbón activado se ha saturado. Tal es el caso de que al agregar 1gr se adsorbe un 65.6% y finalmente al agregar 1.5 gr este adsorbe tan solo un 45%.

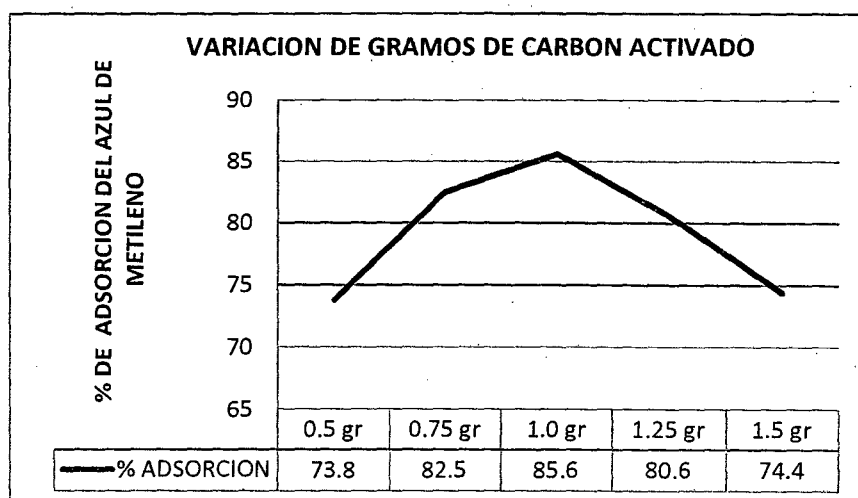
b) Carbón activado de cascara de café

CUADRO N° 19: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café.

GRAMOS DE CARBON ACTIVADO	% ADSORCION
0.5 gr	73.8
0.75 gr	82.5
1.0 gr	85.6
1.25 gr	80.6
1.5 gr	74.4

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 08: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de café con variación de los gramos de carbón activado.



Fuente: cuadro N° 19

Interpretación:

En este grafico se muestra que inicialmente al agregar 0.5 gr de carbón activado, este adsorbe un 73.8%. Posteriormente al agregar 1.0 gr, adsorbe un 85.6% considerándose como el peso óptimo. Finalmente al agregar 1.5 gr el carbón se satura y ya no adsorbe más por lo que disminuye el porcentaje de adsorción a 74.4%.

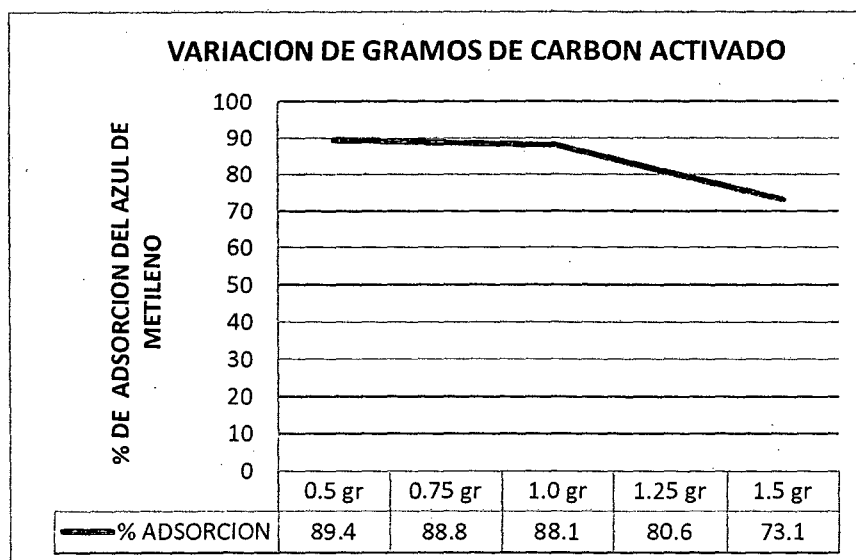
c) Carbón activado de cascara de cacao

CUADRO N° 20: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao.

GRAMOS DE CARBON ACTIVADO	% ADSORCION
0.5 gr	89.4
0.75 gr	88.8
1.0 gr	88.1
1.25 gr	80.6
1.5 gr	73.1

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 09: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cacao con variación de los gramos de carbón activado.



Fuente: cuadro N° 20

Interpretación:

Según los resultados del presente gráfico, se observa que al agregar 0.5 gr de carbón activado, este adsorbe un 89.4% que se considera como el peso óptimo. Posteriormente al agregar mayor peso este tiende a disminuir su porcentaje de adsorción por la saturación de sus poros. Tal es el caso de que al agregar 1.0 gr este adsorbe un 88.1% y al agregar 1.5 gr este disminuye a 73.1% de adsorción.

3.1.2.4. PORCENTAJE PROMEDIO DE ADSORCION DE LA SOLUCION DE AZUL DE METILENO.

Con el propósito de tener una referencia más detallada sobre el porcentaje de adsorción del carbón activado de cascara de coco, café y cacao, se ha visto por conveniente promediar los porcentajes de adsorción de la solución de azul de metileno. Para este caso se ha considerado promediar las variables: tiempo y peso de carbón activado.

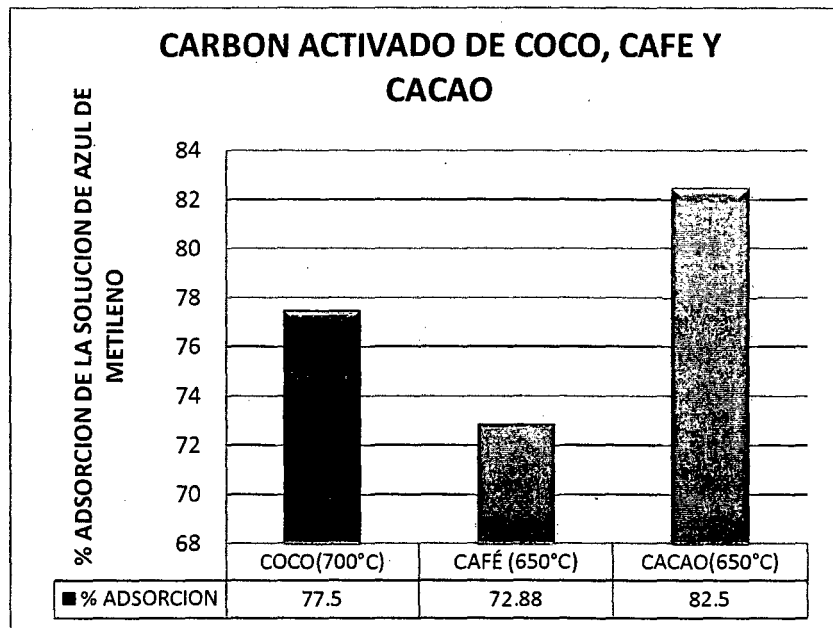
A. VARIACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO DEL CARBÓN ACTIVADO CON LA SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO

CUADRO N° 21: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco, café y cacao.

MUESTRA	% ADSORCION
COCO(700°C)	77.5
CAFÉ (650°C)	72.88
CACAO(650°C)	82.5

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Grafico N° 10: Porcentaje de adsorción del carbón activado (cascaras de coco, café y cacao) con la solución de azul de metileno con variación del tiempo de contacto.



Fuente: cuadro N° 21

Interpretación:

Según los resultados observados en el gráfico, se muestra que el carbón activado de la cascara de cacao tuvo mayor adsorción de la solución de azul de metileno con un 82.5% de adsorción, por lo que se puede concluir que este tuvo mayor cantidad y distribución de poros a comparación con el carbón activado de la cascara de coco (77.5%) y café (72.88%).

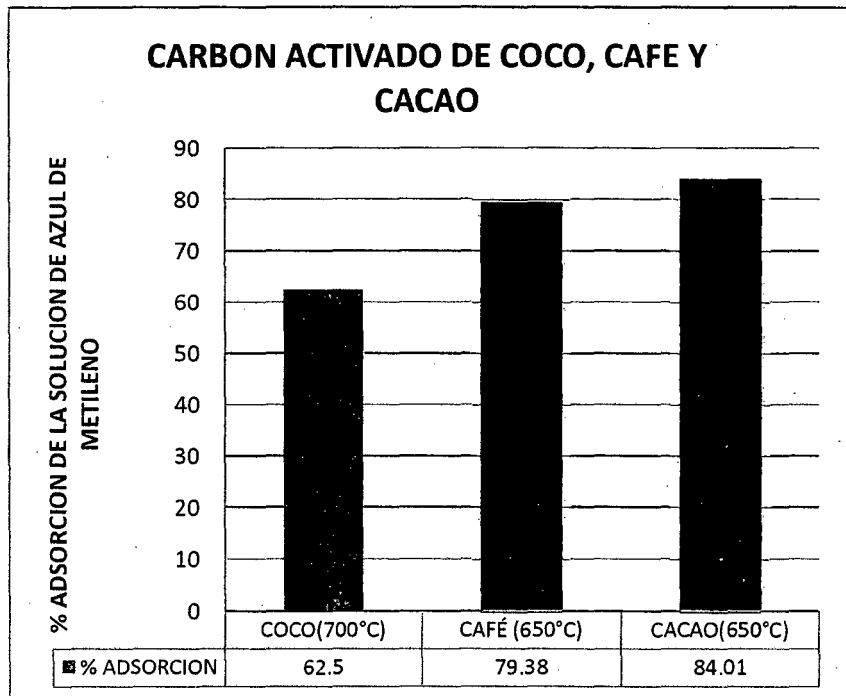
B. VARIACION DEL PESO DEL CARBON ACTIVADO DE LAS CASCARAS DE COCO, CAFÉ Y CACAO

CUADRO N° 22: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado de cascara de coco, café y cacao.

MUESTRA	% ADSORCION
COCO(700°C)	62.5
CAFÉ (650°C)	79.38
CACAO(650°C)	84.01

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 11: Porcentaje de adsorción del carbón activado (cascaras de coco, café y cacao) con la solución de azul de metileno con variación del peso del carbón



Fuente: cuadro N° 22

Interpretación:

En el grafico se muestra que al hacer variar el peso del carbón activado y promediando los resultados, el carbón activado de cascara de cacao posee mayor adsorción con un 84.01%, mientras el carbón activado de coco posee un 79.38% y café con un 62.5% de adsorción.

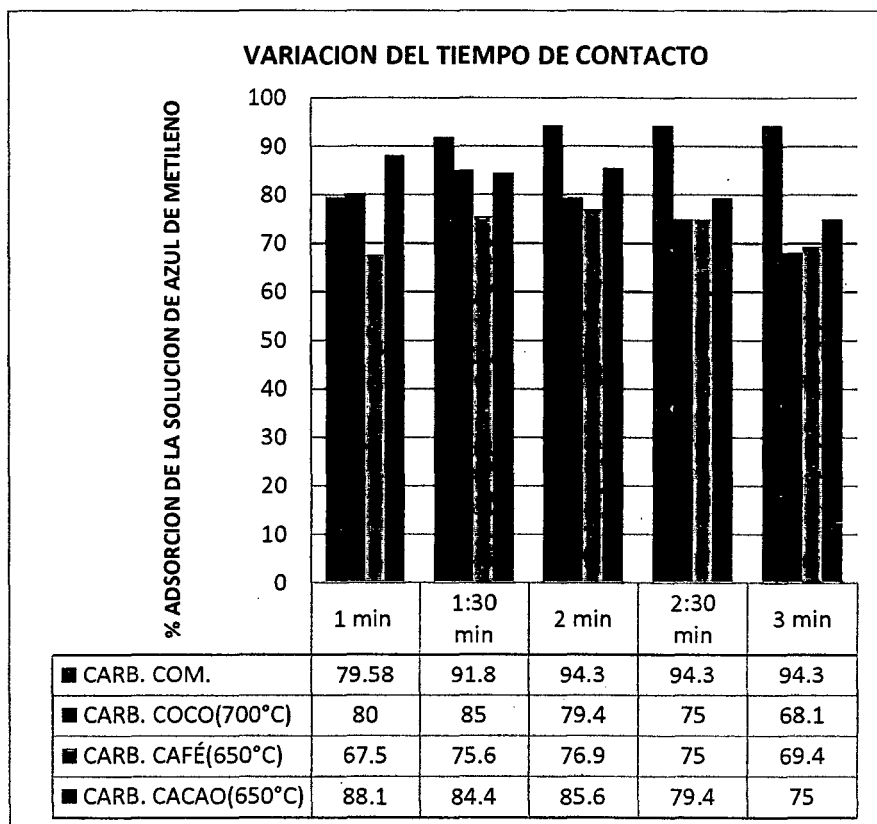
3.1.2.5. COMPARACION DEL CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL VS EL CARBON ACTIVADO EXPERIMENTAL.

CUADRO N° 23: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado experimental y carbón activado comercial con variación del tiempo de contacto.

TIEMPO	CARB. COM.	CARB. COCO(700°C)	CARB. CAFÉ(650°C)	CARB. CACAO(650°C)
1 min	79.58	80	67.5	88.1
1:30 min	91.8	85	75.6	84.4
2 min	94.3	79.4	76.9	85.6
2:30 min	94.3	75	75	79.4
3 min	94.3	68.1	69.4	75

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 12: Porcentaje de adsorción del carbón activado comercial VS carbón activado experimental en función al tiempo de contacto.



Fuente: cuadro N° 23

Interpretación:

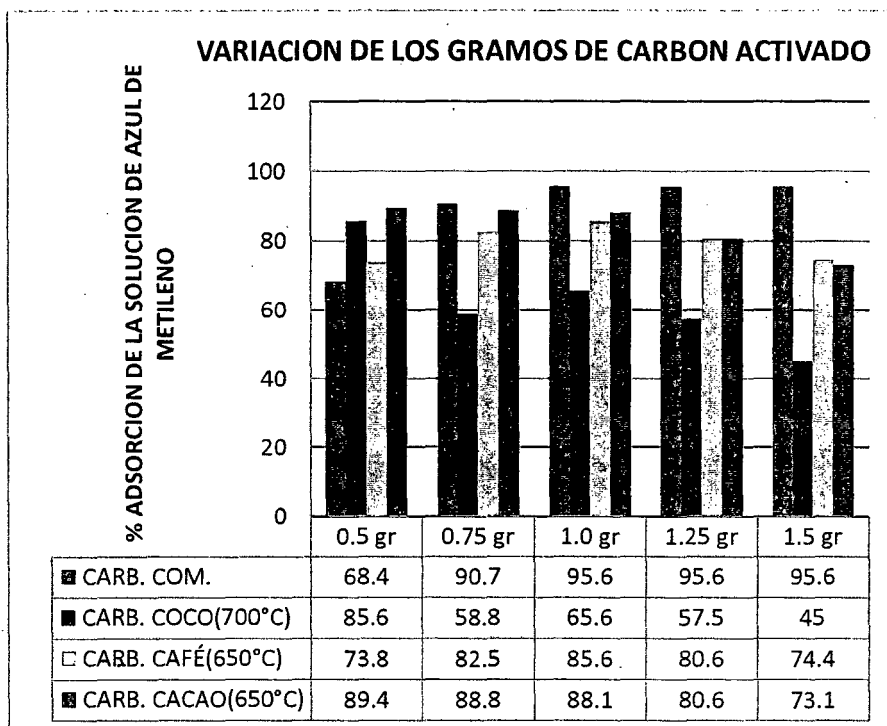
En el presente gráfico haciendo variar el tiempo de contacto se muestra, que el carbón activado experimental a un tiempo de 2.0 minutos posee un 94.3% de adsorción y al aumentar el tiempo de contacto este se mantiene constante. Para el carbón activado de cascara de coco el % de adsorción máximo es a un tiempo de 1.30 minutos (85%), para la cascara de café a 2 minutos (76.9%) y finalmente la cascara de cacao se observó que a 1 minuto tuvo un 88.1% de adsorción.

CUADRO N° 24: Adsorción de la solución de azul de metileno con carbón activado experimental y carbón activado comercial con variación de los gramos del carbón activado.

PESO	CARB. COM.	CARB. COCO(700°C)	CARB. CAFÉ(650°C)	CARB. CACAO(650°C)
0.5 gr	68.4	85.6	73.8	89.4
0.75 gr	90.7	58.8	82.5	88.8
1.0 gr	95.6	65.6	85.6	88.1
1.25 gr	95.6	57.5	80.6	80.6
1.5 gr	95.6	45	74.4	73.1

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

GRAFICO N° 13: Porcentaje de adsorción carbón activado comercial VS carbón activado experimental en función al peso.



Fuente: cuadro N° 24

Interpretación:

En el presente gráfico haciendo variar los gramos del carbón activado, se muestra que el carbón activado experimental a un peso de 1.0 gr posee un 95.6% de adsorción y al aumentar los gramos del carbón activado este se mantiene constante. Para el carbón activado de cascara de coco el % de adsorción máximo es a un peso de 0.5 gr (85.6%), para la cascara de café a 1.0 gr (85.6 %) y finalmente la cascara de cacao se observó que a 0.75 gr tuvo un 88.8% de adsorción.

3.1.2.6. ANALISIS ESTADISTICO CON LA PRUEBA T-STUDENT PARA IDENTIFICAR SI EXISTE SIGNIFICANCIA DURANTE LA VARIACION DE LA TEMPERATURA DE CARBONIZACION-ACTIVACION PARA CADA UNA DE LAS MUESTRAS DE CASCARAS DE COCO, CAFÉ Y CACAO

A). CASCARA DE COCO

CUADRO N° 25: Diseño Completamente Aleatorizado (DCA).

COCO	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C			
	31.8	58.1	60.6	83.8	82.3			
	42.1	53.6	61.8	86.5	81.4			
	36.4	49.8	57.9	80.9	79.7			
	48.6	59	62.1	85.4	80.8			
	40.7	48.7	59.4	90.1	77.9			
total	199.6	269.2	301.8	426.7	402.1	1599.4	n	a
promedio	39.92	53.84	60.36	85.34	80.42	63.976	5	5
varianza	39.757	21.893	3.033	11.523	2.877		SSa	
SSa	-24.056	-10.136	-3.616	21.364	16.444	1421.33072	7106.6536	

Fuente: Datos calculados por el investigador

**CUADRO N° 26: Obtención de suma de cuadrados del total,
suma de cuadrados del error, cuadrados medios**

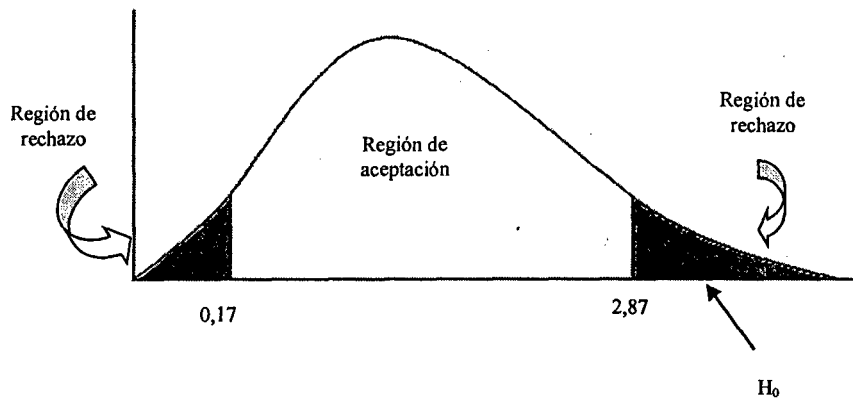
-32.176	-5.876	-3.376	19.824	18.324	1809.97968		
-21.876	-10.376	-2.176	22.524	17.424	1401.88208		
-27.576	-14.176	-6.076	16.924	15.724	1531.97848		
-15.376	-4.976	-1.876	21.424	16.824	1006.73608		
-23.276	-15.276	-4.576	26.124	13.924	1672.40928		
a(n-1)	a-1			SSt	7422.9856		Sx
20	4			SSe	316.332	63.2664	7.95401785
				MSa	1776.6634		
				S2	15.8166		
				F(calculado)	112.329034		

Fuente: Datos calculados por el investigador

**CUADRO N° 27: Análisis de varianza para el porcentaje de
adsorción del carbón activado de cáscara de coco**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (gl)	Cuadrado Medio (MS)	F calculada	F tabular
Temperaturas	7106,6536	4	1776,6634	112,329	2,87
Error	316,332	20	15,8166		
Total	7422,9856	24			

Fuente: Datos calculados por el investigador



Interpretación:

Según el cuadro 27, se muestran los resultados del análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de coco, obtenidos producto de la aplicación de las fórmulas estadísticas (suma de cuadrados, cuadrado medio y prueba F de Fisher-Snedecor) para la verificación de la hipótesis, obteniéndose un valor calculado de $F_c = 112,329$ y un valor tabular de $F_{\alpha} = 0,17$ y $F_{\alpha} = 2,87$ (obtenido de la tabla de probabilidad de la distribución F de Fisher- Snedecor con 4 y 20 grados de libertad y un nivel de significancia del 5%), observándose que el valor calculado es mayor que el valor tabular derecho, el cual permite que la hipótesis nula $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ se ubique dentro de la región de rechazo, por consiguiente se decide aceptar la hipótesis de investigación $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$. Significando que al 95% de confianza, existe diferencia significativa en el porcentaje de adsorción respecto a las temperaturas que es sometida la cáscara de coco.

**Determinación de la temperatura óptima para el carbón
activado de cáscara de coco**

a) Determinación de la desviación estándar de la media:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{CM_e}{r}} = \sqrt{\frac{316,332}{5}} = 7,954$$

b) Determinación de la amplitud del límite de significación de
Duncan $ALS(D) = AES(D)S_{\bar{x}}$

p	2	3	4	5
AES(D)	2,95	3,097	3,19	3,255
$S_{\bar{x}}$	7,954			
ALS(D)	23.4643	24.633538	25.37326	25.89027

c) Matriz de diferencias

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	T ₄
	39,92	53,84	60,36	80,42	85,34
T ₁ = 39,92	-	13,92	20,44	40,5	45,42*
T ₂ = 53,84	-	-	6,52	26,58	31,5
T ₃ = 60,36	-	-	-	20,06	24,98
T ₅ = 80,42	-	-	-	-	4,92
T ₄ = 85,34	-	-	-	-	-
ALS(D)		23.4643	24.633538	25.37326	25.89027

(*) Diferencia significativa al 5%

d) Determinación de la temperatura óptima: T₄

La temperatura óptima que debe ser sometido la cáscara de coco para la obtención del carbón activado es de 700⁰C.

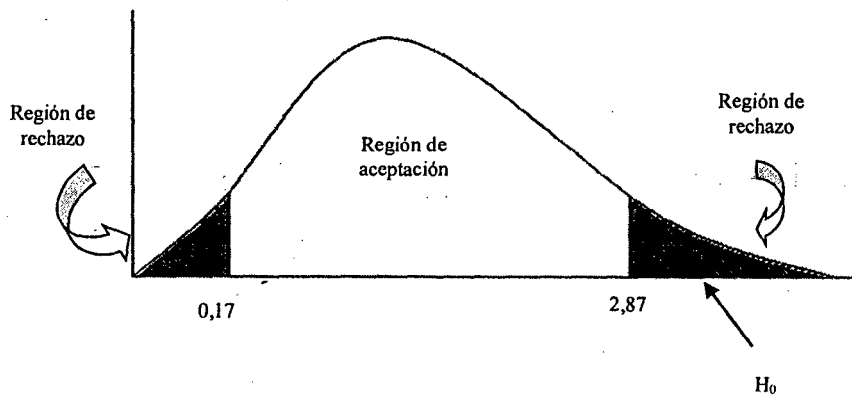
B). CASCARA DE CAFÉ

Para realizar el análisis de varianza de las muestras de carbón activado de cascara de café. Se varió las temperaturas de carbonización-activación desde 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C. (Ver Anexo N° 01).

CUADRO N° 28: Análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de café.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (gl)	Cuadrado Medio (MS)	F calculada	F tabular
Temperaturas	2659,008	4	664,752	433,4585	2,87
Error	30,672	20	1,5336		
Total	2689,68	24			

Fuente: Datos calculados por el investigador.



Interpretación:

Según el cuadro 28, se muestra los resultados del análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de café, obtenidos producto de la aplicación de las fórmulas estadísticas (prueba F de Fisher-Snedecor) para la verificación de la hipótesis, obteniéndose

un valor calculado de $F_c = 433,4585$ y un valor tabular de $F_{ii} = 0,17$ y $F_{is} = 2,87$ (obtenido de la tabla de probabilidad de la distribución F de Fisher- Snedecor con 4 y 20 grados de libertad y un nivel de significancia del 5%), observándose que el valor calculado es mayor que el valor tabular derecho, el cual permite que la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ se ubique dentro de la región de rechazo, por consiguiente se decide aceptar la hipótesis de investigación $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$. Significando que al 95% de confianza, existe diferencia significativa en el porcentaje de adsorción respecto a las temperaturas que es sometida la cáscara de café.

Determinación de la temperatura óptima para el carbón activado de cáscara de café

a) Determinación de la desviación estándar de la media:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{CM_e}{r}} = \sqrt{\frac{30,672}{5}} = 2,477$$

b) Determinación de la amplitud del límite de significación de Duncan $ALS(D) = AES(D)S_{\bar{x}}$

p	2	3	4	5
AES(D)	2.95	3.097	3.19	3.255
$S_{\bar{x}}$	2.477			
ALS(D)	7.30715	7.671269	7.90163	8.062635

c) Matriz de diferencias

	T ₅	T ₁	T ₂	T ₄	T ₃
	63,62	69,62	78,74	88,66	89,86
T ₅ = 63,62	-	6	15.12	25.04	26.24*
T ₁ = 69,62	-	-	9.12	19.04	20.24
T ₂ = 7874	-	-	-	9.92	11.12
T ₄ = 88,66	-	-	-	-	1.2
T ₃ = 89,86	-	-	-	-	-
ALS(D)		7.31	7.67	7.9	8.06

(*) Diferencia significativa al 5%

d) Determinación de la temperatura óptima: T₃

La temperatura óptima que debe ser sometido la cáscara de café para la obtención del carbón activado es de 650^oC

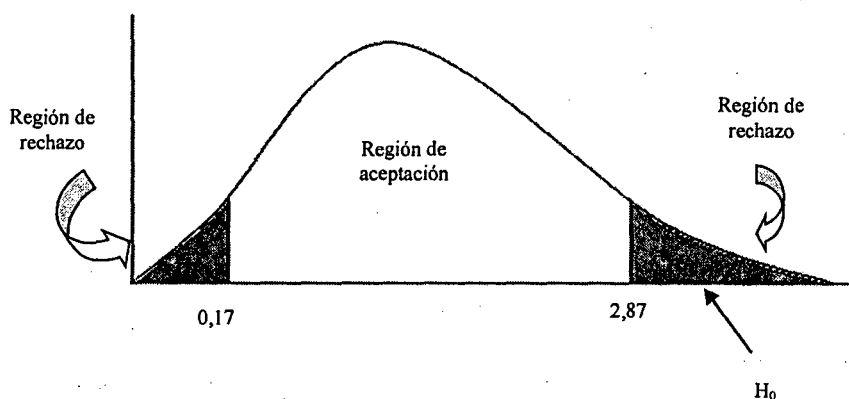
C). CASCARA DE CACAO

Para realizar el análisis de varianza de las muestras de carbón activado de cascara de coco. Se varió las temperaturas de carbonización-activación desde 550^oC, 600^oC, 650^oC, 700^oC, 750^oC. (Ver Anexo N° 01).

Cuadro N° 29: Análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de cacao

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (gl)	Cuadrado Medio (MS)	F calculada	F tabular
Temperaturas	5094,9816	4	1273,7454	102,7960 13	2,87
Error	247,82	20	12,391		
Total	5342,8016	24			

Fuente: Datos calculados por el investigador.



Interpretación:

Según el cuadro 29, se muestra los resultados del análisis de varianza para el porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de cacao, obtenidos producto de la aplicación de las fórmulas estadísticas (prueba F de Fisher-Snedecor) para la verificación de la hipótesis, obteniéndose un valor calculado de $F_c = 102,796013$ y un valor tabular de $F_{\alpha} = 0,17$ y $F_{\alpha} = 2,87$ (obtenido de la tabla de probabilidad de la distribución F de Fisher- Snedecor con 4 y 20 grados de libertad y un nivel de

significancia del 5%), observándose que el valor calculado es mayor que el valor tabular derecho, el cual permite que la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ se ubique dentro de la región de rechazo, por consiguiente se decide aceptar la hipótesis de investigación $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$. Significando que al 95% de confianza, existe diferencia significativa en el porcentaje de adsorción respecto a las temperaturas que es sometida la cáscara de cacao.

Determinación de la temperatura óptima para el carbón activado de cáscara de cacao

a) Determinación de la desviación estándar de la media:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{CM_e}{r}} = \sqrt{\frac{247,82}{5}} = 7,040$$

b) Determinación de la amplitud del límite de significación de Duncan $ALS(D) = AES(D)S_{\bar{x}}$

p	2	3	4	5
AES(D)	2.95	3.097	3.19	3.255
$S_{\bar{x}}$	7.040			
ALS(D)	20.768	21.80288	22.4576	22.9152

c) Matriz de diferencias

	T ₁	T ₂	T ₅	T ₄	T ₃
	55,28	81,78	84,72	91,62	96,32
T ₁ = 55,28	-	26.5	29.44	36.34	41.04*
T ₂ = 81,78	-	-	2.94	9.84	14.54
T ₅ = 84,72	-	-	-	6.9	11.6
T ₄ = 91,62	-	-	-	-	4.7
T ₃ = 96,32	-	-	-	-	-
ALS(D)		20.77	21.80	22.46	22.92

(*) Diferencia significativa al 5%

d) Determinación de la temperatura óptima: T₃

La temperatura óptima que debe ser sometido la cáscara de cacao para la obtención del carbón activado es de 650⁰C.

3.2. DISCUSIONES

- ❖ En el Alto Mayo se practican los cultivos de coco, café, cacao, la cual se consideran como fuentes de ingreso. Durante el proceso de cosecha se genera una gran cantidad de residuos agrícolas que son arrojados y no son aprovechados por los agricultores, esto como consecuencia genera impactos ambientales como la lixiviación, problemas estéticos del medio, además la acumulación de estos se considera como un medio apropiado para la proliferación de distintos vectores de enfermedades, por lo que implicaría serios problemas sanitarios.
- ❖ Antes de realizar el análisis de las características físico-químicas de las muestras con las que se va obtener el carbón activado, se tiene que secar a temperatura ambiente con la finalidad de homogenizar las muestras y de esta manera cuando se realicen los análisis estas no presenten una diferencia muy significativa en su resultado.
- ❖ Durante el análisis de las variables que influyen en la preparación y activación del carbón activado. El presente proyecto se centró en una variable que es la temperatura de carbonización-activación. Esta variable es muy importante ya que influye sobre la naturaleza de la formación del centro activo del carbón y en la formación de los poros del carbón activado (macroporos, mesoporos y microporos). A partir de este análisis, se identificó cual es la temperatura optima (eficiencia) en donde se produce una mayor adsorción de la solución de azul de metileno.
- ❖ Al realizar el análisis de la eficiencia del carbón activado (% adsorción de la solución de azul de metileno), se ha mostrado que el carbón activado de la cascara de coco, café y cacao, tienen diferente porcentaje de adsorción, debido a la cantidad y distribución de poros que presenta cada uno de ellos, por lo que se ha observado que a mayor distribución de poros del carbón activado entonces va haber mayor porcentaje de adsorción.

- ❖ Con el presente proyecto de investigación, se tuvo como propósito obtener carbón activado a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo, al mismo tiempo dar a conocer sobre la importancia y las aplicaciones que se le puede dar al Carbón Activado, tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa. Además de sensibilizar a los estudiantes y demás lectores que al reaprovechar los residuos agrícolas, se puede obtener un producto, el cual puede ser incluido dentro del mercado y de esta manera generar ingresos económicos.

3.3. CONCLUSIONES

1. Durante el proceso de adsorción, se determinó que la eficiencia del carbón activado de la cascara de coco es a una temperatura de 700°C (85.34%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 1:30 min (85%) y agregando 0.5 gr (85.6%).
2. La eficiencia del carbón activado de la cascara de café es a una temperatura de 650°C (89.86%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 2 min (76.9%) y agregando 1 gr (85.6%).
3. La eficiencia del carbón activado de la cascara de café es a una temperatura de 650°C (96.32%), tiempo de contacto del carbón activado con la solución de azul de metileno de 1 min (88.1%) y agregando 0.5 gr (89.4%).
4. De acuerdo al análisis estadístico realizado, se concluye que la temperatura óptima que debe ser sometido la cáscara de coco para la obtención del carbón activado es de 700⁰C, la cascara de café a 650°C y finalmente la cascara de cacao a 650°C.
5. Se concluye que el porcentaje promedio de adsorción realizados en los análisis extras; el carbón activado obtenido de la cascara de cacao presenta mayor adsorción en la remoción de la solución de azul de metileno. Identificándose que durante la variación del tiempo de contacto presentó una eficiencia de 82.5% y durante la variación del peso del carbón activado presentó una eficiencia de 84.01%.
6. Se obtuvo carbón activado con buena eficiencia con rangos mayores de 65% de adsorción, la cual fue demostrado según los análisis comparativos realizados con el carbón activado comercial y el carbón activado obtenido experimentalmente a partir de los residuos agrícolas del Alto Mayo.

3.4. RECOMENDACIONES

- ✓ En el proceso de carbonización- activación, utilizar mascarilla ya que debido al aumento de la temperatura (combustión) se emanan ciertos gases que pueden ser tóxicos. Además tener presente que al agregar el agente activante para cada una de las muestras, este debe ser homogéneo para tener mayor confiabilidad en los resultados. De igual manera al someter las muestras en la mufla y controlar el tiempo de carbonización con un cronómetro.
- ✓ Para el proceso de adsorción de la solución de azul de metileno, se debe contar con un Homogenizador que puede ser elaborado de manera casera, ya que este cumple una función muy importante ya que homogeniza al carbón activado con el azul de metileno.
- ✓ Sensibilizar constantemente a los estudiantes y población en general sobre las utilidades que se le puede dar al carbón activado especialmente durante los procesos de purificación de gases y la depuración de aguas contaminadas.
- ✓ Realizar estudios de factibilidad económica con la finalidad de producir carbón activado de los diferentes residuos agrícolas que se generan durante las actividades agrícolas y de esta manera utilizarlos a estos como un ingreso económico para los productos de carbón activado.
- ✓ Educar e incentivar que se desarrollen más trabajos de investigación en cuanto a la producción de carbón activado usando otros métodos de activación, diferentes materias primas generadas por la actividad agrícola propiamente dicha.
- ✓ Financiar que se construya una planta piloto con la finalidad de producir carbón activado a mayor escala e introducir el producto final en el mercado y de esta manera generar ingresos económicos.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A.L.; Loh, M.M. and Aziz, J.A. (2007). "PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM OIL PALM WOOD ANT ITS EVALUATION ON METHYLENE BLUE ADSORPTION". New York. Pag. 57-69.
- Bardález Viena A. (2005). "OBTENCIÓN QUÍMICA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL ENDOCARPO DE COCO (*Coccus nucifera*) EN LA REGIÓN SAN MARTÍN". Tarapoto- Perú. Pag.22-79.
- Bastidas Marlon, Buelvas Lina M., Márquez María I. y Rodríguez Kellys. (2009). "PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE PRECURSORES CARBONOSOS DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA". Colombia. Pag. 31-64.
- Fernández Rodríguez Aramís, Castillo Eguis Casto Rafael. "ASPECTOS INDUSTRIALES DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO Y SUS APLICACIONES EN LA MITIGACIÓN AMBIENTAL". La Habana-Cuba, 2006. Pag. 27-49.
- García Matamoros Jorge Bedia. (2008). "CATALIZADORES CARBONOSOS OBTENIDOS MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS". MÁLAGA. Pag. 124-153.
- Giraldo, L.; García, V., Moreno, J. C. (2008). "CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL EN FASE GAS Y LÍQUIDA DE CARBONES ACTIVADOS". Bogotá, Colombia. Edit. Revista de ingeniería. Pag. 79-130.
- Gómez, A., W. Klose, S. Rincón y W. Wiest. (2004). "PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE PALMA DE ACEITE EN UN HORNO ROTATORIO Y SU APLICACIÓN EN LA LIMPIEZA DE NO". New York. Edit. Palmas. Pag. 461- 471.

- Hawley. (2001). "DICCIONARIO DE QUÍMICA Y PRODUCTOS QUÍMICOS". New York. Ed. Omega, 2ª editorial. Pag. 194, 490, 880.
- Ioannidou, O. y A. Zabaniotou. (2007). "AGRICULTURAL RESIDUES AS PRECURSORS FOR ACTIVATED CARBON PRODUCTION". Greece. Pag. 95-97.
- Lehner, R. (2004). "CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CASCARILLAS DE COCO". Guayaquil-Ecuador. Pag. 49-55, 71-82.
- Leyva, R. (2007). "IMPORTANCIA Y APLICACIONES DE LA ADSORCIÓN EN FASE LÍQUIDA, EN SÓLIDOS POROSOS PREPARACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES". Bogotá, Colombia. Pag. 155-207.
- Luna Donaciano, González Armando, Gordon Manuel y Martín Nancy. (2007). "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CASCARA DE COCO". México. Pag. 67-80.
- Martín, J.M. (2000.) "ADSORCIÓN FÍSICA DE GASES Y VAPORES POR CARBONES". España. Editorial Espagrafic. Pag. 112-119.
- Milan Smisek, R. (2004)."ACTIVE CARBON MANUFACTURE. PROPERTIES AND APLICATIONS". New York. Edit. American Elsevier Publishing Company, INC. Pag.80-84.
- Mont, Ele. (2003). "PLANTA DE CARBONIZACIÓN DE BIOMASA LEÑOSA Y ACTIVACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVO", Italia. Pag. 30-45.

- Montaña Gutiérrez, Patiño Valencia. (2005). "PROYECTO DE FABRICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD". Guayaquil. Pag. 40-49; 57-61.
- Moreno, C.; (2004). "ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS AGUAS MEDIANTE ADSORCIÓN EN MATERIALES DE CARBÓN". Madrid.
- Paredes Doig Ana Lucia. (2011). "ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO PREPARADO A PARTIR DE LA CASCARA DE CASTAÑA". Lima-Perú.
- Reyna Figueroa Juan José. (2006). "ADSORCIÓN DE CROMO PRESENTE EN LOS EFLUENTES DE LAS CURTIEMBRES EMPLEANDO CARBÓN ACTIVADO". Trujillo-Perú. Pag. 12-42.
- Robau Sánchez, A. J., (2006) "SÍNTESIS DE TAMICES MOLECULARES DE CARBÓN A PARTIR DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS". México. Pag. 18-29.
- Rodríguez, F. (2005). "CARBÓN ACTIVADO: ESTRUCTURA, PREPARACIÓN Y APLICACIONES". Granada. Edit. Revista Uniandes. Pag. 66-6.
- Tomalá Andrade Cesar Enrique. (2000). "ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE ORO DE CARBÓN ACTIVADO Y SU ELECTRODEPOSICIÓN". Guayaquil-Ecuador. Pag. 55-59; 71-76.

REFERENCIAS VIRTUALES

- [www.Descripción del carbón. htm](#)
- [www.Lenntech.com](#)
- [www.oviedo.es/ personales/ carbón/ activo/impqcatex.htm](#). carbón activo. Febrero de 2007.
- [www.cofupro.org.mx/ 04.documento/ bases/pennitt/ penit118.pdf](#)-enero del 2006.
- [www. infquimi/ revista 01/ id 72.htm](#). carbón activado: preparación y aplicaciones. Junio de 2005.

ANEXOS.

ANEXO N° 01: Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación de la temperatura de carbonización-activación.

CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE COCO

550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
31.8	58.1	60.6	83.8	82.3
42.1	53.6	61.8	86.5	81.4
36.4	49.8	57.9	80.9	79.7
48.6	59.0	62.1	85.4	80.8
40.7	48.7	59.4	90.1	77.9

FUENTE: Elaboración propia, 2013.

CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE CAFÉ

550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
70.6	80.6	91.3	90.6	65.6
68.3	78.6	90.4	88.1	63.1
69.4	77.8	88.1	88.0	61.8
70.1	77.5	89.9	87.2	64.6
69.7	79.2	89.6	89.4	63.0

FUENTE: Elaboración propia, 2013.

CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE CACAO

550°C	600°C	650°C	650°C	700°C
84.4	86.8	98.7	96.3	88.8
86.5	86.5	98.6	93.5	85.0
80.1	80.4	97.9	88.2	86.6
84.7	85.9	92.1	90.4	80.3
79.8	86.0	94.3	89.7	82.9

FUENTE: Elaboración propia, 2013.

ANEXO N° 02: Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación del tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución. Considerando las temperaturas óptimas.

MUESTRA/ TEMPERATURA	TIEMPO DE ADSORCION	% ADSORCION
COCO/700°C	1 min	80.0
	1.30min	85.0
	2 min	79.4
	2.30 min	75.0
	3 min	68.1
CAFE/650°C	1 min	67.5
	1.30min	75.6
	2 min	76.9
	2.30 min	75
	3 min	69.4
CACAO/650°C	1 min	88.1
	1.30min	84.4
	2 min	85.6
	2.30 min	79.4
	3 min	75.0

FUENTE: Elaboración propia, 2013.

ANEXO N° 03: Datos de % adsorción de la solución de azul de metileno con variación del peso del carbón activado. Considerando las temperaturas óptimas.

MUESTRA/ TEMPERATURA	<u>GRAMOS DE CARBON ACTIVADO</u>	% ADSORCION
COCO/700°C	0.5 gr	85.6
	0.75 gr	58.8
	1.0 gr	65.6
	1.25 gr	57.5
	1.5 gr	45.0
CAFE/650°C	0.5 gr	73.8
	0.75 gr	82.5
	1.0 gr	85.6
	1.25 gr	80.6
	1.5 gr	74.4
CACAO/650°C	0.5 gr	89.4
	0.75 gr	88.8
	1.0 gr	88.1
	1.25 gr	80.6
	1.5 gr	73.1

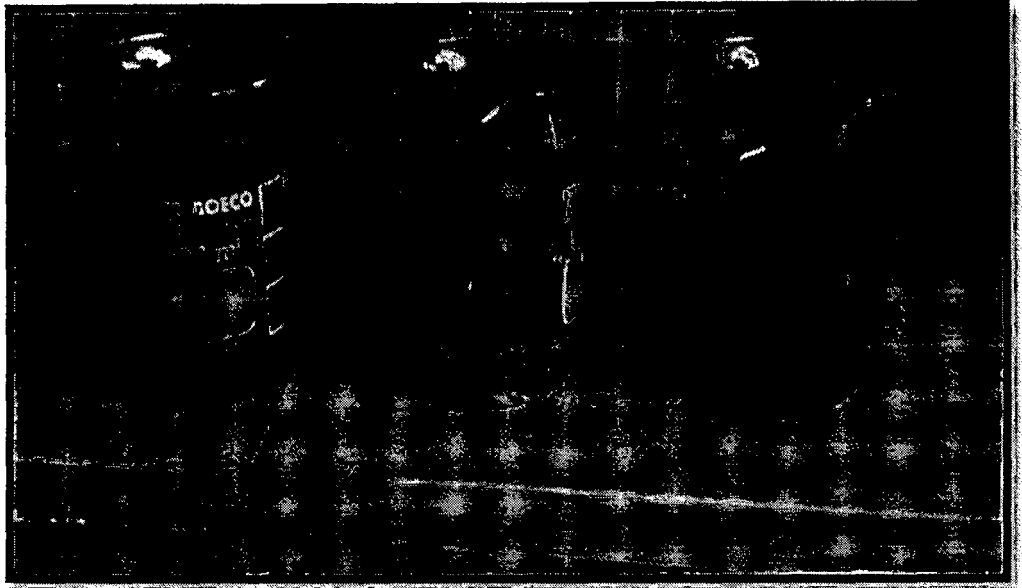
FUENTE: Elaboración propia, 2013.

ANEXO N° 04:

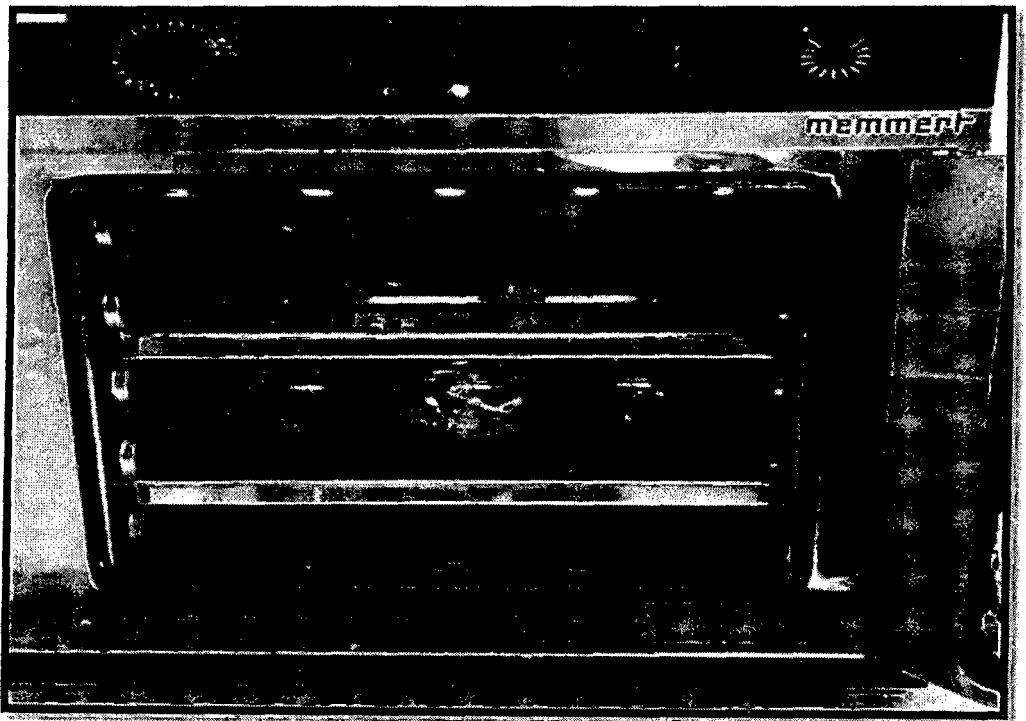
PANEL

FOTOGRAFICO

FOTOGRAFIA N°01: Muestras utilizadas en el desarrollo de la investigación (cascaras de café, coco y cacao).



FOTOGRAFIA N°02: Secado de la materia prima en la estufa.



FOTOGRAFIA N°03: Agregando el agente activante a la materia prima.



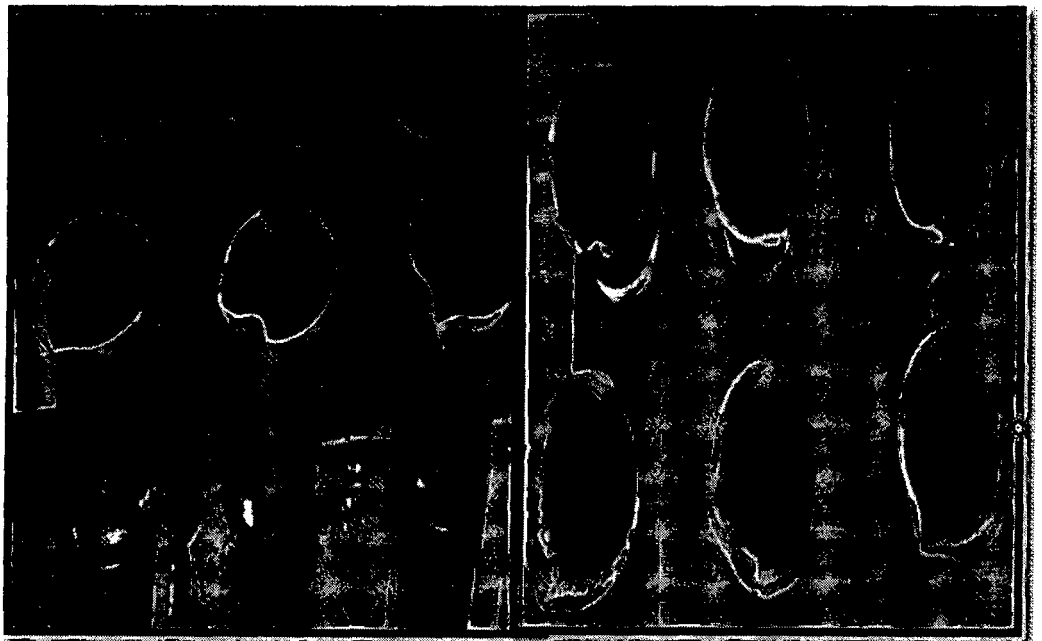
FOTOGRAFIA N°04: Etapa de carbonización-activación de la muestra en la mufla.



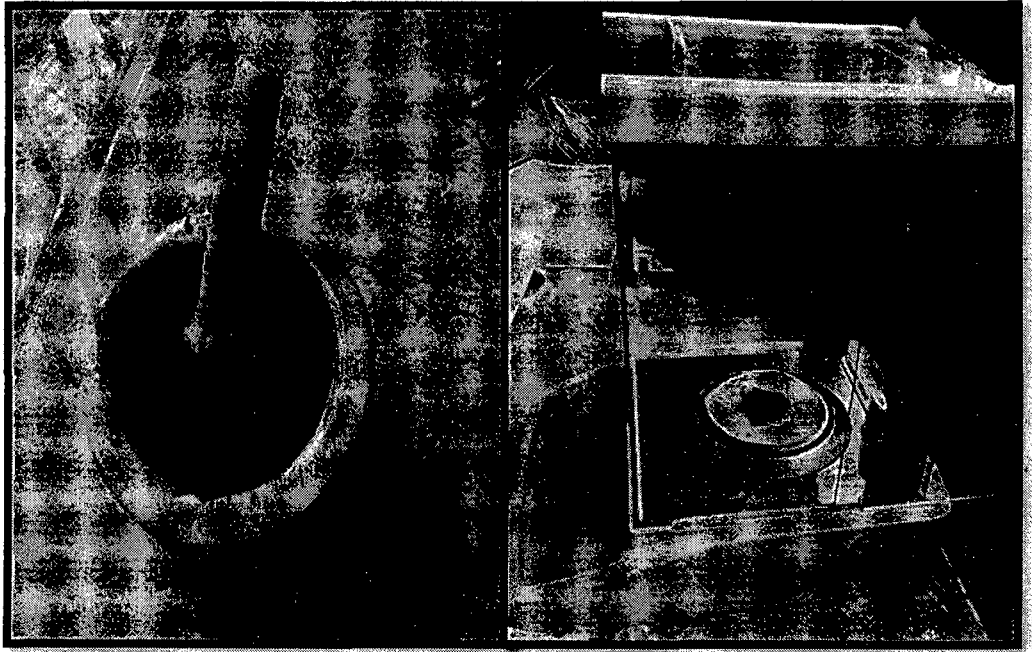
FOTOGRAFIA N°05: Obtención final del Carbón activado.



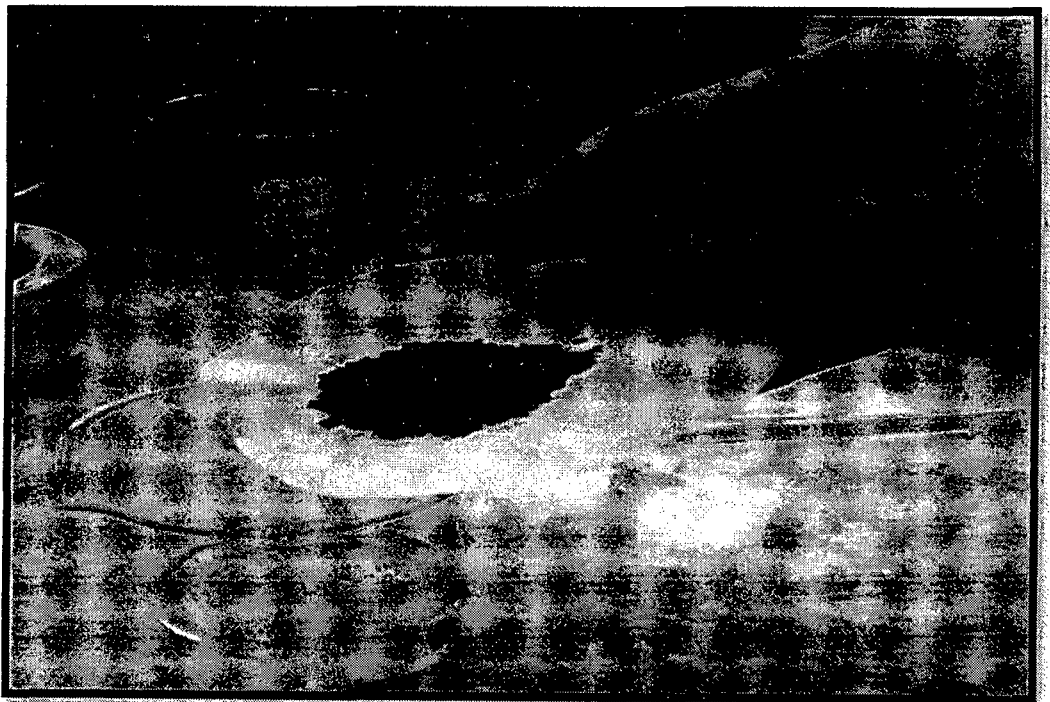
FOTOGRAFIA N°06: Lavado del Carbón activado con agua destilada.



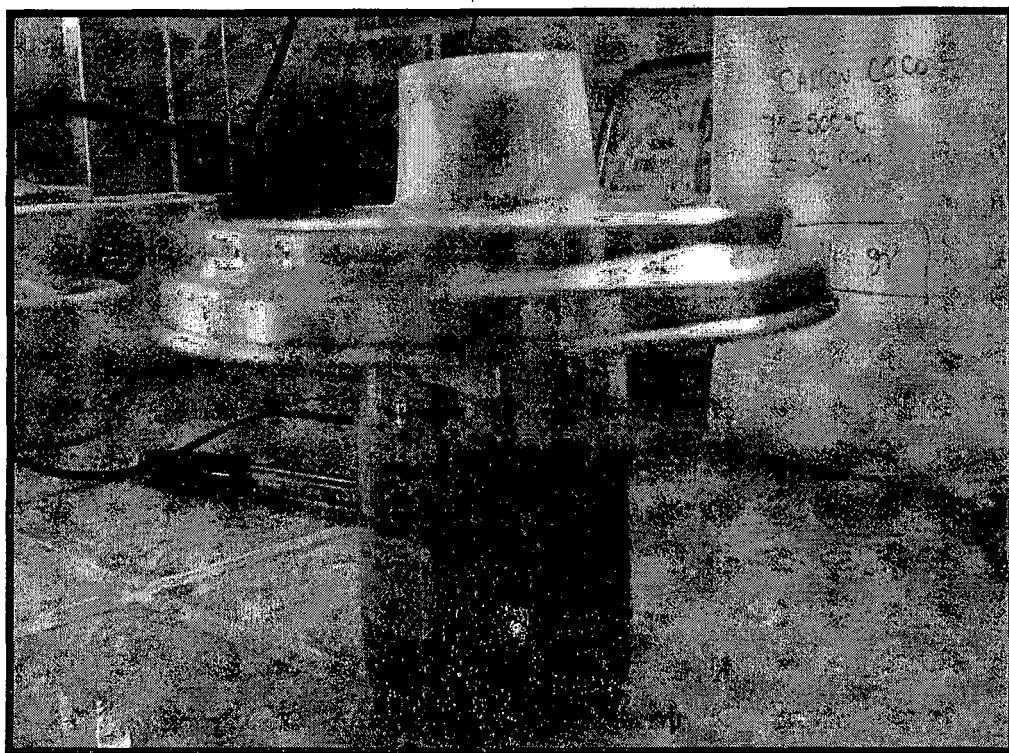
FOTOGRAFIA N°07: Trituración y pesado del carbón activado



FOTOGRAFIA N°08: Agregando carbón activado a la solución de azul de metileno.



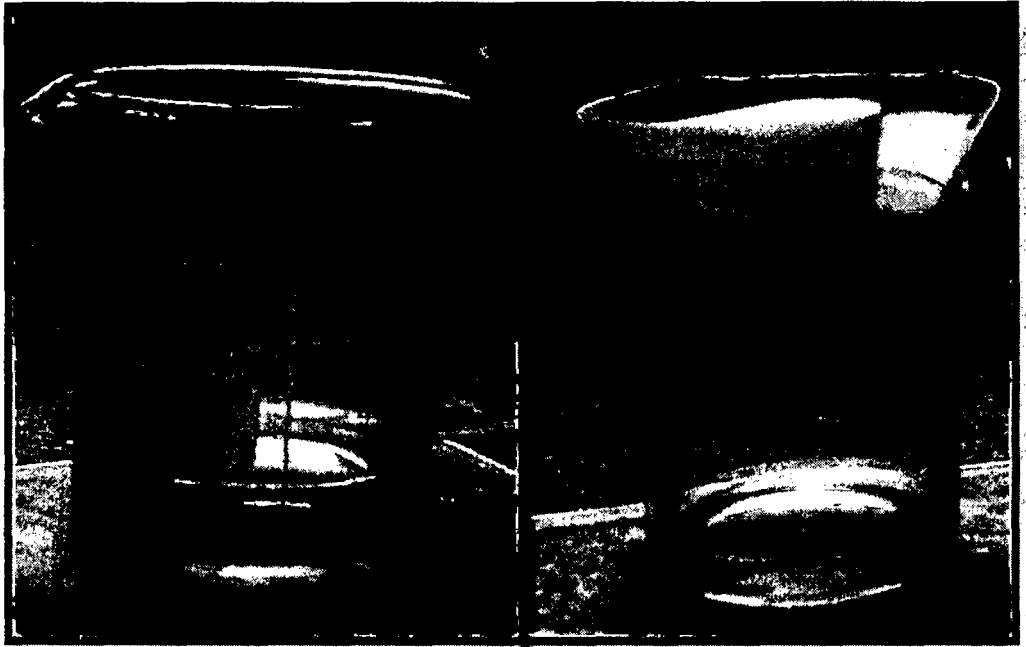
FOTOGRAFIA N°09: Mezclando la el carbón activado y la solución de azul de metileno con el Homogenizador Casero.



FOTOGRAFIA N°10: Realizando el filtrado de la solución mezclada con el carbón activado.



FOTOGRAFIA N°11: Solución de azul de metileno inicial y final (filtrada con carbón activado).



FOTOGRAFIA N°12: Realizando la lectura de la solución final en el espectrofotómetro.

