Universidad Nacional de Ucayali

Facultad de Ciencias Forestales

Y Ambientales



*Evaluación del Carbón Activado Por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Acido Fosfórico a partir del Aserrín de Copaifera reticulata(*Copaiba)

Tesis para Optar el Título de : **Ingeniero Forestal**

Bach. Hugo Cárdenas Ijuma

PUCALLPA - PERÚ
2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 299

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 13:h 10 min, del día 11 de Junio del 2015, se reunieron en la butaca n° 1 de la Universidad Nacional de Ucayali, los miembros del jurado calificador conformado por:

Dr. Segundo Soplin Torres : Presidente

Ing. Mg. Héctor José Quispe Cerna : Miembro

Ing. Clovis Ramírez Ramírez : Miembro

Para proceder a evaluar la sustentación de la tesis titulada "Evaluación del Carbón Activado por el método químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de ***Copaifera reticulada*** (copaiba), sustentada por el Bach. Hugo Cárdenas Ijuma.

Terminada la exposición se procedió al rol de preguntas por los miembros del jurado calificador, siendo absueltas satisfactoriamente por el sustentante, razón por el cual, la tesis fue aprobada por **unanimidad** con el calificativo **Bueno**, quedando el tesista expedito para optar el título profesional de Ingeniero Forestal.

Siendo las 14:01 horas del mismo día, se dio por concluído este acto académico

.....

Dr. Segundo Soplin Torres

PRESIDENTE

.....

Ing. Mg. Hector José Quispe Cerna

MIEMBRO

.....

Ing. Clovis Ramírez Ramírez

MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi querido padre Diofanto que desde el cielo me ilumina, a mi querida madre Rosa con profundo amor, como testimonio de gratitud a su esfuerzo y consejos, que hicieron posible la culminación de mi carrera profesional.

A mis hijos Jorthan, Olenca, Kathiuska, Pierina, Piero, D´alessandro del Piero, a mis nietos Oscar Daniel, Andrew Hugo, por el gran apoyo recibido durante mí formación profesional.

A mí querida esposa Katherine Tapia con mucho amor, por el apoyo brindado al presente estudio.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, mi esposa, mis hijos, amigos, por permitir concluir mis estudios y llevar a feliz término el presente trabajo, luego mi reconocimiento a las siguientes instituciones y personas.

A la Universidad Nacional de Ucayali y al Proyecto Especial Carretera Federico Basadre, por su apoyo brindado en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Muy especialmente al CPC. Germán Oliveira Gregorio, Ing° Domingo Paulino Salcedo Cabezas, Ing° Keler A. Gonzales Cruz, Ing° Felipe Ormeño Martinez, y al Dr. Carlos Panduro Carbajal como asesor, por su constante apoyo en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

A los catedráticos de la Facultad de Ciencias Forestales UNU, y a todas las personas que de manera directa o indirecta han brindado su apoyo en el desarrollo y ejecución del presente trabajo.

PRESENTACION

Señores miembros del jurado:

Dando cumplimiento a las normas del reglamento para obtener el Grado Académico de Ingeniero Forestal de la Facultad de Ciencias Forestal, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, para elaborar y sustentar la Tesis de Ingeniero Forestal, presentamos el trabajo de investigación denominado ""*Evaluación del Carbón Activado por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de Copaifera reticulata* (Copaiba)".

En el trabajo mencionado describimos las características del carbón activado de la *Copaifera reticulata*(Copaiba) y las normas de comparación vigente en el mercado.

Esperamos que este trabajo de investigación sea medio de reflexión y consulta para otros estudios similares.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se estudió la evaluación de carbón activado a partir del aserrín de copaiba; el aserrín que es un deshecho de la transformación mecánica de la madera, que en nuestra ciudad hay diversos aserraderos que no emplean este material los deshecho lignocelulósicos de origen vegetal, utilizando el método químico con ácido fosfórico al 85 % de concentración, y cloruro de Zinc, así como los efectos de una variable: Especie (*Copaifera reticulata*); y Tiempo de activación (240 min.). Se evaluaron los carbones activados obtenidos, de acuerdo a la normas vigentes y la capacidad de adsorción con azul de metileno. Posteriormente se realizó una prueba práctica de la adsorción en los carbones activados que de acuerdo a la evaluación previa, fueron los mejores en términos de calidad y adsorción. El carbón activado de mejor calidad de acuerdo a la evaluación es del cloruro de zinc y se elaboró tomando las siguientes variables: granulometría (+16), tiempo de activación (240 min.). Este carbón presento las siguientes características físico-químicas: Contenido de humedad 5,97 %; Material volátil 20.52 %; Contenido de cenizas 0,20 %; Carbono fijo 74.53 %; Potencial de hidrógeno 7,23; Densidad aparente 0,15 g/cm3. De las variables empleadas se demostró estadísticamente que las variables que más influyeron en los resultados obtenidos fueron, la concentración del activante de la *Especie Copaifera reticulata*. De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se puede indicar que a partir del aserrín Copaiba se puede obtener carbón activado de buena calidad, con el cloruro de zinc y tiene la ventaja de tener adicionalmente una capacidad de adsorción excepcional, en ambos caso se recomienda el uso de esta especie para la producción de carbón activado pues se diversificaría.

Palabras Claves: Carbón activado: adsorción, lignocelulosa, carbón fijo.

ABSTRACT

In the present investigation word was studied the evaluationofactivated carbon to begin the sawdust fromcopaíba; the sawdustthatis awasteof transformation mechanics wood,that in our citythere are severalsawmillsthat do not usethis material the lignocellulosicwasteof vegetable origin ,using thechemical methodwith phosphoric acid to the 85 % concentration , and Zincchloride,as well as the effects ofa variable:species (*Copaifera reticulata*); and activation time (240 minutes) .They were evaluated the activated carbonsobtained,according toexisting standards andadsorption capacitywith methylene blue. Thena practical testwas performedadsorptionon activatedcarbons that according tothe preliminary assessment, They were the bestin terms of qualityand adsorption.Thebetter qualityactivated carbonaccording tothe evaluation isof zinc chloride andit was developed onthe followingvariables :granulometry(+16), activation time (240 minutes). This carbonpresent thefollowing characteristics physicochemical: humidity content 5,97 %;volatile material 20.52 %;Ash content 0,20 %; fixed carbón 74.53 %; Hydrogen potential 7,23;bulk density 0,15 g/cm3. Of variables used was statistically demonstrated the variables that most influenced the results were, the concentration of the activating of the Species (*Copaifera reticulata).* Accordingto the result sobtained in this work you can tell that fromsawdust Copaiba you can get good quality activated carbon, this species has excellent qualities, have the advantage of exceptional adsorption capacity, in both cases the use of these species for the production of activated carbonas it is recommended diversi

Keywords: Activated carbon, Adsorption, lignocellulose, fixed carbon.

ÍNDICE

DEDICATORIA..... iii
AGRADECIMIENTO..... iv
PRESENTACIÓN..... v
RESUMEN..... vi
ABSTRACT..... vii
INTRODUCCIÓN..... xx
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIACION..... 20
1.1. Planteamiento del problema de investigación..... 20
1.1.1. Formulación del problema..... 21
1.1.2. Justificación..... 22
1.1.3. Objetivos..... 23
a) General..... 23
b) Específicos..... 23
1.1.4. Hipótesis..... 23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... 25
2.1. Características generales de la copaiba..... 25
2.1.1. Distribución geográfica..... 25
2.1.2. Distribución ecológica..... 25
2.1.3. Descripción dendrológica..... 26
2.1.4. Composición de la madera..... 27
Composición de la madera..... 27
2.2. Carbón vegetal..... 29
2.2.1. Definición..... 29
2.2.2. Composición..... 30
2.3. Carbonización..... 30
2.4. Carbón activado..... 33
2.4.1. Definición..... 33
2.4.2. Historia..... 35
2.4.3. Características generales..... 38
2.4.4. Usos del carbón activado..... 46
2.5. Adsorción..... 50
2.5.1. Definición..... 50

2.5.2. Teorías de adsorción..... 51
2.5.2.1. Isoterma de Langmuir..... 51
2.5.2.2. Isoterma de Bruanaver, Emmett Teller(B.E.T.)..... 52
2.5.2.3. Isoterma de Freundlich..... 53
2.5.3. Naturaleza de los adsorbentes..... 55
2.5.4. Tipos de adsorción..... 56
2.5.4.1. Adsorción física..... 56
2.5.4.2. Adsorción química..... 56
2.6. Evaluación del carbón activado..... 57
2.6.1. Isoterma de adsorción..... 57
2.6.2. Decoloración por adsorción..... 58
CAPÍTULO III: MARCO TEORICO..... 59
3.1. Lugar..... 59
3.2. Materiales y equipos..... 59
3.2.1. Materia prima..... 59
3.2.2. Materiales reactivos químicos..... 59
3.2.3. Equipos y materiales de laboratorio..... 60
3.2.4. Reactivos químicos..... 60
3.3. Metodología..... 61
3.3.1. Recolección de muestra..... 61
3.3.2. Acondicionamiento de la materia prima y determinado de la humedad..... 61
3.3.3. Impregnación con solución de Ácido Fosfórico al 50%, 60%, 70% y Cloruro de Zinc al 50%, 60%, 70%.....61
3.3.4. Carbonización y activación..... 61
3.3.4.1. Carbonización..... 61
3.3.4.2. Activación..... 62
3.3.4.3. Lavado..... 63
3.3.4.4. Secado..... 63
3.4. Evaluación de la materia prima y del carbón activado..... 64
3.4.1. Evaluación de la materia prima..... 64
a) Humedad..... 64
b) Material Volátil..... 64
c) Cenizas..... 65

d) Carbono Fijo..... 65
e) Potencial de hidrógeno (pH)..... 65
3.4.2. Evaluación del carbón activado..... 65
a) Contenido de humedad, Material volátil, cenizas y Carbono Fijo..... 65
b) Densidad aparente..... 65
c) pH 65
d) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de Espectrofometría.....65
e) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de la bureta.. 66
3.5. Diseño experimental..... 67
Variables Independientes.....68
Variables Dependientes.....68
a) Humedad.....69
b) Material Volátil..... 69
c) Ceniza..... 69
d) Carbón fijo..... 69
e) Adsorción frente al agua..... 69
f) Adsorción frente al azul metileno..... 70
g) Potencial de hidrógeno (pH)..... 70
h) Densidad Aparente g/cm3..... 70
i) Tamaño de partícula..... 71

CAPÍTULO IV : RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 72
4.1. Evaluación de carbón activado con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 72
4.1.1. Análisis estadístico..... 73
Cloruro de zinc ($ZnCl_2$)..... 74
Ácido Fosfórico (H_3P0_4)..... 75
Carbón activado evaluado con cloruro de zinc..... 77
Carbón activado con ácido fosfórico (H_3P0_4)..... 78
Caracterización del carbón activado de Copaifera reticulata..... 78
a.1 Potencial de hidrógeno (pH)..... 78
a.2 Tamaño de partículas.....82

a.3 Capacidad de adsorción (azul de metileno)..... 82
Características Físico-Químicas del carbón activado que
Presentan interacción significativa entre los factores..... 83
a.4 Densidad aparente..... 83
a.5 Contenido de humedad..... 87
a.6 Material volátil.....91
a.7 Cenizas totales..... 94
a.8 Carbono fijo..... 96
a.9. Evaluación del carbón activado..... 104

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 107
5.1. CONCLUSIONES..... 107
5.2. RECOMENDACIONES..... 107
BIBLIOGRAFÍA.....109
ANEXOS..... 114

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Componentes químicos de la madera.....27
Cuadro 2 Componentes principales de la madera.....28
Cuadro 3 Composición química y proporción de los componentes principales de la madera en valores promedios.....28
Cuadro 4 Composición del carbón vegetal.....30
Cuadro 5 Requisitos de calidad de los carbones empleados en la industria azucarera Según norma ITINTEC y la norma Oficial MEXICANA N.O.M.....42
Cuadro 6 Análisis físico químico del carbón activado.....43
Cuadro 7 Análisis físico y químico del carbón activado en polvo.....43
Cuadro 8 Determinación físicas y químicas del carbón activado de Eucalyptus Glóbulos Lábil.....44
Cuadro 9 Materias primas para la producción de carbón activado y usos Industriales.....45
Cuadro 10 Diseño experimental.....67
Cuadro 11 Diseño experimental arreglo factorial.....68
Cuadro 12 Datos obtenido de la evaluación en %.....72
Cuadro 13 Análisis de variancia de los rendimientos del carbón activado a partir del aserrín de Copaifera reticulata.....73
Cuadro 14 Análisis de variancia del carbón activado obtenido con cloruro de zinc a diferentes concentraciones y 800°C de Temperatura.....74
Cuadro 15 Análisis de varianza del carbón activado evaluado con ácido fosfórico a diferentes concentración y a 800°C de temperatura.....75
Cuadro 16 Rendimientos del carbón activado expresado en % utilizando 2 agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C temperatura.....76
Cuadro 17 Base de datos del pH.....78
Cuadro 18 Potencial de Hidrogeno pH.....79
Cuadro 19 pH de los agentes activantes pruebas de efectos inter-sujetos.....79
Cuadro 20 T Student de pH.....81
Cuadro 21 T Student del pH ZnCb.....82

Cuadro 22 Tamaños de Partículas..... 82
Cuadro 23 Capacidad de Adsorción..... 82
Cuadro 24 Capacidad de Adsorción Promedio..... 83
Cuadro 25 Densidad aparente..... 84
Cuadro 26 Prueba de T Student Densidad Aparente H_3PO_4..... 85
Cuadro 27 Densidad Aparente del cloruro de zinc..... 85
Cuadro 28 Prueba de Tukey Densidad Aparente..... 86
Cuadro 29 Diferencias Significativas entre las Densidad Aparentes Promedio..... 86
Cuadro 30 Base de datos contenido de humedad..... 87
Cuadro 31 Pruebas de efectos contenido de humedad..... 88
Cuadro 32 Análisis de varianza del contenido de humedad del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 89
Cuadro 33 Humedad P Student..... 90
Cuadro 34 Base de datos material Volátil..... 91
Cuadro 35 Material Volátil..... 92
Cuadro 36 Análisis de variancias de material volátil de carbón activado con dos agentes activantes a diferentes concentración y temperatura..... 93
Cuadro 37 Base de datos cenizas..... 94
Cuadro 38 Cenizas análisis de variables..... 94
Cuadro 39 Análisis de variancia con el ácido fosfórico Anova unifactorial para el ácido fosfórico..... 95
Cuadro 40 Carbón fijo..... 96
Cuadro 41 Análisis de variancias del carbono fijo del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 98
Cuadro 42 Análisis de variancias del carbono fijo del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 100
Cuadro 43 Determinación de impurezas de los carbones activados..... 103
Cuadro 44 Comprobación de las propiedades físico-químicas del carbón activado evaluado con LA NORMA OFICIAL

MEXICANA (NOM) Y LA NORMA INDECOPI.....104
Cuadro 45 Composición química del aserrín de Copaifera reticulata.....115
Cuadro 46 Análisis de gases.....115
Cuadro 47 Géneros de carbón activado..... 116
Cuadro 48 Nombres comerciales del carbón activado..... 116
Cuadro 49 Métodos de activación para diferentes materias..... 117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución porosa al interior de carbón activado..... 34

Figura 2 Proceso de Carbonización-Activación..... 62

Figura 3 El aserrín de Copaifera reticulata, antes y después de la Carbonización – Activación..... 62

Figura 4 Diagrama de preparación del carbón activado.....64

Figura 5 Diagrama de obtención de carbón activado realizada en el presente estudio de investigación..... 119

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Rendimiento del carbón activado..... 74

Gráfico 2 Rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de Copaifera eticulata empleando 2 agentes activantes a Diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura H_3PO_4..... 76

Gráfico 3 Rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de Copaifera reticulata empleando 2 agentes activantes a Diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura $ZnCl_2$..... 77

Gráfico 4 pH..... 80

Gráfico 5 Densidad aparente del carbón activado a partir de aserrín de copaifera reticulata..... 84

Gráfico 6 Contenido de humedad del carbón activado copifera Reticulata evaluado con dos agentes activantes a diferentes Concentraciones y 800°C de temperatura..... 88

Gráfico 7 Humedad.....89

Gráfico 8 Material volátil de carbón activado copaifera reticulata evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 92

Gráfico 9 Cenizas totales de carbón activado evaluado de Copaifera reticulata con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura..... 95

Gráfico 10 Porcentaje carbono fijo del carbón activado evaluado con 2 agentes activantes a diferentes concentraciones y temperaturas..... 97

INDICE DE ANEXOS

Anexo I 115

1. Composición química del aserrín de *Copaifera reticulata* 115

Anexo II 116

Anexo III 116

Anexo IV 117

Anexo V 118

Anexo VI 119

Panel Fotográfico 120

- Se observa materia prima, tamizado, y equipo de protección 121
- Equipos de protección 122
- Equipos de carbonización, balanza analítica 123
- Tesista haciendo los ensayos 124
- Equipos diversos 125
- Preparación de solución y lavado de ácido fosfórico Cloruro de Zinc 126
- Mezcla de Soluciones 127
- Preparando solución para carbonizar 128
- Resultado con el carbón activado se volvió potable con el cloruro de zinc 129

INTRODUCCION

En nuestro medio contamos con una gran cantidad de productos naturales en calidad de desechos; los cuales dándole el uso debido pasarían a ser una fuente de materia prima para la obtención de una serie de productos. Se ha estudiado y ensayado la tecnología en la evaluación de carbón activado a partir de desperdicios de materias primas, en este caso el aserrín.

El aserrín por considerarse en nuestro medio como un desperdicio de la transformación mecánica de la madera, perdiéndose en grandes cantidades en los aserraderos, reaserraderos y paqueteras es poco utilizado y que puede constituir una materia prima para la obtención del carbón activado. Por esta razón, con el presente estudio se busca aprovechar este recurso que es el aserrín de copaiba, cuya madera es aprovechada en la fabricas como prensados, laminados, tablillas, desperdiciándose cantidades abundante de dicha materia(aserrín), que a su vez es un problema para las industrias del aserrío por ocupar espacio dentro de las instalaciones debido al no darle el uso respectivo; por cuanto teniendo en consideración que dicho material es susceptible a la pirolisis por ser de origen orgánico, siendo este proceso indispensable en la obtención del carbón activado.

El carbón activado es un producto químico de gran importancia por su poder adsorbente, purificante decolorante y de refinación, siendo utilizado en el mercado regional, nacional e internacional, con mayor demanda en las industrias azucarera, alimenticia, bebidas alcohólicas, aceites y grasas,

farmacéuticas, sistemas química, refinación del petróleo, coquerías, pinturas y barnices, fotoquímica, cosméticos, purificación de líquidos y aguas residuales purificación del aire, entre otros,

En el presente trabajo de investigación se cumplieron los siguientes objetivos:

1.- Se evaluó el carbón activado obtenido a partir del aserrín de *Copaifera reticulata,* (COPAIBA) con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

2.- Se determinó y comparó el porcentaje de carbón activado con cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico del Aserrín de Copaiba

3.- Se evaluó sus propiedades físico-químico del carbón activado de Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico y se le comparó con las normas técnicas establecidas en el mercado Nacional e Internacional.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema de investigación

La creciente contaminación que produce el aserrín al estar a la intemperie, ocupando lugar que se puede utilizar para otros usos en las plantas de aserrío. Se debería darle un uso adecuado al aserrín, para evitar la contaminación ambiental. Controlar las suspensiones que provoca el aserrín, cerrándolos o encajonándolos para que no vuele con el aire y no se contamine el suelo y agua. Por esto nace la idea de darle uso a esta materia para obtener carbón activado, un producto que se utiliza para remover compuestos tóxicos del agua y del aire. Se emplea, por ejemplo, durante el proceso de purificación de desechos industriales y también en la potabilización del agua de consumo. Hay incluso purificadores domésticos que se colocan en las canillas con filtros de carbón activado. Como este material suele utilizarse en tratamientos de gran escala, su costo es significativo y por otro lado, se requieren grandes volúmenes de materia prima (por ejemplo, carbón mineral) para producirlo. Estos problemas impulsaron la búsqueda de tecnologías de producción de carbones activos más eficientes, menos costosos y ecológicamente sustentables. Cabe destacar que en Venezuela se produce a partir de carbón mineral, sin satisfacer la demanda nacional. Su uso ha mantenido un ritmo creciente, pero su costo actual se ha elevado mucho (1$ americano por gramo). Actualmente existe sólo una planta destinada a la producción de carbón activado. Dicha planta se llama CARBAC C.A. y está ubicada en el estado Falcón, opera de manera discontinua y tiene una capacidad productiva de 100 toneladas anuales, que representa sólo el 9,23% de aproximadamente 1,182,895 toneladas anuales de carbón activado consumidas en Venezuela. El resto es importado de países como Francia, Estados Unidos, México, Brasil, China, Japón y muchos

otros. Por lo que se hace necesario producir carbón activado utilizando materia prima no aprovechada como el aserrín.

En los aserraderos de Pucallpa, específicamente en Manantay, existen varios aserraderos las cuales desechan el aserrín de la madera después de la intervención mecánica y el que se puede utilizar como materia prima en la elaboración de carbón activado.

El problema es: Cómo utilizar el aserrín que se desecha en los aserraderos dándole un valor agregado y reducir la contaminación ambiental.

El carbón activado es un material de carbono, que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución. Asimismo se afirma que son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de adsorción de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee (Bansal *et al*, 1998). La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de carbonización y activación utilizadas (Reinoso, 2005).

1.1.1 Formulación del problema

¿Cómo evaluar el rendimiento del carbón activado a partir de aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba), obtenido con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura?.

En la Región Ucayali contamos con una gran cantidad de productos naturales en desechos como fuente de materia prima para la obtención de una serie de productos, los aserraderos de transformación primaria acantonados en la región de Ucayali, producen grandes cantidades de aserrín que pasa a formar parte del desperdicio y estorbo en la plantas de aserrío no pudiendo dar un valor agregado hasta el momento; pero

hoy en día algunas empresas han optado por comprar este aserrín para convertirlas en energía o fuente de calor para uso del secado de la madera de algunas empresas, como la Triplayera Valdez en Ucayali.
Existen alternativas energéticas de bajo costo, de muy bajo impacto en el medio ambiente, de fácil réplica en otras zonas del país y el mundo, innovador y de gran impacto en las economías de la población de menores recursos económicos del país mediante el aprovechamiento de los residuos de la madera.
Este producto se pierde en los aserraderos en grandes cantidades es poco utilizado, por eso la necesidad de la investigación para darle un valor agregado al aserrín como materia prima para la obtención del carbón activado.

1.1.2 Justificación

Con el presente estudio de investigación, se busca aprovechar este recurso que es el aserrín de *Copaifera reticulata* cuya madera es aprovechada en la construcción de vivienda, muebles, en interiores, desperdiciándose cantidades abundantes. En el país se hace imperiosa la necesidad de buscar fuentes alternativas de materia prima para diversos fines y debido a que existen volúmenes considerables de residuos que actualmente no son aprovechados y constituyen un contaminante ambiental, consideramos que es necesario abordar el tema en cuestión y proponer algunas posibles soluciones a este problema. Dentro de estos residuos el interés está dirigido al aserrín.
Una de las alternativas está la utilización del aserrín de copaiba como materia prima para la producción de carbón activado, ya que se cuenta en las industrias forestales con grandes volúmenes, además no se tiene referencia de la utilización de este material para la producción de carbón activado. Es así, al utilizar este residuo, se estaría dando un valor agregado al aserrín.

1.1.3 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el rendimiento del carbón activado a partir de aserrín de *Copaifera reticulata (Copaiba),* obtenido con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

Objetivos específicos

Determinar y comparar el porcentaje de carbón activado con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico del aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba).

- Evaluar sus propiedades físico-químico obtenido con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico y compararlos con las normas técnicas establecidas en el mercado Nacional e Internacional.

- Evaluar La composición química del carbón activado de *copaifera reticulata,* contenido de humedad, material volátil, contenido de ceniza, carbono fijo, potencial de hidrógeno.
- El rendimiento del carbón activado con cloruro de zinc, activación para el carbón activado con ácido fosfórico.
- Evaluar la densidad aparente tamaño de partículas, si cumple con la norma técnica establecida con el ácido fosfórico y con el Cloruro de zinc.
- Cuál de los dos agentes activantes es el más indicado si el Cloruro de Zinc, o Ácido Fosfórico.

1.1.4 Hipótesis

El rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba), obtenido con cloruro de zinc y ácido fosfórico, a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura, es óptimo.

R1 = Rendimiento del Carbón activado con cloruro de zinc.

R2 = Rendimiento del carbón activado con ácido fosfórico.

Ho : R1 = R2

H1 : R1 ≠ R2

Variables Independientes: Los agentes activantes cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Variables Dependientes: Porcentaje de Contenido de humedad (CH%), Porcentaje de Material Volátil (MV%), Porcentaje de Cenizas Totales, Porcentaje de Carbono fijo (CF%), Porcentaje de Adsorción, Potencial de hidrogenión (pH) y Densidad aparente (g/cm3).

De acuerdo al diseño planteado, el número de experimentos es el siguiente:

2 Agentes activantes * 3 tipos de concentraciones, y dos repeticiones Rx = 18 experimentos Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar el grado de influencia que ejercen las variables independientes sobre las dependientes y sus respectivas interacciones. Luego se realizó el análisis del rango múltiple de Duncan, para cada una de las variables independientes y su relación con las dependientes, pudiéndose

comparar a través de esta prueba, agentes activante, el rendimiento de los carbones obtenido. En todos los casos se tomó como referencia el nivel de confianza con 95% de probabilidad (-=5).

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Características Generales de la Copaiba

2.1.1 Distribución geográfica

Se le encuentra frecuentemente en bosques de la Amazonia, crece en una variedad de ambientes (Bosques de tierra firme, tierras inundables se puede encontrar tanto en suelos arcilloso como arenosos Rigamonte-Azevedo, (2004), generalmente con una baja densidad (0.1–2 individuos/ha), características de muchas especies tropicales Peters, (1996), es una especie demandante de luz para crecer(Elias,1997), que generalmente ocupa el dosel superior del bosque y en ocasiones emerge sobre el alcanzando alturas hasta 40 m. Su madera es resistente a los hongos xilófagos, se utiliza principalmente para parihuela, como prensados, laminados Alencar (1982); Shunley y Medina (2005). La oleorresina popularmente conocida como óleo o bálsamo de copaiba (Aceite de Copaiba), es utilizada en la medicina popular como antiinflamatorio y antibiótico, aunque también se quema como combustible, en Brasil se lo conoce como (Kaipa'va) palabra oriunda de la lengua Tupi, hoy en día este aceite se utiliza en las industria farmacéutica y química (Cosméticos). Se encuentra en los departamentos de Huánuco, Loreto y Ucayali, Selva baja de 350 msnm hasta 650 msnm. (Aróstegui 1974).

2.1.2 Distribución ecológica

Grupo sucesional

Especie secundaria tardía a clímax

Clima

Altitud 350 a 650 msnm.

Régimen aluviométricos; estacional con lluvias concentradas durante el periodo de noviembre –marzo.

Temperatura media anual 20°C a 26°C.

Temperatura media del mes más frio 16°C a 23°C

Temperatura media del mes más caliente 22°C a 27°C.

Esta especie se encuentra distribuida en las formaciones ecológicas de bosque húmedo pre montado tropical (bh-PT), bosque seco tropical (bs-T), de suelos bien drenados y fumíferos, o sea, en las zonas de Pucallpa, Tingo María y Loreto. En Von Humboldt la copaiba crece bien en suelo Cambisoles Acrisoles(Clasificación FAO-UNESCO), pero se desarrolla pobremente en suelos Grey soles. Además prefiere suelos de ladera más que terrenos planos.

Se ubican dentro de las zonas ecológicas Bosque húmedo pre montado tropical, y bosque seco tropical de suelos bien drenado, Con un rango ecológico de resistencia de 936 a 1968 msnm de precipitación y temperaturas de 24.9 aproximadamente (Aróstegui 1974).
Es una especie heliófila durable pionera de rápido crecimiento, se le encuentra en purmas y bosques secundarios, siendo un indicador de éstos. Se desarrolla asociado con cético (*Cecropia sp*): topa (*Ochroma piramidale*) y otras de bosques secundario; también forman rodales puros o manchales en las orillas de los ríos observándose todavía en el Aguaytía y Pachitea a orillas de quebradas donde permanentemente se encuentran suelos húmedos Arostegui (1974).

Según el mapa de suelos de la FAO(1983) la Copaiba se encuentra distribuida preferentemente en suelos arcillosos y muy drenados, con las características generales de suelos GREYSOS y también en suelos CAMBISOL, con características de buen drenaje y aparentes para la agricultura.

2.1.3 Distribución dendrológica

Es un árbol de aproximadamente 30 m de alto y 60 cm de diámetro en promedio. Ausencia de aletones. Copa de color verde oscuro, brillante. La superficie del tronco de color amarillo oliva a castaño grisáceo, de apariencia lisa con aristas horizontales con desprendimiento papeloso. Corteza viva de color amarillo. Las hojas son compuestas y paripinnadas,

alternas, de 7 a 18 cm de longitud, con estípulas; cada hoja tiene de 4 a 6 foliolos alternos, con puntos traslucidos, de color verde oscuro brillante por la cara superior, y verde claro mate, por la cara inferior; sólo la nervadura central es pronunciada por la cara inferior. Ramitas jóvenes lampiñas, con lenticelas. Las flores son pequeñas, de color blanquecino, arregladas en manojos de 7 a 13 cm de longitud. El fruto es casi globoso, un poco alargado, de unos 2 cm de diámetro. Posee pulpa adherida a la semilla.

2.1.4 Composición de la madera

Kolíman (1960), dice que la madera se compone esencialmente de carbono, hidrógeno y oxígeno, tiene también sustancias minerales, que luego de la combustión queda como ceniza, trazas de nitrógeno. El carbono, hidrógeno y oxígeno se combinan produciendo los constituyentes principales de la madera; celulosa, hemicelulosa y lignina, en proporción variable según las especies, igualmente producen otros conocidos generalmente como extractivos, cuya composición y porcentaje no son constantes en las distintas maderas. Las cenizas también varían en composición y porcentaje no son constantes en las distintas maderas. Las cenizas también varían en composición y cantidad según las especies.

En términos generales la madera tiene la siguiente composición química:

Cuadro 1: Componentes químicos de la madera

Componentes	Rango (%)
Celulosa	40.0 – 61.0
Hemicelulosa	15.0 – 30.0
Lignina	17.0 – 35.0
Extractivos	1.0 – 20.0
Cenizas	0.2 – 5.8

Fuente: Koliman (1960)

Rihm, citado por Quintella (1977), establece diferencias entre los porcentajes de los componentes químicos de la madera de las foliosas y de las coníferas.

Cuadro 2: Componentes principales de la madera

Componentes químicos	Arboles foliosos (%)	Arboles coníferas (%)
Lignina	20 – 25	28 – 31
Hemicelulosa	20 – 25	20 – 25
Celulosa	28 - 48	40 – 45

Fuente: Quintella (1977)

Cuadro 3: Composición química y proporción de los componentes principales de la madera en valores promedios

Composición química	Rango (%)	Componentes	Rango (%)
Carbono	40.0 – 50.0	Celulosa	30 – 50
Oxígeno	34.0 – 45.0		
Hidrógeno	4.0 – 7.0	Hemicelulosa	20 – 40
Nitrógeno y cenizas	1.0		
Nitrógeno	0.1 – 0.5	Lignina	20 – 31
Cenizas	0.4 – 1.0		
Agua	20.0	Extractivos	1 – 8

Fuente: Curso de carbón vegetal para Centro América.

Aróstegui (1981) en su estudio de propiedades físicas de 40 especies maderables tropicales menciona que la densidad básica (peso seco de la madera sobre su volumen húmedo), varía desde 0.27 g/cm^3. El mismo autor (1987) clasifica a la Copaiba como una especie de densidad media (0.61 gr/cm3). La relación de Contracción tangencial (7.00 %), Contracción radial (3.40 %), Contracción volumétrica(10.70 %), Relación T/R(2.30), propiedades mecánicas, módulo de elasticidad en flexión(112 t/cm^2), módulo de rotura en flexión(736 Kg/cm2), Compresión paralela (RM) 268Kg/cm^2, Compresión perpendicular (ELP) 74 Kg/cm^2, corte paralelo a las fibras(99 Kg/cm^2), dureza en los lados(587 Kg/cm^2), tenacidad (resistencia al choque) 3.40 Kg-m.

Bastita de Oliveira et al (1983), explican que la madera está compuesta principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno. Existen también el nitrógeno y sales minerales; los cuales representan menos del 1 por ciento. El mismo autor menciona que la composición química de la madera varía dentro de una estrecha diferencia, pudiendo sufrir pequeñas variaciones dependiendo de la especie vegetal, edad, tipo de terreno, etc.

La humedad está en función de diferentes parámetros como: especie edad, diámetro y la región de procedencia, Briane y Doat (1985).

Con respecto al contenido de cenizas en maderas. Briane y Doat (1985), indican que las sustancias minerales que constituyen las cenizas se presentan en proporciones variables, siendo el fósforo y el azufre los que se encuentran en menor cantidad.

Panshin (1959), acota que en madera, éste porcentaje de ceniza es menor de 1 por ciento, por otro lado, Smisek (1970) señala que las materias primas con bajo contenido de cenizas pero alto contenido de carbono, presentan las mejores características para ser empleado en la producción de carbón activado, debido a que el porcentaje de ceniza es un parámetro importante para calificar la pureza de un carbón activado y este contenido de ceniza se mantiene casi constante o aumenta desde la materia prima hasta la obtención de carbón activado.

2.2 Carbón Vegetal

2.2.1 Definición

Danae, mencionado por Checo (1985) y Earl (1975) coinciden en definir al carbón vegetal como un producto intermedio carbonizado, que resulta de la destilación o de la combustión incompleta de la leña o de la descomposición natural incompleta de otros organismos.

FAO (1983), señala que el producto de la simple carbonización de materias casi exclusivamente de origen vegetal, tales como madera, ya sea en forma de desperdicios como, piezas pequeñas, rapaduras, aserrín, troncos, ramas, tallos, carbón de diversos géneros como el lignito, turba, residuos de pilado de arroz y del descascarado de café, cacao; desechos industriales, licor y extracto resultante de la fabricación de papel, corteza y cascara de nuez o de coco, almendro de frutas, son materiales casi inactivos para la absorción de líquidos o vapores, pues sus estructuras está bloqueada por residuos alquitranados, obteniendo un área de superficie de sólo 2 m^2/g; la producción de carbón vegetal es pues una operación previa sobre la obtención de carbón activado.

Lutteral (1940), menciona que el carbón vegetal se le designa con el nombre de "carbón primario", es decir, que no es activo de por sí, pero que se convierte en tal cuando los hidrocarburos retenidos fuertemente por el carbón, son oxidados para producir carbones de alto poder adsorbente.

2.2.2 Composición

La composición usual del carbón vegetal se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Composición del carbón vegetal

Componente	Porcentaje (%)
Carbón	70 – 80
Humedad	3 – 10
Ceniza	1 – 20
Sustancia volátil	12 – 20

Fuente: Smisek (1970)

2.3 Carbonización

Matos (1981) y FAO (1983), señalan que la pirolisis también conocida como carbonización o destilación seca, es un proceso donde la madera

u otro material vegetal es sometido a un calentamiento en atmósfera controlada, donde el material por acción de la temperatura es descompuesto dando origen a un producto sólido, carbón vegetal y gases volátiles compuestos de una facción que puede ser condensado (líquido pirolefioso), y de una fracción no condensable gaseosa (gases no condensables).

Casi (1982), menciona que la carbonización es un proceso termoquímico de descomposición de biomasa a altas temperaturas obteniéndose un sólido compuesto casi exclusivamente de carbono puro llamado carbón vegetal.
Briane y Doat (1985), presentan los cambios que se producen en la materia prima durante la carbonización: A partir de los 200°C hasta 270°C ó 280°C, los constituyentes menos estables de la madera se descomponen, el residuo aún no es carbón, pero sí la madera se torna rojiza (madera tostada).

A partir de los 280°C, se produce reacción exotérmica, que eleva la temperatura sin aporte exterior del calor hasta los 350°C; el residuo en éste periodo es carbón pero su contenido fijo, que ésta compuesto de carbono y/o pequeñas cantidades de azufre, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, es inferior al 80 por ciento.

Entre los 380°C y 500°C los gases formados están constituidos principalmente por hidrocarburos, el carbón resultante contiene alrededor de 85 por ciento de carbono fijo.

Si continuamos aún el calentamiento hasta los 700°C ocurre disociación de gases conteniendo hidrógeno. El carbón puede llegar a 95 por ciento de carbono fijo.

Por su parte, Quinde (1984) menciona que la temperatura de carbonización más utilizada está por encima de los 500 °C de temperatura en cuanto a producción industrial se refiere.

FAO (1983), Batista de Oliveira et al (1993), coinciden en afirmar que el aumento de la temperatura de carbonización trae como consecuencia un aumento en el rendimiento de líquido piroleñoso y de gas con la consecuente disminución en el rendimiento del carbón vegetal.

Según Fugge (1961), el carbón vegetal de buena calidad es de color negro brillante y da por percusión un sonido metálico y con un grado de adsorción.

Earl (1975), menciona que las propiedades físico-químicas del carbón vegetal son: Densidad aparente, humedad, contenido de cenizas y de material volátil, las cuales son fácilmente influenciadas por la especie utilizada como materia prima y los métodos de obtención de carbón.

Hassier (1974), menciona que el desarrollo de las propiedades especificas del carbón. se ven influenciadas por la presencia de sales minerales y otros elementos no carbonados, que forman un esqueleto sobre el cual se deposita el carbón por fuerzas de adsorción.

Según Earl (1975), la humedad inicial de la madera no afecta a las características físicas químicas de carbón vegetal obtenido, sin embargo Panshin (1959), afirma que el contenido de humedad es importante porque influye en el tiempo de carbonización obteniéndose mejores resultados a menores contenidos de humedad.

Matos (1981), FAO (1983) y Batista de Oliveira et al (1983), mencionan que los factores que influyen en la densidad y porosidad del carbón son; la temperatura de carbonización, la densidad de la madera que le dio origen y la velocidad de carbonización. Batista de Oliveira et al (1983), sostiene que en general al incrementar la temperatura de carbonización aumenta el contenido de carbono fijo y disminuye el rendimiento en carbón.

2.4 Carbón Activado

2.4.1 Definición

El carbón activado es un material de carbono que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución.

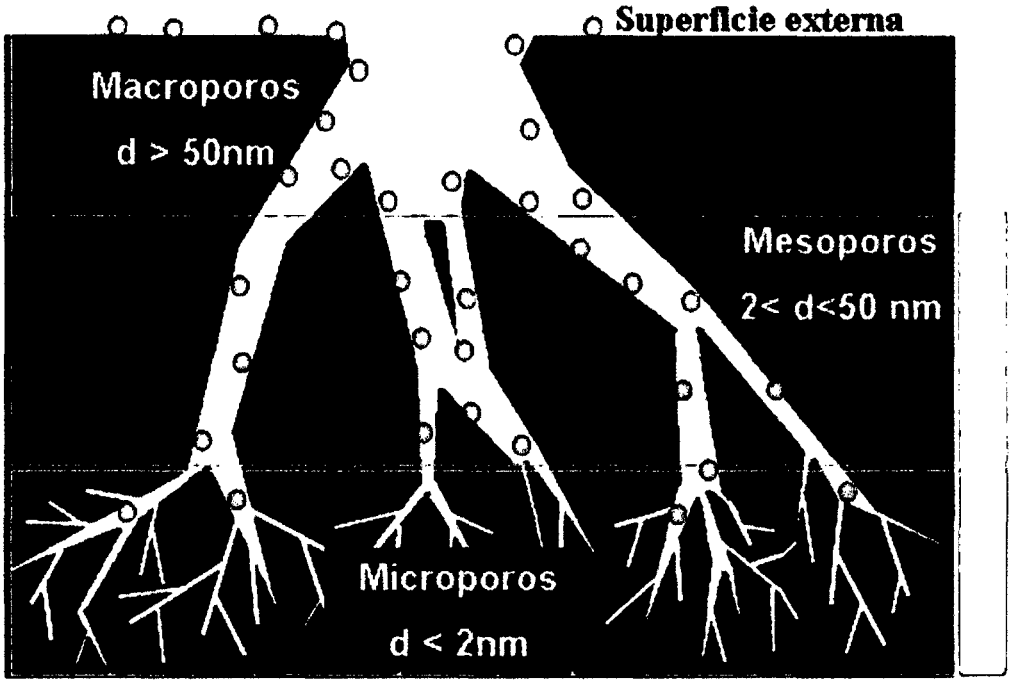
Asimismo se afirma que son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad de adsorción y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de adsorción de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee (Bansal et al, 1998). La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de carbonización y activación utilizadas (Reinoso, 2005).

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, 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. Durante el proceso de obtención de carbones activados, es posible modificar tanto los procesos de carbonización y de activación, para modificar sus propiedades texturales y químicas (Giraldo, 2007).

Desde el punto de vista estructural el carbón activado se puede definir como un material carbonoso a partir de un precursor a base de carbón con gases, y en ocasiones con la adición de productos químicos (por ejemplo ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio, etc.), durante y después de la carbonización para aumentar la porosidad. Es precisamente esta característica del carbón activado la que contribuye a su propiedad más importante, la estructura porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo, accesible para los procesos de adsorción. (Reinoso, 2005).

La estructura porosa interna está constituida por: los microporos (tamaño inferior a 2nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (tamaño comprendido entre 2-50nm) y macroporos (tamaño > 50nm) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido (Bansal et al 1998).

La distribución de macroporos, mesoporos y microporos se observa en la figura 1



(Carbotécnia, 2004). **Figura 1**: Distribución porosa al interior del carbón activado.

Fuente: Carbotécnia, 2004. Como propiedades de los carbones activados también son consideradas el carácter hidrófobo de su superficie, no obstante se puede disminuir este carácter hidrófobo

adicionando grupos superficiales polares, por reacción con algún agente oxidante.

También se considera su naturaleza anfótera, ya que en la superficie del carbón coexisten grupos superficiales de carácter ácido y grupos superficiales de carácter básico, el que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá tanto de la concentración de estos grupos como de la fuerza como ácido o base de los mismos (Menéndez, 2008). La oxidación es inherente al proceso de activación, lo cual resulta en la formación de grupos carbonilo, carboxilo, hidroxilo, lo cual pueden hacer al carbón, ácido o básico. Respecto a su carácter hidrófobo, se afirma que esta característica es muy importante en su aplicación como la adsorción de gases en presencia de humedad. (Reinoso, 2005).

ITINTEC (1982), define al carbón activado como un tipo de carbón que se prepara por distintos métodos, los cuales le imparten un aumento de porosidad y en consecuencia un mayor poder de adsorción originada por su superficie de contacto y por la interacción entre absorbente y adsórbalo.

Según la norma oficial mexicana NOM-F-295 (1981), es el tipo de carbón que se prepara por distintos métodos los cuales imparten un aumento de porosidad y en consecuencia un mayor poder de adsorción, derivado de su superficie de contacto y de interacción de adsorbente y adsórbalo.

Sin embargo el diccionario de química y de productos químicos (1959), lo define como cualquier forma de carbón caracterizado por su gran capacidad de adsorción de gases, vapores o sólidos coloidales.

2.4.2 Historia

El uso del carbón vegetal para propósitos tales como combustibles y en la metalurgia es muy antiguo, según Hassier (1974), el uso en medicina fue mencionado en los papiros egipcios desde 1550 A.C. La historia

primitiva sobre el carbón activado está en la literatura del carbón vegetal, el carbón de huesos y el carbón de sangre.

Kirk (1963), señala que la capacidad del carbón vegetal, para eliminar el color de una solución se conocía ya en el siglo XV, pero la primera solución al respecto lo hace Lowits (1785), pocos años después el carbón fue empleado para purificar el azúcar de caña y en 1808 fue aplicado en la naciente industria de azúcar de remolacha; Figuers en (1811) tal como lo anota Hassier (1974), descubrió el gran poder decolorante del carbón de huesos adoptándose casi inmediatamente a escala industrial en las refinerías de azúcar. Al principio el carbón pulverizado era usado sólo una vez y luego descartado, las limitaciones en la oferta hicieron necesaria la regeneración desarrollándose un método para reactivar el carbón de hueso, por una nueva carbonización.

Durante el siglo XIX, muchos estudios fueron hechos para desarrollar carbones decolorantes de otras materias primas, Bussy, (1822), citado por Hassier (1974), calentó sangre con potasa y produjo un carbón con 20 a 50 veces mayor poder decolorante que el carbón de huesos. El carbón de sangre así producido fue usado por años en muchos estudios de laboratorios.

Es interesante notar que alguna de las aplicaciones importantes actuales del carbón activado, fueron sugeridos hace mucho tiempo, por ejemplo; según Hassier (1974), Lipscombe en 1864, preparó un carbón para la purificación de agua potable, mientras que, Sten house en 1854, descubrió y fue el precursor de las modernas máscaras antigás.

La historia reciente arranca con los dos trabajos de Ostrejko, patentados en 1900 y 1901, tal como lo señala Hassier (1974) en unos de los procesos que incorpora cloruros metálicos en las materias primas antes de carbonización; en el otro procedimiento descubrió la oxidación controlada con bióxido de carbono a temperatura elevada,

éste investigador descubrió y diseño también el equipo apropiado para realizar el proceso, y sus trabajos echaron los cimientos para el desarrollo industrial del carbón activado.

Según Kirk, (1963), el primer carbón activado producido en Europa en 1909 fue el EPONIT, seguido por el NORT en 1911, y por el CARBORAFFIN en 1915. El primer carbón americano llamado FILTCHAR, se produjo en 1913: se perfeccionó y se ofreció en 1916 con el nombre de SUPERFILTHAR, y en 1922 se convirtió en NUCHAR y SUCHAR.

En 1915, un evento que fue un golpe para el mundo trajo fama al carbón activado, en efecto, durante la primera guerra mundial en la localidad de Ypres (Bélgica), los aliados tuvieron que protegerse de los ataques con vapores de cloro proveyéndose de máscaras de gas conteniendo carbón activado, las variedades de carbón en polvo que se fabricaban para la purificación de azúcar no eran apropiadas para la defensas bélicas; consecuentemente la producción de un carbón de tipo granular adecuado para absorber gases tóxicos en un episodio brillante de la química industrial, Hassier (1974).

En el periodo de 1917 a 1923 según Fornwalt (1974), la producción americana creció rápidamente en el campo de la adsorción fase líquida, debido al desarrollo de nuevos grados de carbón activado fabricado de desechos celulósicos en Virginia, y de lignito en el área de Texas-Lousiana, éstos carbones fueron predominantemente usados en la refinación de azúcar, mientras el uso del carbón activado para el control del sabor y el olor del agua empezó en 1929.

El crecimiento de la demanda de productos de alta calidad y de mejores métodos de purificación, creó un gran mercado para el carbón activado, antes de la segunda guerra mundial,, en EE.UU., según lo señala Schanz y Parry, (1962), la producción doméstica fue sola de

17000 ton. cortas por año; pero para 1961, la misma alcanzó 60000 ton., habiéndose estimado para 1962 una producción de 62000 ton.

Por muchos años la purificación en fase líquida, fue la única aplicación para los carbones en polvo, así como los carbones granulares fueron reservados para las aplicaciones en fase gas o vapor recientemente, tal como lo indica, Harris (1966), los carbones granulares han sido desarrollados en fase líquida y han reemplazado al carbón en polvo en muchos casos.

Smisek (1970), menciona que los carbones activados están incluidos dentro de los carbones amorfos, éstos tienen una estructura microcristalina, que dependen de las condiciones de su preparación y se asemeja más o menos a la estructura del grafito (modificación cristalina del carbón puro junto con el diamante).

Otro tipo de estructura presente en el carbón activado es descrito como un espacio enrejado, eslabonado y desordenado de hexágono de carbono, que resultan de su desviación desde los planos de las capas grafíticas, Smisek (1970).

2.4.3 Características generales

Kirk y Othmer (1963), señalan que propiedades adsorbentes del carbón se conocieron y se estudiaron antes que se ideara la expresión carbón activado, por consiguiente la historia primitiva de éste producto está en la literatura sobre el carbón vegetal y el carbón de otros productos, muchas referencias aparecen bajo el epígrafe de carbón descolorante y otros bajo el nombre comercial de carbón. Las expresiones carbón activo y carbón activado son equivalentes, según el mismo autor las características para el carbón activado son sustancias pulverolentas y granulares, no sufren cambios físicos ni químicos durante el proceso, tienen afinidad selectiva para determinados componentes de la mezcla fluida para adsorber solutos específicos granulares indeformable y

resistentes a los adsorbatos y sus disoluciones, a temperaturas de regeneración.

Perry y Chilton (1986), añaden que los carbones activados tiene una estructura altamente porosas y se evalúan sobre la base de selectividad, capacidad, densidad, filtrabilidad y humectabilidad; el mismo autor, añade que las diferencias en sus propiedades de su estructura adsortivas depende principalmente de la forma de obtención de su estructura física y de su grado de purificación.

Mc Dougal y Hancock (1981), revelan la presencia de una estructura celular que proporciona una explicación más factible de la estructura del carbón. Esto demostró la estructura del producto y de aquí que la cantidad y la distribución de tamaños de poros desarrollados dentro de la partícula de carbón son fuertemente dependientes del material de origen. Los espacios entre los cristalitos elementales resultantes son denominados poros, que pueden optar diversas formas, tales como capilares abiertos en ambos extremos o con una entrada cerrada poros con entradas contraídas (forma de botella); poros en forma de rendijas regulares entre dos planos (forma de V); poros afilados y otros. Según Dubinin, citado por Smisek (1970) estos poros se clasifican en tres grupos en base al radio efectivo, es decir, microporos: menor de 18 a 20 Å, poros transicionales de 20 a 500 Å; y macroporos mayores a 500 a 1,000 Å. Mattson y Mark (1982), mencionan que la teoría de la estructura residual del carbón activado se atribuye principalmente a la presencia de lignina (además de celulosa y hemicelulosa) la cual tiende a ser aceptada como aromática en origen para explicar los centros activos.

Se denominan sitios o centros activos a aquellos átomos de carbono situados en las esquinas y filos de los cristalinos elementales, y a aquellos situados en lugares defectivos del cristal enrejado que son más reactivos, es decir, sus valencias están incompletamente saturadas, por efecto de la interacción con átomos de carbono próximos, Smisek (1970).

Hassier (1974), menciona que durante la pirolisis, la temperatura de carbonización, la composición y estructura de la materia prima influyen sobre el tamaño de los cristalitos en el carbón los cuales tienen la forma de rejillas hexagonales y de disposición irregular, es posible que en determinados núcleos se inicia una transformación de estas rejillas, creciendo gradualmente a expensas de la materia original, dicha transformación rara vez es completa quedando anillos y cadenas de hidrocarburos residuales, los cuales se alojan en los cristalinos formándose las llamadas sustancias alquitranosas.
Conforme se realiza la activación a temperaturas superiores a 700°C, se observa un crecimiento continuo del diámetro de éstos espacios y al alcanzar temperaturas de 1300°C, se produce un aumento en la altura, Hassier (1974).

Sandar y et al (1982), mencionan que estudios de difracción de rayos x, han demostrado que en la distribución de funciones radicales la mayoría de átomos de carbono en muestras con activación química tienen configuración sp^3 características en sistemas de círculo forzado. Algunos de los átomos de carbono de carbones activados tienen un sp^2 híbrido; un estado aparentemente producido a causa de la presencia de impurezas en ciertas cantidades.

Se ha demostrado experimentalmente con rayos X, que tienen características cristalinas, llegándose a observarse al detalle la estructura de éstos cristalitos los cuales consisten en placas, en los que los átomos de carbono se encuentran en forma de rejillas hexagonales cuyos átomos están unidos por enlaces covalentes a otros tres átomos dejando los bordes libres. Las placas aplicadas unas encima de otras forman los cristalitos, Sandar et al (1974).

Weber (1974), utilizando técnicas de espectroscopia, IRS, detectaron la presencia de cantidades importante de grupos carboxilos y carbonilos en la superficie del carbón activado, lo que puso en evidencia, que el comportamiento del carbón activo como un absorbente tiene que

referirse a la funcionalidad superficial de éste material, observándose esto en la capacidad adsortiva del carbón activo que puede llevarse a cabo por el aumento de la concentración en grupos funcionales superficiales apropiados.

La propiedad física del carbón activado tiene un área superficial extremadamente grande, la cual está compuesta principalmente de las superficies que bordean los espacios porosos internos, éstos poros se forman por quemados de oxidación de segmentos superficiales en los paquetes de planos grafíticos o por pérdidas, rotura o ciclación de los grupos terminales menos estables, los canales a través de las regiones grafíticas y a través de los intersticios, entre estos paquetes de planos grafíticos, se consideran generalmente como macro poros y a las figuras que se forman dentro de los planos grafíticos y son paralelos a los mismos y se le denomina micro poros.

Dentro de las teoría de adsorción sobre carbón un aspecto importante es la tensión superficial, como síntomas de las fuerzas cohesivas, que pueden retener moléculas de un líquido al mismo tiempo, así mismo se ha observado que en pequeños capilares se presenta una rápida condensación de un vapor a bajas presiones, dependiendo del diámetro de estos capilares, Hassier (1974).

Weber (1974), indica que el área superficial del carbón activo es aproximadamente de $1000m^2/g$, superficie interna considerable compuesta por capilares pequeños.

La adsorción es un fenómeno superficial, como tal el grado de adsorción es proporcional al área superficial específica, que puede definirse como la porción del área total que está disponible para la adsorción, por tanto, la cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente sólido es tanto mayor cuanto más finamente dividido y poroso esté el sólido, Weber (1979).

Kirk y Othmer (1963) mencionan que las características de adsorción del carbón activado dependen mucho de la manera en que se efectué

la activación y el grado de éste. Pero por supuesto depende también de la materia prima que se emplea (cáscara de coco, turba, antracita, etc.). Por ejemplo, las maderas blandas producen carbón liviano y friable que se usa en polvo o en aglomerantes, en cambio las maderas duras producen carbón granulado con características diferentes.

Cuadro 5: Requisitos de calidad de los carbones empleados en la industria azucarera según norma ITINTEC y la norma Oficial MEXICANA N.O.M.

Requisitos	**Norma ITINTEC**	**Norma Oficial Mexicana NOM**
Apariencia	Polvo negro	Polvo negro
Tamaño de partículas		
- Tamiz N° 100	Pasa 95 % mínimo	Pasa 95 % mínimo
- Tamiz N° 200	Pasa 92 % mínimo	----------
Densidad aparente	0,4g/cm^{3}máximo	0,35 – 0.40 g/cm^3
Humedad	12 % máximo	12 % máximo
Cenizas totales	12 % máximo	12 % máximo
pH	5,5 – 7,5	6,0 – 8.5
Adsorción de azul de metileno	N.d	N.d

Fuente : Norma ITINTEC obligatoria 207.024-82(1982). Norma oficial Mexicana NOM – F – 295 (1985).

Guerrero (1987) menciona en el presente cuadro el análisis físico-químico del carbón activado a partir de la cáscara de café (coffea arábica).

Cuadro 6: Análisis físico químico del carbón activado

Carbón Activado Obtenido por tratamiento de :	$ZnCl_2$ 70%	$ZnCl_2$ 50%	$ZnCl_2$ 30%	H_3PO_4 60%	H_3PO_4 43%	H_3PO_4 24%
Temperatura (°C)	800	700	600	800	700	600
Rendimiento (%)	24,6	22,7	20,3	21,6	20,0	18,5
Densidad aparente (g/cm3)	0,37	0,37	0,35	0,38	0,40	0,40
Humedad (%)	3,2	4,0	4,0	4,2	4,0	4,0
Materia Volátil (%)	3,8	4,0	4,1	4,1	4,3	4,3
Cenizas totales (%)	1,5	1,9	2,2	2,7	2,7	3,1
Carbón fijo (%)	91,4	90,1	89,7	89,0	89,0	88,6
pH (80°C)	6,7	6,7	6,7	5,5	4,6	4,2
Tamaño de partícula tamiz 0,149 mm (%)	96	95	92	93	93	92
Capacidad de adsorción (mg) (azul de metileno)	180	158	125	143	128	125

Fuente : Guerrero (1987)

Arana (1987), menciona en el siguiente cuadro el análisis físico químico del carbón activado en polvo **Eucaliptus glóbulos** Lábil..

Cuadro 7: Análisis físico y químico del carbón activado en polvo

Análisis	Resultados
Granulometría	
Tamaño de partículas (%)	
- Tamiz N° 100	11,90
- Tamiz N° 200	4,68
Densidad aparente (g/cm^3)	0,4297
Humedad (%)	10,35
Cenizas en base seca (%)	2,80
pH	6,48
Adsorción de azul de metileno(cm^3)	9,9

Fuente : Arana (1987)

Melo Poblete y Bueno Zarate, mencionan en el **Cuadro N° 8** las determinaciones físicas y químicas del carbón activado de **Eucaliptus glóbulos** Lábil.

Cuadro 8: Determinación físicas y químicas del carbón activado de Eucaliptus Glóbulos Lábil.

Tipo de Carbón (malla)	Temp de Activac. (°C)	Rendi-Miento (%)	Densidad Aparente (g/cm3)	Humedad D (%)	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	Carbono Fijo (%)	pH	Adsor-Ción de azul de metilo (ml)
200	800	67.83	0.35	5.1	1.5	15.6	77.7	5.4	21.7
	900	66.87	0.34	5.1	1.4	14.5	79	5.5	27.9
	1000	66.08	0.33	5	1.5	13.7	79.6	6.4	34.5
140	800	68.08	0.27	5.1	1.1	12.8	80.8	6.5	18.7
	900	66.54	0.27	5	1.1	15.8	78	6.7	18.3
	1000	64.99	0.27	6	1.1	16.2	76.6	6.4	22.8
100	800	66.55	0.26	6.9	1.4	11.5	80	6.7	15
	900	65.83	0.26	6.6	1.1	15.1	77.1	6.5	18.6
	1000	66.91	0.27	5.7	1	18.7	74.4	6.4	22.8
80	800	68.16	0.25	5.2	1.3	13.2	68.2	6.1	16.5
	900	66.7	0.25	6	1.3	13.5	79.3	6.5	10.7
	1000	64.12	0.25	6.8	1.4	11.5	80.1	6.5	23.6
70	800	61.75	0.24	6	1.3	15.5	77	6.3	14.2
	900	67.24	0.24	3.2	1.2	12.9	80.5	6.2	15
	1000	68.09	0.24	6	1.1	13.6	79.1	6.6	20.3
50	800	67.91	0.24	5.9	0.9	14.5	78.5	6.5	13.5
	900	66.87	0.24	6.3	1.1	13.1	79.3	6.4	15
	1000	64.16	0.24	6.8	1.4	12.1	76.9	6.7	15.9
30	800	68.37	0.24	6.1	1.6	11.7	80.4	6.4	14.2
	900	66.33	0.24	6.4	1.5	12.8	79.1	6.6	16.5
	1000	61.16	0.24	6.7	1.8	13.9	77.4	6.5	18.8
20	800	68.45	0.24	5.7	0.8	13.9	79.3	6.6	12.2
	900	67.2	0.24	6.5	1	11.1	81.3	6.4	12
	1000	58.84	0.24	7.9	1	10.3	80.6	6.6	19.8
X		65.87	0.26	6	1.2	13.6	78.4	6.4	18.3

Fuente: Melo Poblete y Bueno Zarate (1988).

Shanz y Parry (1962), presentan una lista de algunas de las principales compañías productoras de carbón activado en los EE.UU, tal como se muestra en el ***Cuadro 9*** donde se puede apreciar las principales materias primas para la producción de carbón activado y las aplicaciones de mayor trascendencia.

Cuadro 9: Materias primas ara la producción de carbón activado y usos industriales

Compañía	Marca de fabrica	Materia Prima	Tipo de carbón	Usos industriales
American Nort	Norit	Carbón de madera	Pulverizado	Grasas, Aceites, farmacéuticos
Atlas Chemical Industriales	Dargo	Lignito	Pulverizado	Azúcar, maíz, caña, limpieza purificación de agua industrial
Barnebey Cheney	Adsorbente	Coco, cáscaras, pecanas, carbón de piedra bituminosa y carbón de madera	Granular	Adsorción de gases especiales purificación del aire
Cliffsdon Chemical	Cliffchar	Carbón de madera	Granular	Purificación de agua Industrial
National Carbón	Columbia	Residuos de petróleo	Granular	Recuperación de solventes, purificación Catálisis
Pitts Burgh Chemical	Pittsburgh	Carbón de piedra butiminosa	Granular	Azúcar, maíz, caña, adsorción de diferentes Gases
Weest Virgoinia Pulp & Paper	Nuchar	Residuos de pulpa molida (ceniza negra)	Pulverizado	Purificación de agua.

Fuente: Shanz y Parry(1962)

2.4.4 Usos del carbón activado

Kirk y Othmer (1961) indican que las primeras aplicaciones del carbón activado eran con fines decolorantes, en la actualidad, tienen innumerables aplicaciones, como la eliminación de impurezas ya que ellas originan dificultades en la transformación del producto o en sus aplicaciones.

Chorimanya, citado por Arana (1987), menciona que todos los carbones activados empleados como adsorbentes se agrupan tomando como base su estructura física, sus propiedades y sus aplicaciones en cuatro: carbones desodorantes, absorbentes de grasas, absorbentes de metales y medicinales.

Forwalt et al (1963), descubren en forma general las aplicaciones del carbón activado en la industria.

Remoción de impurezas carentes de olor, sabor o color que producen formación de cristales o aquellas sustancias incoloras sujetas a oxidación u otros cambios que puedan presentarse posteriormente al proceso o después que un producto haya sido empacado o vendido.

Así como remoción de constituyentes que producen espumas y otros fenómenos activos de superficie indeseables, interfiriendo en otros procesos de fabricación.

Remoción de trazas de iones metálicos, complementándose esto con un reactivo orgánico absorbible adscribiendo al complejo.

Limpieza de líquidos y soluciones dispersadas en sólidos.

Fornwalt et al (1963), Hassier (1974) y Earl (1975) coinciden en clasificar de acuerdo al uso que se le dé al carbón activado en: Carbón activado a fase líquida para eliminar impurezas, y carbón activado de uso en fase gaseosa para la remoción de solventes con fines de purificación del aire u otros gases.

Según Earl (1975) los carbones activados de fase líquida deben tener hasta 100 m^2/g de porosidad y son carbones en polvo, ligeros y sedosos que se utilizan principalmente para decolorar líquidos, éstos se obtienen de los huesos, madera, turba, lignito y de otros residuos de fábricas de papel (lignina).

Perry y Chilton (1986) manifiestan que para el tratamiento de fase líquida, se observa un predominio de las siguientes clases de proceso:

- Decoloración, de secado o desgomado de fabricación del petróleo (disolventes combustibles, lubricantes, ceras).
- Decoloración de aceites vegetales y minerales así como en jarabes crudos de azúcares.
- Eliminación de olor, sabor y color del abastecimiento municipal de agua.
- Clasificación de bebidas y preparación farmacéuticas.
- Recuperación de vitaminas y otros productos de mezcla de fermentos.
- La aplicación en fase líquida se realiza además de los ya mencionados en:
  - Separación de solutos y coloides de soluciones, como decoloración y clasificación de líquidos.
  - Eliminación de iones de soluciones, como el pulverizado o una completa desmineralización. Fraccionamiento por adsorción líquido-líquido de materiales de otros solutos y concentración de éstos.

    Formwalt et al (1963), mencionan que el carbón activado de alta pureza (muy bajo contenido de cenizas) es usado en fármacos y sustancias químicas afines.

    El carbón con bajo contenido de hierro es utilizado en materiales colorantes y son biológicamente nocivos, antibióticos, vitaminas, ácidos orgánicos (Lácteos, cítricos, tartáricos, glucósidos, etc.).
    Kirk y Othmer (1963), señalan que el carbón activado disminuye el costo de fabricación y mejora la calidad de las sustancias como por ejemplo; la acetamilina, acetato de sodio, ácido fosfórico, ácido gálico y glutámico, benzoato de sodio, cafeína, estreptomicina, penicilina, procaína, etc. Los autores indican también que el carbón activado es muy utilizado como catalizador y como portador de catalizadores en fábricas de

productos químicos para ello el carbón empleado debe tener una enorme superficie activa, éstos carbones son duros, duraderos, inertes en forma de gránulos o pequeñas pastillas y no son afectados por la mayoría de los agentes químicos y recomiendan que para utilizar carbones activados en los productos medicinales se debe utilizar carbones en polvo purificados y con gran poder de adsorción.

Muchos productos alimenticios no pueden purificarse por cristalización o destilación y las leyes regulan la pureza de los alimentos limitando el empleo de métodos químicos. El carbón activado sólo causa desaparición de impurezas adsorbiéndolas sin dejar compuestos de reacción lo que si ocurre en diversos tratamientos químicos, Kirk y Othmer (1963).

El carbón activado es usado en el curado de carne para su conservación, además es utilizado para mejorar el sabor y color de muchos productos comestibles como la gelatina, sopas, vinagres, proporcionando un mercado importante para éste insumo, Kirk y Othmer (1963).

Bayley mencionado por Larios (1974) sostiene que la industria de aceites y grasas comestibles emplean el carbón activado para fines de purificación, eliminar color, jabones y peróxidos, y ello permite que el aceite no ejerza un efecto venenoso sobre los catalizadores cuando es hidrogenado. Además el carbón activado es muy efectivo en la alimentación de trazas de mineral contenido en los aceites vegetales empleándose en tratamientos de aceites contaminados con tal producto, igualmente para la eliminación de trazas de jabón en aceites neutralizados, así como de los pigmentos rojos, azul y verde de los aceites de coco en grasas animales.

Kirk y Othmer (1963) y Fornwalt et al (1963) mencionan que el carbón activado mejora el sabor del Whisky recién destilado, vinos, vodka, cerveza y aguardientes indicando que en la fabricación de cervezas se usa el carbón activado para

estabilizar su falta de claridad y friabilidad; así como reducir su formación de espuma, en lo referente a la fabricación de vino, sirve para estimular sabor y apariencia, utilizando un carbón de bajo contenido de hierro.

Kirk y Othmer (1963) y Fornwalt et al (1963) afirman que la mayor cantidad de carbón activado en fase líquida es utilizado en la decoloración de líquidos, sabores y olores de las aguas potables.

Earl (1973) considera un rango de 1,000 a 2,000 m^2/g de porosidad para carbones en formas de gránulos o nódulos densos y duros, que se utilizan principalmente para adsorción de gases y vapores y que se obtiene de la corteza de coco, madera, turba de carbón mineral y de los residuos del petróleo, éste carbón de uso en fase gaseosa tiene menos aplicaciones que el uso en fase líquida y la mayoría de las veces es repetidamente generado con lo cual puede seguirse usando durante muchos años.

Kirk y Othmer (1963) y Fornwalt et al (1963), indican que el carbón activado es utilizado para recuperar solventes, como catalizador y en mascarillas militares o industriales, para las cuales las partículas empleadas, son pequeñas para proporcionar buen contacto y eliminar completamente los vapores y gases perjudiciales, además debe tener una elevada capacidad adsorbente, el carbón activado debe presentar tamaños de partículas grandes, por que reducen al mínimo la resistencia al paso del aire de las capas relativamente gruesas, para absorber olores y otras impurezas en forma de vapores de aire y de otros gases, sistemas de acondicionamiento de aire; fraccionamiento por adsorción selectiva de gases-gases y de vapores.

Según Earl (1975) entre otros usos importantes del carbón vegetal activado tanto en fase líquida como en fase gaseosa se tiene los siguientes:

- Se ha utilizado en el sistema de filtración de aire del módulo básico 1973 de los subsistemas de la N.A.S.A.
- Por su actividad de adsorción y rapidez de acción, es un valioso antídoto en los casos de envenenamientos medicinales.
- Elimina las ceras y los ácidos disueltos de los refrigerantes.
- Para electrodo de oxígeno de las células electrolíticas
- Mejora los filtros de cigarrillos.
- Atenúa la gravedad y el número de casos de úlceras de perros.
- En horticultura, estimula el crecimiento de las hierbas durante la primavera en los países templados.
- La incorporación de carbón vegetal activado a los medios de cultivo en Agar de Phitophtorainfestan, evitan que los hongos asimilen sustancias tóxicas como los detergentes.

2.5 Adsorción

2.5.1 Definición

Es la capacidad de un sólido o líquido de retener o concentrar en su superficie uno ó más componentes (átomos, moléculas ó iones) de otro sólido, líquido o gas que están en contacto con la superficie. Salvat, (1964)

Kirk (1961), agrega que el término superficie incluye tanto las superficies geométricas externas como las superficies internas de los capilares, las grietas y los intersitios.

Perry (1964), señala que en sus aplicaciones industriales, la adsorción como operación unitaria, podría considerarse como complementaría de otras operaciones o procesos unitarios, cada uno de los cuales tiene limitaciones concretas con respecto a las pequeñas concentraciones de sustancias que habrían eliminarse o secarse.

Conviene también definir los fenómenos que tienen mucha relación con la adsorción física a saber la adsorción y la condensación capilar.

Según Kirk (1961). Señala por lo común se emplea el vocablo adsorción para designar la fijación de un gas por un sólido cuando el

fenómeno no se limita a la superficie. Por ejemplo: puede incluir la disolución del gas en la pared cristalina del sólido a la vez que la adsorción se emplea para expresar la disolución de un gas en un líquido.

La condensación capilar es la conversión es líquido de un adsorbato gaseoso en los capilares de un sólido que se efectúa a presiones algo menores que la necesaria para que el adsorbato se condense en masa y se convierta en líquido, pudiéndosele considerar como una forma de adsorción física.

2.5.2 Teorías de adsorción

Santana (1964), menciona que se ha probado que un sistema de adsorción existe una correlación matemática entre la cantidad de sustancia adsorbida y la cantidad que permanece no adsorbida, está correlación matemática, obtenida experimentalmente por algunos investigadores y teóricamente por otros establece una isoterma en un determinado sistema.

Una isoterma de adsorción es la mejor característica para estudiar estudio de equilibrio del sistema. Es por medio de ella que se puede detectar las diferencias cualitativas y cuantitativas entre los carbones activos. Se puede calcular por medio de las isotermas el área de la superficie adsorbente o el volumen de los poros o su distribución de tamaño, la grandeza del calor de adsorción y el coeficiente de afinidad que expresa la adsorbilidad relativa de un vapor o gas en un adsorbente todo en relación a un patrón escogido, Santana (1964).

2.5.2.1 Isoterma de LANGMUIR

Para el establecimiento de las ecuaciones teóricas que mejor interpreta en el fenómeno de absorción, se partió de estudios cinéticos, estadísticos y termodinámicos del sistema.

Perry (1974) menciona que Langmuir supone que las fuerzas que actúan en la adsorción son de clase semejante a las que intervienen en la combinación química. Las fuerzas que actúan en la combinación

química ordinaria resultan de fuertes desviaciones de las órbitas de los electrodos exteriores de la estructura atómica, mientras que las que actúan en la adsorción se deben a pequeñas desviaciones. Langmuir supone que existen espacios elementales o puntos de valencias residuales en la superficie de un cristal, las fuerzas de adsorción están concentradas en esos puntos, y la adsorción consiste en la fijación de los átomos adsorbidos en los espacios elementales durante un cierto tiempo.

Del estudio cinético resultó la ecuación de Langmuir

$$\theta = a.\frac{p}{a.p+b} = a.\frac{p}{a}.p + b$$

Dónde:

θ = Fracción de la superficie cubierta a presión p

P = Presión de *equilibrio del adsorbato en fase gaseosa*

a y b = Constantes de sistema de adsorción.

Perry (1974).

2.5.2.2 Isoterma de Bruanaver, Emmet Teller (B.E.T)

Bruanaver, revisó críticamente las teorías de adsorción y los datos en que se apoyan y presentó una teoría de capa multimolecular, de acuerdo con la cual se determina la adsorción y la superficie del adsorbente.

Perry (1974) la ecuación de B.E.T. es derivada de la ecuación de Langmuir en la que θ es la razón entre la cantidad de gas adsorbido y la cantidad de gas que se necesita para formar una capa de gas mono molecular (Vm), pudiéndose expresar la ecuación de la siguiente manera:

$$\frac{V}{V} = a.\frac{p(a.p+b)}{} \; V/Vm = a.\frac{p}{a}.p + b$$

Para averiguar si los datos están representados por la ecuación conviene transformar ésta en la siguiente forma:

$$\frac{P}{V} = \frac{\left(\frac{p}{Vm} + \frac{b}{aVm}\right)}{P/V} = \frac{P}{Vm} + \frac{b}{a}Vm$$

Para explicar la forma sigmoidea de ésta isoterma se ideó la teoría que postula la construcción de capas múltiples estadísticas de suerte que cualquier presión determinada, la cantidad de gas adsorbido es la suma de la cantidad en la primera capa, la cantidad en la segunda capa, etc. La ecuación de las capas múltiples es:

$$V = \frac{CVmX}{1-X} + (C-1)X \quad V = \frac{CVmX}{1-X} + (C-1)X$$

En la que X es la presión relativa p/p_o, p_o es la presión de licuefacción del adsorbato en masas de líquido a la temperatura que se efectúa la adsorción.

La ecuación se transforma fácilmente en la siguiente forma:

$$\frac{X}{V(1-X)} = \frac{1}{VmC} + \frac{(C-1)X}{VmC}$$

$$\frac{X}{V(1-X)} = \frac{1}{VmC} + \frac{(C-1)X}{VmC}$$

Dónde:

V = Volumen de gas adsorbido a la presión p

Vm = Volumen del gas para cubrir la superficie libre Adsorbente con una cama molecular.

X = Presión de saturación del gas no absorbente

C = Constante que tienen en cuenta la energía de Condensación del gas.

2.5.2.3 Isoterma de Freundlich

Hassier (1974) menciona que el conocimiento de la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida y la concentración residual no adsorbida es la utilidad práctica. Agrega que muchos investigadores tienen que la concentración sobre el adsorbente es generalmente proporcional a un fuerza fraccional de la concentración que pertenece inadsorbida, expresa

matemáticamente, se obtiene la ecuación de Freundlich, la misma que fue encontrada experimentalmente.

$$X/M = KC^{1/n}$$

Dónde :

X = Cantidad de sustancia adsorbida

M = Masa de adsorbente utilizado

C = Concentración del adsorbato que permanece

K y n = Constante del sistema de adsorción

El exponente 1/n es de utilidad práctica por que revela la adsorción del patrón cuando diferentes cantidades de adsorbato son removidas de una solución.

Una isoterma puede ser vista como un mapa del camino en el cual un soluto absorbible se distribuye entre el adsorbente y el solvente, las gráficas son un medio cómodo de usar la ecuación. Hassier (1974), señala que aunque extremadamente útil en algunos estudios serios de adsorción las isotermas no son esenciales para un uso afortunado del carbón activado en una nueva aplicación. Surgen situaciones en las cuales las propiedades de las impurezas son tales, que no es posible trasladar las concentraciones en equivalentes gravimétricos.

La ecuación de Freundlich cumple bastante bien para las concentraciones de pequeñas impurezas, encontradas en la mayoría de las aplicaciones industriales. La ecuación no tiene en cuenta la adsorción de disolvente y esto puede producir a desviaciones importantes, cuando el disolvente es muy absorbible, señala que esta ecuación se usa para calcular la cantidad de carbón que se necesita en un sistema a contracorriente, pero que a menudo se usa un método de tanteo, en el que el primer paso es averiguar qué cantidad de carbón se necesita para obtener un

grado satisfactorio de pureza en un tratamiento de una sola fase Kirk (1963).

2.5.3 Naturaleza de los adsorbente

El adsorbente se emplea en la industria siguiendo dos métodos, llamados de percolación y de filtración en contacto. Perry (1974) señala que la percolación se mantiene en su sitio de adsorbente y el líquido o la solución que sufre el tratamiento se hace circular por encima de él, a través de él y a su alrededor. En este método el adsorbente es, por lo general, granular y debe poseer ciertas propiedades mecánicas y físicas para conservar su forma y mantener en su sitio.

En la filtración encontramos el adsorbente finalmente dividido se mezcla con líquido o la solución que se trata, se agita, el adsorbente se separa del líquido tratado por filtración o combinación métodos de sedimentación y de filtración.

Según Treybal(1980) los sólidos adsorbentes deben poseer ciertas propiedades relativas a la ingeniería, según la aplicación que se les vaya a dar, por ejemplo, si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o gas, no deben ofrecer caída de presión del flujo muy grande, ni deben ser arrastrados con facilidad con la corriente que fluye, debe tener adecuada consistencia, para que no se reduzca a su tamaño al ser manejado o no se rompan al soportar su propio peso en los lechos del espesor requerido. Agrega, que si van a sacar o meter con frecuencia de los recipientes que los contiene debe fluir lentamente.

Por otro lado, Vian (1979) sostiene que los granos de adsorbentes deben ser resistentes, indeformables y que no deberán hincharse por contacto con los líquidos con los cuales se hayan de emplear. Añade que, químicamente deberán resistir a los adsorbatos y sus disoluciones, a los agentes referentes y aún, a las temperaturas que se someten al practicarse la regeneración.

Ninguno de estos factores están estrechamente relacionados con los aspectos teóricos de la adsorción ni con las expresiones matemáticas de los proponentes de las teorías de adsorción.

2.5.4 Tipos de adsorción

2.5.4.1 Adsorción física

Llamada también adsorción de Van Der Waals, es un fenómeno fácilmente reversible y es el resultado de las fuerzas intermoleculares, entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida. Según Treybal (1980), cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas mismo, el gas se condensará sobre la superficie del sólido, aunque su presión sea menor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura predominante.

Las operaciones industriales de adsorción, dependen de su reversibilidad para recuperar el adsorbente, para la recuperación de la sustancia adsorbida o para el fraccionamiento de mezclas, la adsorción reversible también se observa en el caso de líquidos.

Salvat (1964), menciona que en la adsorción física no se produce ninguna reacción química entre el adsorbente y el adsorbato, los colores de adsorción física, son generalmente menores de 15-30 Kcal/mol.

2.5.4.2 Adsorción Química

Llamada quimisorción o adsorción activa, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida.

Treybal (1980) sostiene que la fuerza de la unión química varía considerablemente y puede suceder que no formen compuestos químicos en el sentido usual, sin embargo la fuerza de adhesión es mucho mayor que la observada en la adsorción física.

El proceso es frecuentemente irreversible y en la adsorción a menudo se descubre, que la sustancia original ha sufrido un

cambio químico; el calor liberado durante la quimisorción es grande. Salvat (1964) pasa de 20-30 Kcal/mol.

Este tipo de adsorción es de particular importancia en la catálisis.

2.6 Evaluación del Carbón Activado

Un procedimiento general en la evaluación de un carbón activado de ensayo versus un carbón activado de referencia, es mediante la técnica de adsorción, la cual suministra una base común para desarrollar la evaluación de carbón activado en aplicaciones de fase líquida, ASTM (1981).

El procedimiento básico llamado "prueba de eficiencia relativa de adsorbato", tiene como objetivo determinar la cantidad de carbón de ensayo requerido para remover un porcentaje fijo de impureza, usando una cantidad de carbón de referencia para efecto de comparación, de manera que se logre el mismo grado de purificación al emplear una cantidad apropiada de solución de ensayo standard. ASTM (1981). Si el peso de carbón de referencia es Mr y el peso del carbón de ensayo es Me, luego relativa del carbón de ensayo es como sigue:

$$Re = \left(\frac{Mr}{Me}\right) x\ 100\ ASTM(1981)$$

$$Re = \frac{Mr}{Me} x\ 100$$

2.6.1. Isoterma de adsorción

La isoterma de adsorción muestra gráficamente la relación entre la cantidad de impurezas adsorbidas por unidad de peso de carbón, y la cantidad de impurezas remanentes en solución; los datos son utilizados como guía para seleccionar la dosis de carbón requerido para efectuar la fuerza requerida, Hyndshaw(1975).

El mismo autor señala que la ecuación empírica de Freundilich rige la isoterma de adsorción; ésta se expresa como sigue:

$$X/M = kC_f^{1/n} \qquad \frac{X}{\text{----------}} = kC_f^{1/n}$$

$$\frac{X}{M} = kC\int 1/N$$

Dónde:

X

--- = *Impureza removida por g de carbón*

M

X = Cantidad de impureza removida

M = Peso del carbón empleado

Co = Concentración inicial de impurezas antes de tratar con el carbón

K = Constante

1/n = Constante

C_f = Concentración final de impureza después de tratar con carbón.

Si la ecuación de Freudlich es expresada logarítmicamente.

$$Log\left(\frac{X}{M}\right) = LogK + \frac{1}{n}LogC\int$$

Luego se tiene una ecuación de línea recta:

$$Y = a + bx;$$

Si log(x/M) es ploteado contra logCf en papel milimetrado, resultará una línea recta o más convenientemente si X/M es ploteado contra Cf en papel logarítmico resultará también una línea recta, hyndshaw(1975).

2.6.2 Decoloración por adsorción

La decoloración con carbón activado es común y sirve para remover impurezas poliméricas usual de decoloración consiste en mezclar carbón activado en polvo con la solución a decolorar, Smisek(1970).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Lugar

El estudio se realizó en el Laboratorio de Transformación Química del Departamento de Industrias Forestales y en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.2 Materiales y equipos

3.2.1 Materia prima

Aserrín de copaiba.

3.2.2 Materiales

Reactivos químicos

Ácido fosfórico al 85 % de Concentración, 50 % , 60 % , 70%

Cloruro de zinc al 50 %, al 60 %, 70 %

Azul de metileno al 0.10%

Agua destilada

Fenol

Ácido sulfúrico concentrado

Formaldehido

Ácido clorhídrico

Acetato de plomo

Aserrín de copaiba.

Materiales de vidrio

Embudo simple

Buretas

Pipetas

Tubos de ensayos.

Matraz Erlenmeyer de 125,500 y 1.000 cm3.

Fiolas.

Matraces aforados

Kitasatos

Varillas de vidrio

Frascos para reactivos

Frascos de vidrio.

Vaso precipitado.

Crisoles

Varillas refractarias

Termómetro

Desecador de vidrio

Probetas.

3.2.3 Equipos y materiales de laboratorio

Malla de tamizador A.ST.M.

Balanza Analítica marca Rad Wang.

Estufa eléctrica marca Esco Isotherm.

Estufa eléctrica marca Lab. Hot Air Oven.

Desecador de vidrio marca Pryobas.

Mufla de 1,500°C marca SYBRON . Thermoline 1,500.

Baño maría.

Microscópico óptico.

Bomba de vacío.

Peachimetro.

Colorímetro marca Microlab. 200.

Destilador de agua marca G.F.L.

Centrifuga marca Internacional.

Cocina eléctrica marca Fisher.

3.2.4 Reactivos Químicos

- Ácido Fosfórico (85%)
- Cloruro de Zinc
- Solución de HCl

3.3. Metodología

3.3.1. Recolección de Muestras

El aserrín de la copaiba fue recopilado del aserradero Vásquez el año 2014, provenientes de los bosque de Von Humbolt, aproximadamente 4.000 kg de la especie de copaiba. La materia prima previamente impregnada fue puesta en el interior de una capsula de fierro.

3.3.2 Acondicionamiento de la materia prima y determinación de humedad

El aserrín de *Copaifera reticulata,* fueron tamizado para limpiar las partículas extrañas al aserrín y secadas al ambiente, después de esta operación, se obtuvo una muestra del aserrín para determinar su contenido de humedad, en una estufa hasta peso constante según norma ASTM D - 1762.
Luego de estimada la humedad, se procedió a pesar la muestras.

Se formaron dos grupos de 0,1 kg c/u.

3.3.3 Impregnación con solución de Ácido Fosfórico al 50%, 60%,70% y Cloruro de Zinc al 50%, 60%, 70%

El proceso de activación química se realizó, utilizando como agente activante al ácido fosfórico (H_3PO_4), y al Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) al 50%, 60%,70% de concentración.
La cantidad de materia prima para cada ensayo fue de 0.1 kg, formándose dos grupos de 0.1 kg, por agente activante y con un tiempo de impregnación de 4 horas.

3.3.4 Carbonización y activación

3.3.4.1 Carbonización

Para la carbonización las muestras de aserrín de copaiba fueron colocadas en cápsulas de fierro negro mediano y mezcladas en forma adecuada con el compuesto activador, luego se colocaron por cuatro horas en una mufla a temperaturas de 800°C según sea el tratamiento al cual fue sometida la muestra. La materia prima previamente impregnada fue puesta en el interior de una capsula de fierro que fueron colocada en una mufla calentada con energía eléctrica.

3.3.4.2 Activación

Se ensayó la activación con el cloruro de zinc al 70 %, 60 % y 50 % así como del ácido fosfórico al 70 %,60 % y 50 % de concentración, con un tiempo de activación de 240 minutos.

- La materia prima previamente impregnada fue puesta en el interior de probeta de fierro, que fueron colocadas en una estufa eléctrica, la carbonización – activación se muestra en el figura 2 y en la figura 3 un antes y después correspondiente al aserrín.

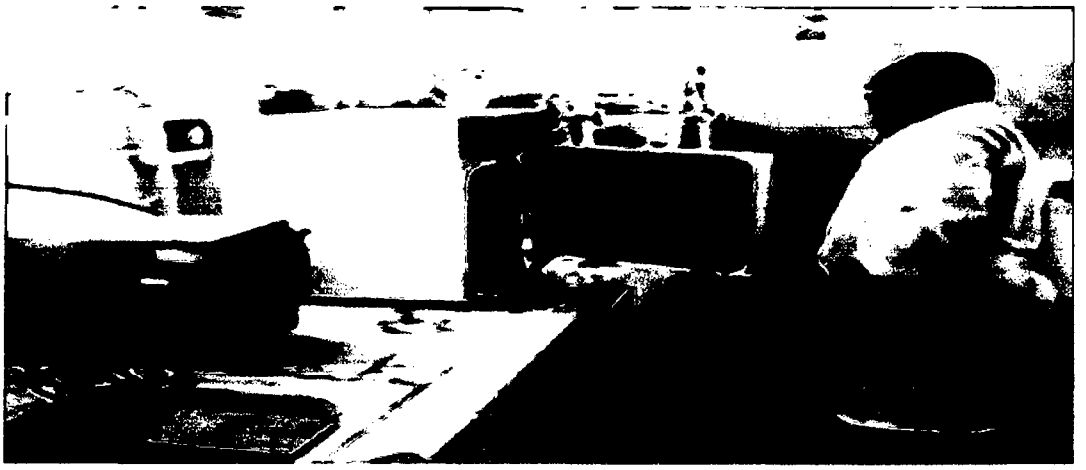


Figura 2: Proceso de Carbonización-Activación

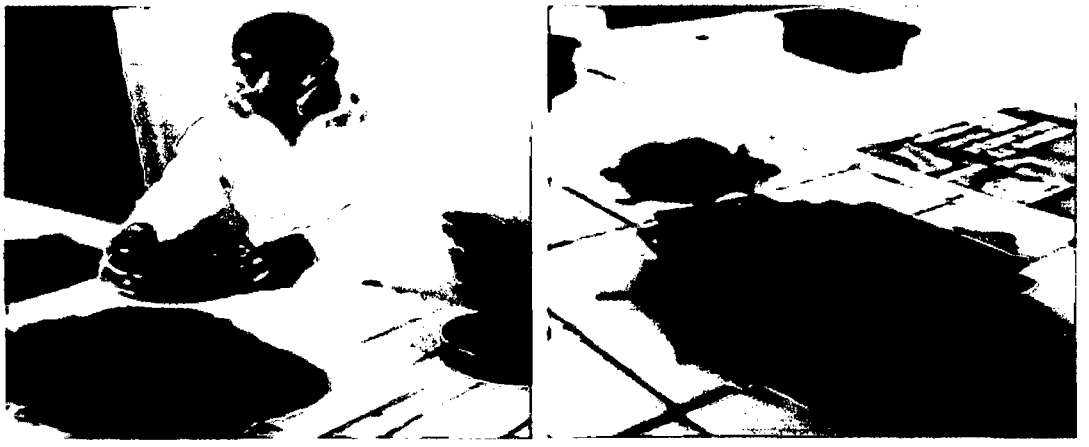


Figura 3 : El aserrín de *Copaifera reticulata*, antes y después de la Carbonización-Activación.

Luego de 4 horas de carbonización; se inició el proceso de activación la temperatura fueron controladas con el pirómetro del mismo equipo.

Obtenido el carbón activado este fue sacado de la probeta de fierro, enfriado aproximadamente 1 hora y luego pesado para calcular los rendimientos. El

rendimiento de carbonización se obtuvo por la fórmula siguiente:

Rendimiento (%R)= Masa seca carbón activado x (100)

Masa seca de la materia prima

Luego se colocó en bolsas herméticamente cerradas para su análisis.

Luego se realizó el tamizado para lo cual se utilizaron los tamices ASTM con número (abertura de la malla):

Fracción granular: +16 (partículas > 1,18 mm)

Fracción polvo: -100 (partículas < 0,15 mm)

Fracción intermedia: -16/+100 (partículas entre 0,15 a 1,18 mm).

- Finalmente se obtuvieron los rendimientos para cada uno de los tratamientos de

acuerdo al número de tamiz utilizado, mediante la siguiente fórmula:

Rendimiento por Fracción (%) = Peso de la fracción (g) x (100)

Peso del Carbón Obtenido(g)

Luego se colocó en bolsas herméticamente cerradas para su análisis.

3.3.4.3 Lavado

Las muestras fueron lavadas con agua destilada caliente a 80°C.

3.3.4.4 Secado

Los diferentes tratamientos se secaron en estufa a 75 °C ± 5 °C por un periodo de 24 horas.

Figura 12 : Diagrama de la Metodología aplicada en la obtención de carbón activado y sus ensayos.

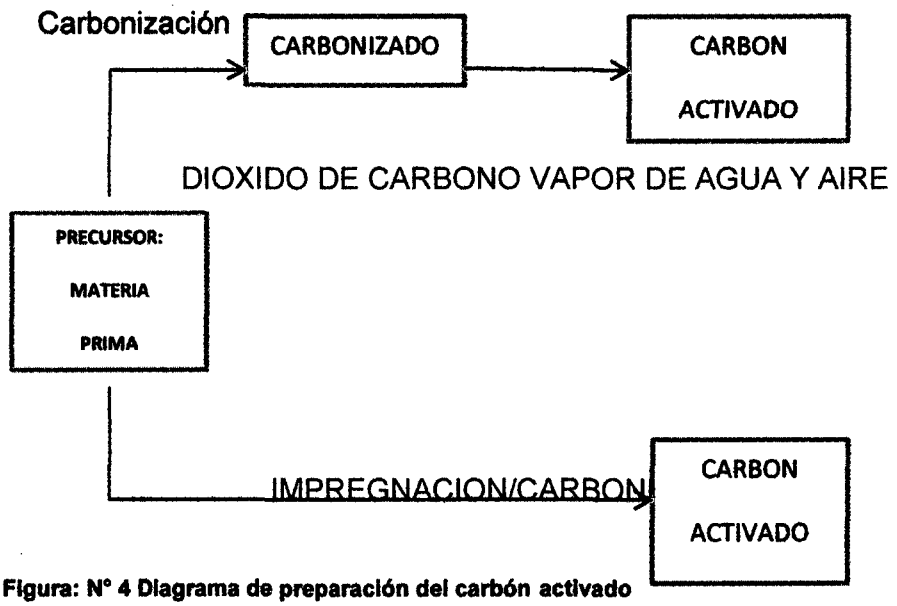


Figura: N° 4 Diagrama de preparación del carbón activado

3.4 Evaluación de la materia prima y del carbón activado

Para la obtención del carbón activado se utilizó el método de activación química empleando el reactivo cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Los procesos de activación son de dos formas: la activación física (llamada también activación térmica) y la activación química, observándose las etapas principales, en la figura 2 (Rodriguez Reinoso F. 2007).

3.4.1 Evaluación de la materia prima

Las evaluaciones realizadas a la materia prima fueron las siguientes:

a) Humedad

El porcentaje de humedad se determinó según norma ASTM-D-1762 Luego de estimada la humedad, se procedió a pesar muestras de la especie, se formaron dos grupos de 900 gramos c/u.

b) Material Volátil

El componente volátil del carbón se obtuvo por diferencia de peso inicial de una muestra seca en estufa a 105°C por 24 horas y el peso final de esta muestra

obtenida luego de introducirla en una mufla a 950°C por un tiempo de 7 minutos(Norma ASTM-D-5832-98).

c) Cenizas

Para determinar el porcentaje de cenizas se trató 1 gr. de aserrín de copaiba a 750°C por 6 horas, según Norma ASTM-D-2866-94 (1999).

d) Carbono Fijo

El porcentaje de carbono fijo se determinó según la norma ASTM-D-1762 (1981), utilizándose la siguiente fórmula: Porcentaje de Carbono fijo = 100-(% ceniza + % material volátil + % humedad).

e) Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno se determinó mediante la norma ASTM-D-3838-80 (1999), norma ITINTEC N° 027-025(1981).

3.4.2 Evaluación del carbón activado

Se evaluaron las siguientes características del carbón activado:

a) Contenido de humedad, Material volátil, cenizas y Carbono fijo

- Se empleó la Norma ASTM D 1762.

b) Densidad aparente

- Se empleó la Norma NTP-15-000-1982.

c) pH

- Se empleó la Norma NTP 027.025-81.

d) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de Espectrofotometría.

En esta prueba se determina el porcentaje (%) de adsorción del carbón activado, a partir de la decoloración que ejerce el carbón en la solución de azul de metileno. Para tal efecto, se utilizó el espectrofotómetro a una longitud de onda de 446 nm. El valor obtenido expresa la adsorción que ejerce una muestra de carbón activado en contacto con una solución de azul de metileno a una determinada concentración. La curva de calibración de la solución de azul de metileno, donde se muestran los porcentajes de adsorción a distintas concentraciones se observa en el anexo N° 9. Los resultados obtenidos por el espectrofotómetro son convertidos a porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$(\%)\ \text{Adsorción} = 100 - \frac{\text{Lectura de la muestra} \times (100)}{}$$

Lectura Patrón

e) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de la bureta

En esta prueba, se realizó una evaluación experimental, sólo a los carbones activados que lograron cumplir la Norma NMX-F-295-1981, los cuales fueron tres unidades experimentales de las 18 obtenidas en total. En esta prueba se mide la adsorción de azul de metileno, se procedió de la siguiente manera:

- Se colocó 1 gramo de carbón activado al interior de una bureta graduada de 50 mililitros.
- Al lecho formado en el fondo de la bureta se le adiciono 15 mililitros de solución de azul de metileno (0,00025g/mL).
- Se dejó reposar en la bureta cerrada, por un lapso de 5 minutos, después de los cuales se abrió la llave dejando fluir la solución decolorada.
- El experimento termino, cuando el carbón activado, culmina la decoloración y comienza a salir la solución con su característico color azul, momento en el cual se cerró la llave de la bureta.
- Se procedió a contabilizar la solución decolorada por diferencia de volúmenes.

3.5 Diseño experimental

En el **Cuadro 10** se observa el arreglo de la combinación de las variables del presente estudio y la denominación de las unidades experimentales.

Activante	Tiempo de Activación	Granulometría	Unidad experimental
		+16	m1
	60'	-16/+100	m2
		-100	m3
		+16	m4
H_3PO_4	90'	-16/+100	m5
		-100	m6
		+16	m7
	120'	-16/+100	m8
		-100	m9
		+16	A1
	60'	-16/+100	A2
		-100	A3
		+16	A4
$ZnCl_2$	90'	-16/+100	A5
		-100	A6
		+16	A7
	120'	-16/+100	A8
		-100	A9
TOTAL			18

El trabajo de investigación contó con un arreglo factorial (2*3*1) CON 3 repeticiones, como se puede observar en el **Cuadro 11**; en el mismo cuadro se presentan las evaluaciones realizadas para cada unidad experimental.

ACTIVANTE	TIEMPO DE ACTIVACION	GRANULOMETRIA	ENSAYO Ó REPETICION	EVALUACION						
				CH %	MV %	Cen %	CF %	ADS %	pH	Dap g/m3
		16	m1-1,m1-2,m1-3	*	*	*	*	*	*	*
	60'	'-16/+100	m2-1,m2-2,m3-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	m3-1,m3-2,m3-3	*	*	*	*	*	*	*
H_3PO_4		16	m4-1,m4-2,m4-3	*	*	*	*	*	*	*
	90'	'-16/+100	m5-1,m5-2,m5-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	m6-1,m6-2,m6-3	*	*	*	*	*	*	*
		16	m7-1,m7-2,m7-3	*	*	*	*	*	*	*
	120'	'-16/+100	m8-1,m8-2,m8-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	m9-1,m9-2,m9-3	*	*	*	*	*	*	*
	60'	16	A1-1,A1-2,A1-3	*	*	*	*	*	*	*
		'-16/+100	A2-1,A2-2,A2-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	A3-1,A3-2,A3-3	*	*	*	*	*	*	*
$ZNCL_2$	90'	16	A4-1,A4-2,A4-3	*	*	*	*	*	*	*
		'-16/+100	A5-1,A5-2,A5-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	A6-1,A6-2,A6-3	*	*	*	*	*	*	*
	120'	16	A7-1,A7-2,A7-3	*	*	*	*	*	*	*
		'-16/+100	A8-1,A8-2,A8-3	*	*	*	*	*	*	*
		-100	A9-1,A9-2,A9-3	*	*	*	*	*	*	*

Donde:

Variables Independientes: Los agentes activantes cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Variables Dependientes: Porcentaje de Contenido de humedad (CH%), Porcentaje de Material Volátil (MV%), Porcentaje de Cenizas Totales, Porcentaje de Carbono fijo (CF%), Porcentaje de Adsorción, Potencial de hidrogenión (pH) y Densidad aparente (g/cm3).

De acuerdo al diseño planteado, el número de experimentos es el siguiente:

2 Agentes activantes * 3 tipos de concentraciones, y dos repeticiones Rx = 18 experimentos Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar el grado de influencia que ejercen las variables

independientes sobre las dependientes y sus respectivas interacciones. Luego se realizó el análisis del rango múltiple de Duncan, para cada una de las variables independientes y su relación con las dependientes, pudiéndose comparar a través de esta prueba, agentes activante, el rendimiento de los carbones obtenido. En todos los casos se tomó como referencia el nivel de confianza con 95% de probabilidad (-=5).

Los resultados obtenidos fueron evaluados, tomando como referencia la Norma Mexicana de alimentos para uso humano NMX-F-295-1981: "Determinación de la calidad de carbones activados empleados en la refinación de azúcar".

a) Humedad

El porcentaje de humedad se determinó por diferencia de 1g de carbón activado colocado en estufa a 120°C por un periodo de 3 horas, según Norma ITINTEC (1982).Se empleó la Norma ASTM D-1762.

b) Material Volátil

El material volátil se determinó según Norma ASTM-D 5838- 98 por la diferencia de peso menos el porcentaje de humedad de 1g de carbón activado que fue colocado en una mufla a 950°C por 7 minutos

c) Ceniza

La ceniza se determinó pesando el residuo de ignición de 1g de carbón activado colocado en una mufla a 650°C por un periodo de 6 horas, según Norma ITINTEC(1982), Norma ASTM D-2866-94 (199).

d) Carbón fijo

Se obtuvo por diferencia según Norma ASTM D-1762B (1981), mediante la siguiente formula:

Porcentaje de = 100 – (% ceniza + % de material volátil + % humedad + carbono fijo).

Los porcentajes fueron referidos en peso seco.

e) Adsorción frente al agua

La adsorción frente al agua se determinó mediante la metodología empleada por CODEX FRANCES (1939) que consiste en pesar 0,1 g de carbón seco y pulverizado y colocarlo en un crisol, el mismo que se lleva a un recipiente cerrado que contiene agua destilada, de modo que actúe en

atmósfera húmeda dejándose por un periodo de tiempo de 72 horas, posteriormente se retira y se pesa el carbón, el resultado se expresa en porcentaje. Las características de las moléculas que el carbón activado tiende a adsorber son: baja

polaridad, de mayor peso molecular, poco solubles en agua, moléculas muy ramificadas. Estas características son las que hacen que el carbón activado sea definido como un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas (Manahan, 2007).

f) Adsorción frente al azul metileno

La adsorción frente al azul metileno se determinó pesando 0,2 g de carbón activado seco y pulverizado, se agitó con 50 cm^3 de unas solución de azul de metileno al 1/10,000 durante 5 minutos, al cabo de este tiempo se centrifugó la suspensión decoloración de la solución, según el método CODEX FRANCES (1939).

g) Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno se determinó con un Peachimetro en una solución acuosa de 2g de carbón disueltos en 100 cm3 de agua destilada a una temperatura de 80°C según Norma ITINTEC 207.028-81, Norma D-3838-80(1990).

h) Densidad Aparente g/cm3

La densidad aparente se determinó siguiendo la metodología de Calgón Carbón Corporation (1981), cuyo procedimiento es el siguiente:

Se llena en una probeta de 100 cm^3, el carbón activado, se golpea suavemente hasta que no varíe el volumen, luego se pesa el carbón activado, la densidad aparente es el cociente de la masa de carbón activado y el volumen del mismo. La determinación se hizo a temperatura ambiente.

i) Tamaño de partícula

El porcentaje de tamaño de partícula se determinó según Norma ITINTEC 207.028-81, Norma ASTM D-5158-98.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

Evaluación de carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico diferentes concentraciones y 800°C de temperatura.

Para la obtención del carbón activado se utilizó el método de activación química empleando el reactivo cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Los procesos de activación son de dos formas: la activación física (llamada también activación térmica) y la activación química,(Rodriguez Reinoso F. 2007).

Se evaluaron las siguientes características del carbón activado:

En el ***Gráfico 1, y en el Cuadro 13*** se puede apreciar que la interacción de los factores agente activante ($ZnCl_2$ y H_3PO_4) a diferente concentración y a 800°C de temperatura presentan una interacción altamente significativa en el rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de copaiba, razón por lo que se realizó un análisis independiente por cada agente activante.

Cuadro 12 Datos obtenido de la evaluación en %

H_3PO_4	50	60	70
M-1	45.26	44.34	41.63
M-2	47.51	43.62	40.15
M-3	45.13	39.76	39.56
$ZnCl_2$	50	60	70
M-1	47.47	59.64	60.45
M-2	46.81	54.19	61.22
M-3	44.38	56.15	62.19

4.1.1 Análisis estadístico.

El ***Cuadro 13*** ilustra el análisis de variancia del rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de Copaiba (*Copaifera reticulata*) y en los que han interactuado los factores: agente activante con 2 variables y concentraciones/temperatura con 3/1 niveles.

Cuadro 13: Análisis de variancia de los rendimientos del carbón activado a partir del aserrín de *Copaifera reticulata.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	998,150[a]	5	199,630	61,574	0,000
Interceptación	42,871,776	1	42,871,776	13,223,436	0,000
Activante	607,145	1	607,145	187,269	0,000
Concentración	69,618	2	34,809	10,737	0,002
Activante * Concentración	321,388	2	160,694	49,565	0,000
Error	38,905	12	3,242		
Total	43,908,832	18			
Total corregido	1,037,056	17			

a. R al cuadrado = 0,962 (R al cuadrado ajustada = 0,947)

Sig = nivel de significancia

NS = No significativo

. = Significativo

.. = Altamente significativo

Como se puede notar en el ***Cuadro 13,*** la interacción de los factores: agente activante y concentración/temperatura es altamente siginificativa, no permitiendo sacar conclusiones del ANVA, siendo lo más recomendable efectuar el análisis de varianza unifactorial es decir por cada agente activante.

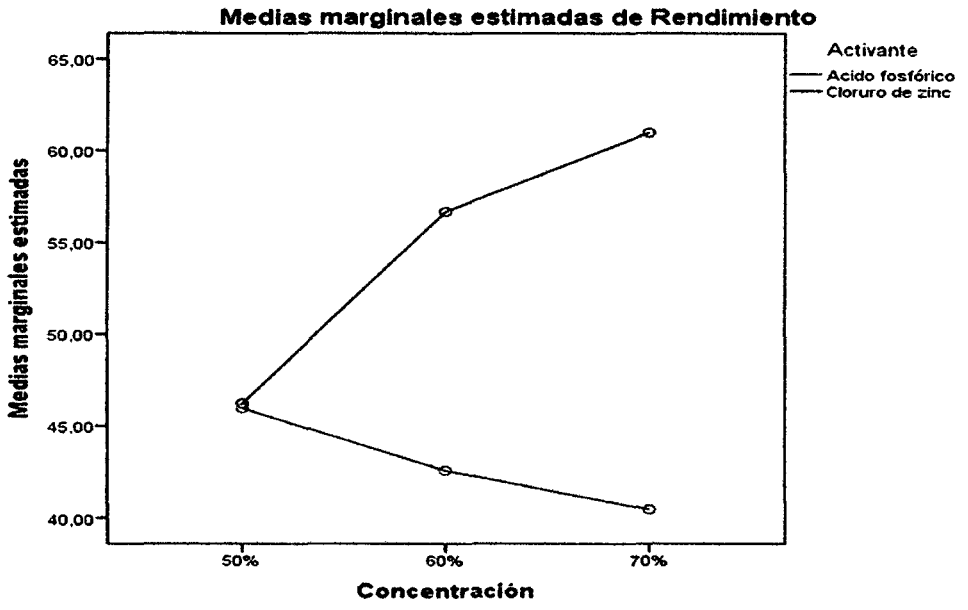


Grafico 1: Rendimiento del carbón activado

Cloruro de zinc ($ZnCl_2$)

El ***Cuadro 14,*** muestra los resultados del análisis de variancia de los rendimiento de carbón activado obtenidos a partir del aserrín de ***Copaifera reticulata*** catetizando como agente activante Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) a diferentes concentraciones y 800° C de temperatura.

Cuadro 14: Pruebas de medios con cloruro de zinc a diferentes concentraciones y 800°C de Temperatura

Variable dependiente: Rendimiento

HSD Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	-10,44000*	1,52454	0,001	-15,1177	-5,7623
	Tratamiento 3	-14,73333*	1,52454	0,000	-19,4110	-10,0556
Tratamiento 2	Tratamiento 1	10,44000*	1,52454	0,001	5,7623	15,1177
	Tratamiento 3	-4,29333	1,52454	0,068	-8,9710	,3844
Tratamiento 3	Tratamiento 1	14,73333*	1,52454	0,000	10,0556	19,4110
	Tratamiento 2	4,29333	1,52454	0,068	-,3844	8,9710

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Existen diferencias altamente significativa en el rendimiento del carbón activado con cloruro de zinc empleando a diferentes concentraciones y 800°C de temperatura.

Ácido Fosfórico (H_3PO_4)

El ***Cuadro 15,*** muestra los resultados del análisis de variancia de los rendimiento de carbón activado obtenidos a partir del aserrín de ***Copaifera reticulata*** catetizando como agente activante Ácido fosfórico (H_3PO_4) a diferentes concentraciones y 800° C de temperatura.

Cuadro 15: Análisis de varianza del carbón activado evaluado con ácido fosfórico a diferentes concentración y a 800°C de temperatura

Variable dependiente: Rendimiento

HSD Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Ttratamiento 1	Tratamiento 2	3,39333	1,41371	0,116	-,9443	7,7310
	Tratamiento 3	5,52000*	1,41371	0,019	1,1823	9,8577
Tratamiento 2	Ttratamiento 1	-3,39333	1,41371	0,116	-7,7310	,9443
	Tratamiento 3	2,12667	1,41371	0,354	-2,2110	6,4643
Tratamiento 3	Ttratamiento 1	-5,52000*	1,41371	0,019	-9,8577	-1,1823
	Tratamiento 2	-2,12667	1,41371	0,354	-6,4643	2,2110

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Existe diferencias altamente significativas en el rendimiento del carbón activado teniendo como agente activante el ácido fosfórico a diferentes concentraciones y temperaturas.

Cuadro 16: Rendimientos del carbón activado expresado en % utilizando 2 agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C Temperaturas.

Ag. Activante	$ZnCl_2$			H_3PO_4		
Conc./Témp.	50% 800°C	60% 800°C	70% 800°C	50% 800°C	60% 800°C	70% 800°C
N	'03	'03	'03	'03	'03	'03
Media(%)	46.22	56.66	61.29	45.97	42.57	40.45
CV (%)	2.88	3.98	1.16	2.38	4.72	2.15

Grafico 2 : Rendimiento del carbón activado a partir de aserrín de *Copaifera reticulata empleando 2 agentes activantes a diferentes concentración y a 800°C de temperatura-H_3PO_4.*

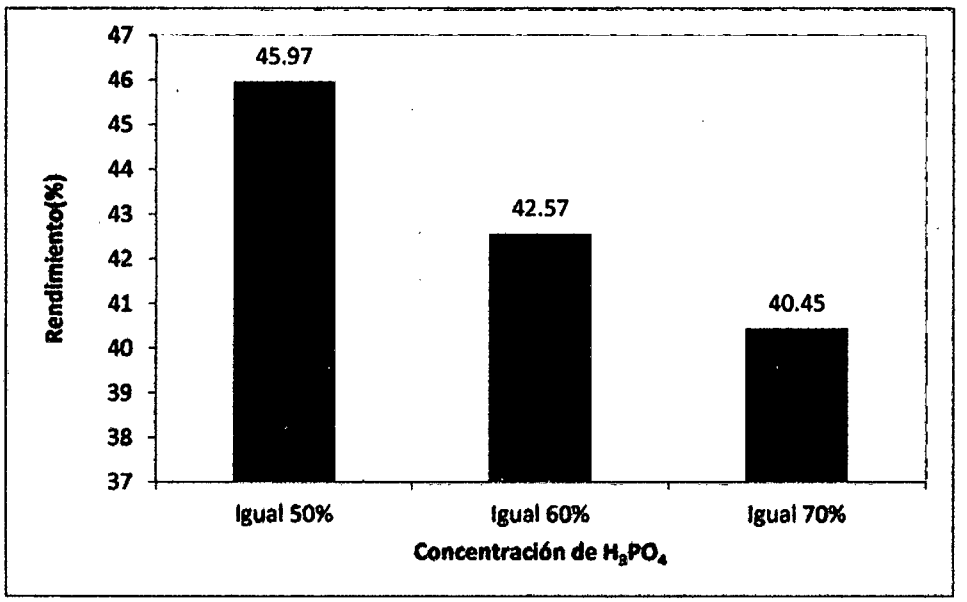


Grafico 2 : Rendimiento del H_3PO_4

Grafico 3 : Rendimiento del carbón activado a partir de aserrín de *Copaifera reticulata empleando 2 agentes activantes a diferentes concentración y a 800°C de temperatura-$ZnCl_2$.*

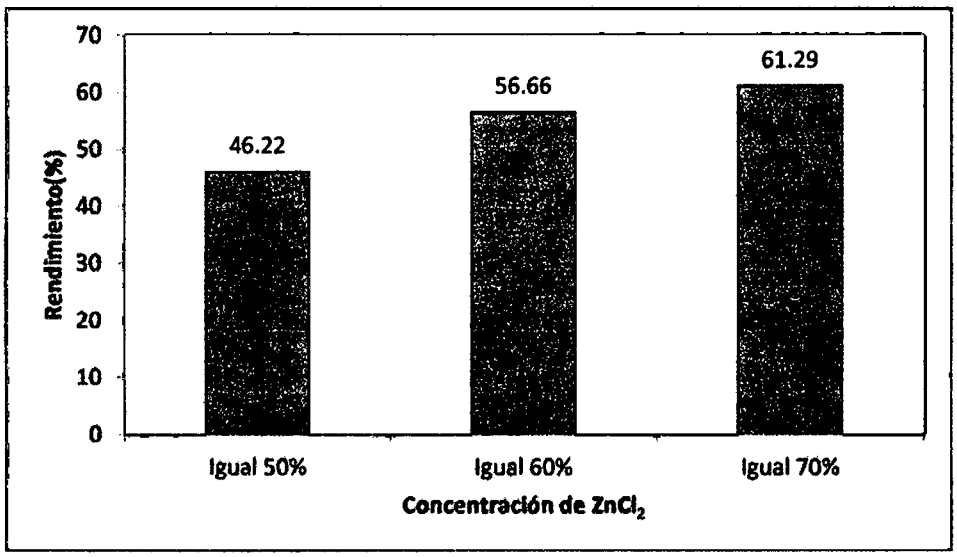


Grafico 3 : Rendimiento del $ZnCl_2$

Carbón activado evaluado con cloruro de zinc.

En el ***Cuadro N° 15 Grafico 2 y 3,*** se puede apreciar que el rendimiento del carbón activado a 70 % de concentración y a 800°C de temperatura presenta un rendimiento de 61.29 por ciento y que difiere significativamente del rendimiento del carbón activado evaluado con una concentración/temperatura de 60%/800°C (56.66%) y de 50%/800°C (46.22%) respectivamente, existiendo diferencias significativas entre 2 últimos valores.

Así mismo se puede apreciar que a medida que aumenta la concentración aumenta el rendimiento, cosa que no sucede con el H_3PO_4 al aumentar la concentración disminuye el rendimiento.

El rendimiento promedio de los carbones activados evaluado es de 48.86 por ciento, cuyo valor es inferior al 66.55 por ciento establecido por Mello y Bueno (1988) para el Eucalyptus globulus y mayor al 24.60 por ciento determinado por Guerrero (1987) de cáscara de coffe arábica (café).

Carbón activado con ácido fosfórico (H_3PO_4).

En el Cuadro 16 ***Grafico N° 3,*** se puede apreciar que los rendimiento del carbón activado evaluado con las tres variantes del factor concentración/temperatura presentan rendimientos diferentes; siendo el de mayor rendimiento el carbón activado evaluado a 50%800°C (45.97%) seguido, del 60%/800°C (42.57%) y finalmente el de 70%/800°C (40.45%).

Caracterización del carbón activado de Copaifera reticulata.

a.1 Potencial de hidrógeno (pH).

En el ***Cuadro 17,*** se puede apreciar que el carbón activado evaluado con ácido fosfórico (H_3PO_4) presenta un pH de 6.80 el cual difiere significativamente del pH del carbón activado evaluado con cloruro de zinc cuyo valor es superior al primero (7.67).

El potencial de hidrógeno (pH) de los carbones activados evaluado por Mello y Bueno (1988) en Eucalyptus globulus es de (6.5) con cloruro de zinc y (6.7) para el ácido fosfórico; (6.7) con el cloruro de zinc y (5.5) evaluado por Guerrero de la cascara de coffe arábica, y (6.48) encontrado por Arana (1987) en la cascara de coco.
Estos valores son similares al evaluado en el presente estudio.

Cuadro 17 Base de datos del pH

Carbón obtenido	50% -R1			60% - R2			70% - R3		
Ácido fosfórico	6.64	6.74	6.6	6.8	6.8	6.8	6.9	7	6.89
Cloruro de zinc	7.56	7.45	7.6	7.5	7.6	7.6	7.9	7.8	7.88

Cuadro 18 Potencial de Hidrogeno pH

Agente Activante	pH
$ZnCl_2$	7.67
H_3PO_4	6.80

Cuadro 19: pH de los agentes activantes

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: pH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3,671[a]	5	0.734	209,749	0.000
Interceptación	941,780	1	941.780	269080,000	0.000
Activante	3,363	1	3.363	960,768	0.000
Concentración	0.290	2	0.145	41,462	0.000
Activante * Concentración	0.018	2	0.009	2,525	0.122
Error	0.042	12	0.003		
Total	945,493	18			
Total corregido	3,713	17			

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

El pH del carbón activado obtenido con cloruro de zinc es más elevado que el carbón activado obtenido con ácido fosfórico.

Grafico 4: Potencial de Hidrogeno (pH)

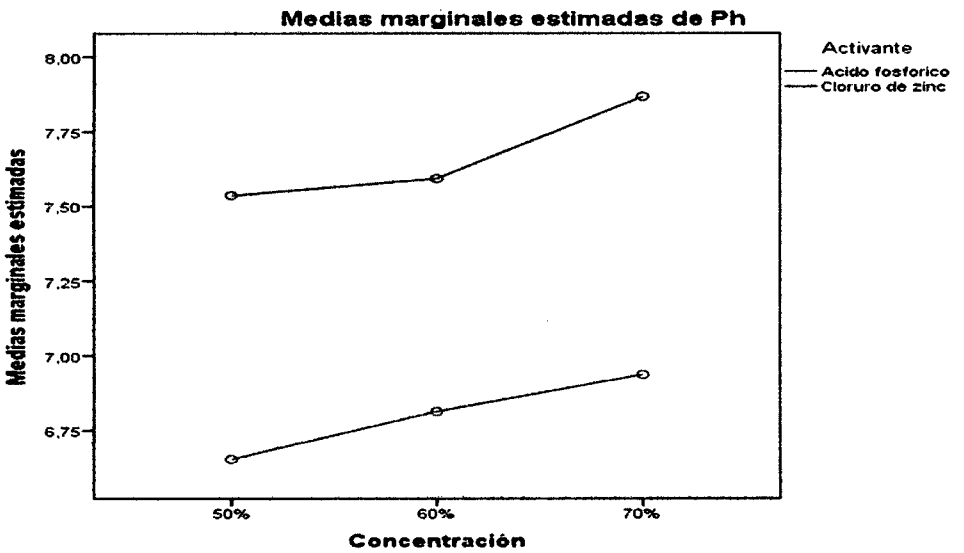


Grafico 4 : pH

En el ***Cuadro 19*** se puede apreciar que solo existe diferencias altamente significativas entre el pH de carbón activado, obtenido por los agentes activantes, cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Cuadro 20 : T Student de pH

D Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	-,16000*	0,04761	0,035	-,3061	-,0139
	Tratamiento 3	-,28333*	0,04761	0,002	-,4294	-,1373
Tratamiento 2	Tratamiento 1	,16000*	0,04761	0,035	,0139	,3061
	Tratamiento 3	-,12333	0,04761	0,091	-,2694	,0227
Tratamiento 3	Tratamiento 1	,28333*	0,04761	0,002	,1373	,4294
	Tratamiento 2	,12333	0,04761	0,091	-,0227	,2694

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Cuadro 21: T Student del pH $ZnCl_2$

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	-,05667	,04899	,518	-,2070	,0936
	Tratamiento 3	-,33000*	,04899	,001	-,4803	-,1797
Tratamiento 2	Tratamiento 1	,05667	,04899	,518	-,0936	,2070
	Tratamiento 3	-,27333*	,04899	,003	-,4236	-,1230
Tratamiento 3	Tratamiento 1	,33000*	,04899	,001	,1797	,4803
	Tratamiento 2	,27333*	,04899	,003	,1230	,4236

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a.2 Tamaño de partículas

En el ***Cuadro 22*** se puede apreciar que existen diferencias altamente significativas entre los tamaños de partículas del carbón activado obtenido con cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Cuadro 22 : Tamaños de Partículas

Activante	Porcentaje
$ZnCl_2$	97.77 %
H_3PO_4	95.15 %

El tamaño de partícula del carbón activado con cloruro de zinc es más grande que el tamaño del carbón activado obtenido con ácido fosfórico.

a.3 Capacidad de adsorción (azul de metileno)

En el ***Cuadro 23 :*** se puede apreciar que solo existen diferencias significativas entre los promedios de la capacidad de adsorción del carbón activados obtenidos por medio de los agentes activantes con cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Cuadro 23 : Capacidad de Adsorción

Activante	cm3
$ZnCl_2$	24.40 cm3
H_3PO_4	21.30 cm3

La capacidad de adsorción de azul de metileno del carbón activado obtenido con cloruro de zinc es mayor (24.40 cm_3) que la adsorción del carbón obtenido con ácido fosfórico.

El mismo ***Cuadro 24*** se puede observar que existen diferencias significativas entre capacidad de adsorción de azul de metileno de los carbones activados evaluados por diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura. El ***Cuadro 24*** muestra las diferencias significativas existentes entre los 3 tipos de carbón activado obtenido a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

Cuadro 24 : Capacidad de Adsorción Promedio

50%/800°C	60%/800°C	70%/800°C
17.00	23.30	28.25

Cuadro N° 24: Prueba de la capacidad de adsorción promedio (cm^3) del carbón activado a diferentes concentraciones y 800°C de temperaturas

Características Físico-Químicas del carbón activado que presentan interacción significativa entre los factores.

a.4 Densidad aparente

En el ***Cuadro 25*** se puede apreciar que la interacción de los factores agente activante y concentración a 800°C temperatura, es altamente significativa. La interacción de los 2 factores lo ilustra el Cuadro N° 25

Cuadro 25 : Densidad Aparente

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,001[a]	5	,000	1221,927	,000
Interceptación	,416	1	,416	2270382,982	,000
Activante	,001	1	,001	4436,667	,000
Concentración	,000	2	,000	587,164	,000
Activante * Concentración	9,142E-5	2	4,571E-5	249,321	,000
Error	2,200E-6	12	1,833E-7		
Total	,417	18			
Total corregido	,001	17			

a. R al cuadrado = ,998 (R al cuadrado ajustada = ,997)

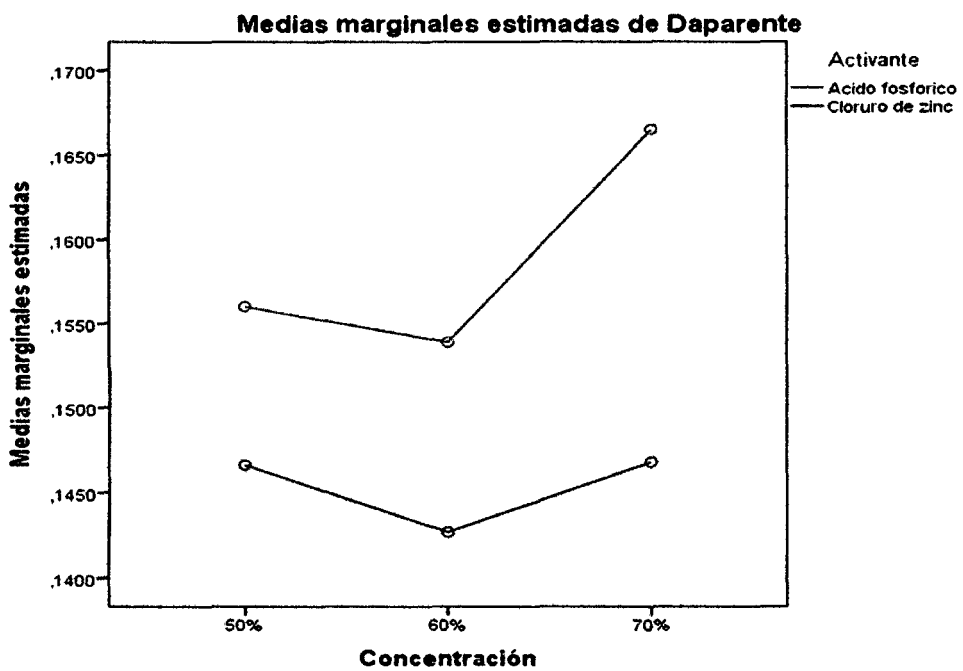


Grafico 5 : Densidad aparente del carbón activado a partir de

aserrín *Copaifera reticulata.*

Para resolver la interacción de los 2 factores se realizó análisis de variancias unifactoriales es decir por los agente activante ($ZnCl_2$ y H_3PO_4) tal como se ilustra en el ***Cuadro 26***

Cuadro 26 : Prueba de T Student Densidad Aparente H_3P0_4

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	,0021333*	,0001361	,000	,001716	,002551
	Tratamiento 3	-,0105000*	,0001361	,000	-,010918	-,010082
Tratamiento 2	Tratamiento 1	-,0021333*	,0001361	,000	-,002551	-,001716
	Tratamiento 3	-,0126333*	,0001361	,000	-,013051	-,012216
Tratamiento 3	Tratamiento 1	,0105000*	,0001361	,000	,010082	,010918
	Tratamiento 2	,0126333*	,0001361	,000	,012216	,013051

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Cuadro 27 : Densidad Aparente del cloruro de zinc

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,000	2	0,000	47,669	0,000
Dentro de grupos	0,000	6	0,000		
Total	0,000	8			

Cuadro 28 Prueba de Tukey Desnidad Aparente

(I) Tratamentos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	,0039333*	,0004753	0,000	,002475	,005392
	Tratamiento 3	-,0001667	,0004753	0,935	-,001625	,001292
Tratamiento 2	Tratamiento 1	-,0039333*	,0004753	0,000	-,005392	-,002475
	Tratamiento 3	-,0041000*	,0004753	0,000	-,005558	-,002642
Tratamiento 3	Tratamiento 1	,0001667	,0004753	0,935	-,001292	,001625
	Tratamiento 2	,0041000*	,0004753	0,000	,002642	,005558

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

En el ***Cuadro 27 y 28*** se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los promedios de la densidad aparente del carbón activado obtenido con cloruro de zinc ($ZnCl_2$) a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura. Se determinó entre que tratamientos (concentraciones/temperatura) existen diferencias significativas

Cuadro 29 : Diferencias Significativas entre las Densidad Aparentes Promedio

	50%/800°C	**60%/800°C**	**70%/800°C**
$ZnCl_2$	0.146	0.142	0.146
H_3PO_4	0.156	0.154	0.167

En el ***Cuadro 29:*** muestra que existen diferencias significativas entre los promedios de la densidad aparente del carbón activado obtenido con cloruro de zinc. El carbón activado obtenido con el tratamiento 60% de concentración y

800°C de temperatura es el más bajo y la densidad más elevada se encuentra al 70% de concentración y 800°C de temperatura del H_3PO_4.

a.5 Contenido de humedad

Cuadro 30 Base de datos contenido de humedad

Contenido de humendad H3PO4			50%
1	2	3	
19.633	20.268	20.659	
20.633	21.268	21.659	
20.505	21.187	21.555	
0.128	0.081	0.104	
1	2	3	60%
30.521	30.195	30.290	
31.521	31.195	31.290	
31.430	31.103	31.202	
0.091	0.092	0.088	
1	2	3	70%
30.532	31.382	30.436	
31.532	32.382	31.436	
31.459	32.288	31.335	
0.073	0.094	0.101	

Contenido de humedad	ZNCL2		
1	2	3	50%
29.972	30.965	30.938	
30.972	31.965	31.938	
30.955	31.931	31.909	
0.017	0.034	0.029	
1	2	3	60%
48.142	48.078	47.694	
49.142	49.078	48.694	
49.136	49.055	48.652	
0.006	0.023	0.042	
1	2	3	70%
48.310	48.707	48.705	
49.31	49.707	49.705	
49.301	49.681	49.676	
0.01	0.03	0.03	

Cuadro 31: Pruebas de efectos contenido de humedad

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	225,623[a]	5	45,125	20,779	0,000
Interceptación	639,627	1	639,627	294,533	0,000
Activante	221,201	1	221,201	101,858	0,000
Concentración	3,134	2	1,567	0,722	0,506
Activante * Concentración	1,288	2	0,644	0,296	0,749
Error	26,060	12	2,172		
Total	891,310	18			
Total corregido	251,683	17			

a. R al cuadrado = ,896 (R al cuadrado ajustada = ,853)

El ***Cuadro 31*** muestra que hay diferencia significativas entre los dos agentes, en la obtención del carbón activado de *Copaifera reticulata* son altamente significativa. La interacción de los 2 factores se puede distinguir en el ***Grafico 6.***

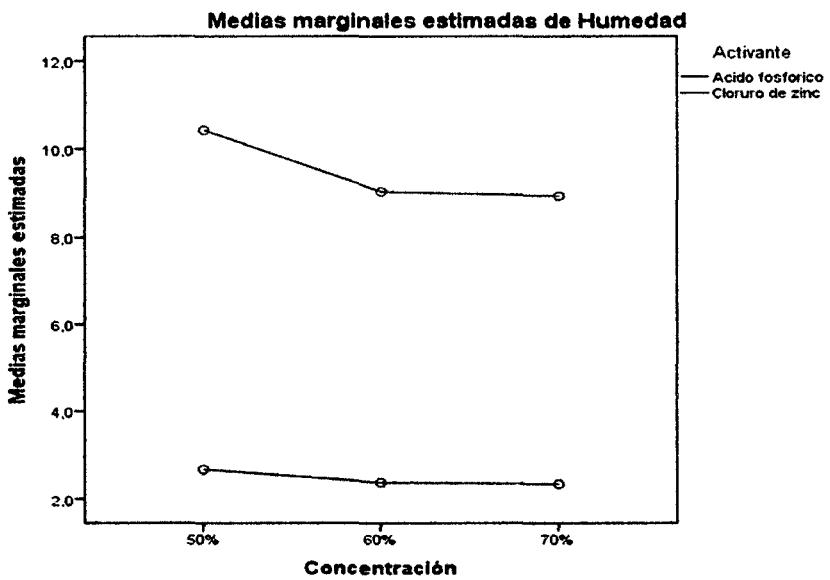


Grafico 6: Contenido de humedad del carbón activado *copaifera reticulata* evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y 800°C de temperatura.

Para resolver la interacción de 2 factores interactuante se realizaron 2 análisis de variancias unifactoriales, es decir análisis por cada agente activante ($ZnCl_2$ y H_3PO_4), cuyos resultados se muestran en el ***Cuadro 32.***

Cuadro 32: Análisis de varianza del contenido de humedad del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	225,623[a]	5	45,125	20,779	,000
Interceptación	639,627	1	639,627	294,533	,000
Activante	221,201	1	221,201	101,858	,000
Concentración	3,134	2	1,567	,722	,506
Activante * Concentración	1,288	2	,644	,296	,749
Error	26,060	12	2,172		
Total	891,310	18			
Total corregido	251,683	17			

a. R al cuadrado = ,896 (R al cuadrado ajustada = ,853)

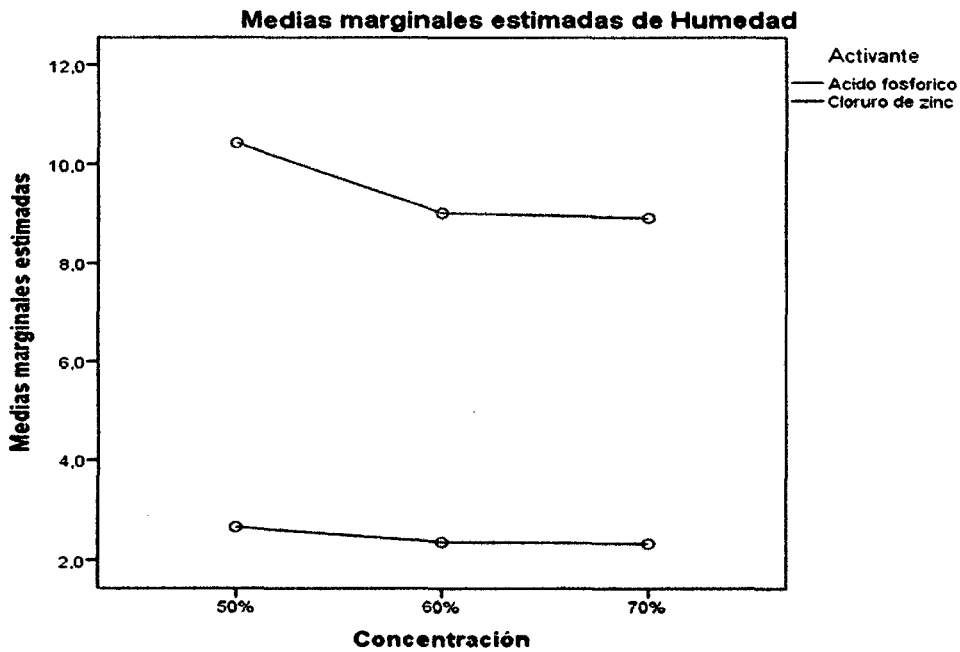


Grafico 7 : Humedad

Cuadro 33 : Humedad P Student

Estadísticas de grupo

	Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Humedad	Tratamiento 1	9	9,4667	1,56525	,52175
	Tratamiento 2	9	2,4556	1,16631	,38877

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Sig.	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Humedad	Se asumen varianzas iguales	,137	,716	10,775	16	,000	7,01111	,65066	5,63176	8,39046
	No se asumen varianzas iguales			10,775	14,790	,000	7,01111	,65066	5,62254	8,39968

En el ***Cuadro 30*** se puede apreciar que existe diferencias altamente significativas entre contenido de humedad y promedio del carbón activado obtenidos con el activante cloruro de zinc a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

Cuadro 33 Contenido de humedad así mismo se puede apreciar que existe diferencias significativas entre el contenido de humedad del carbón activado de *Copaifera reticulata* obtenidos con ácido fosfórico (H_3PO_4) a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

a.6 Material volátil

En el ***Cuadro 34*** se puede apreciar que la interacción de los factores agente activante y concentración/temperatura, en la obtención de carbón de *Copaifera reticulata* es significativa. La interacción de ambos factores se puede aprecia en el ***Gráfico 8.***

Cuadro 34: *Base de datos material Volátil*

H_3PO_4	50	60	70
1 Gramo	secado al horno a 950°C		
M1	22.8	20.8	22.2
M2	23.1	19	27.2
M3	22.9	25.4	25.4
$Zncl_2$	50	60	70
1 Gramo	secado al horno a 950°C		
M1	24.9	15	15.65
M2	25.3	14.9	14.5
M3	19.9	13.3	15.58

***Cuadro 35** Material Volátil*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	319,538[a]	5	63,908	9,078	0,001
Interceptación	7580,909	1	7580,909	1076,919	0,000
Activante	153,709	1	153,709	21,835	0,001
Concentración	91,721	2	45,861	6,515	0,012
Activante * Concentración	74,108	2	37,054	5,264	0,023
Error	84,473	12	7,039		
Total	7984,920	18			
Total corregido	404,011	17			

a. R al cuadrado = ,791 (R al cuadrado ajustada = ,704)

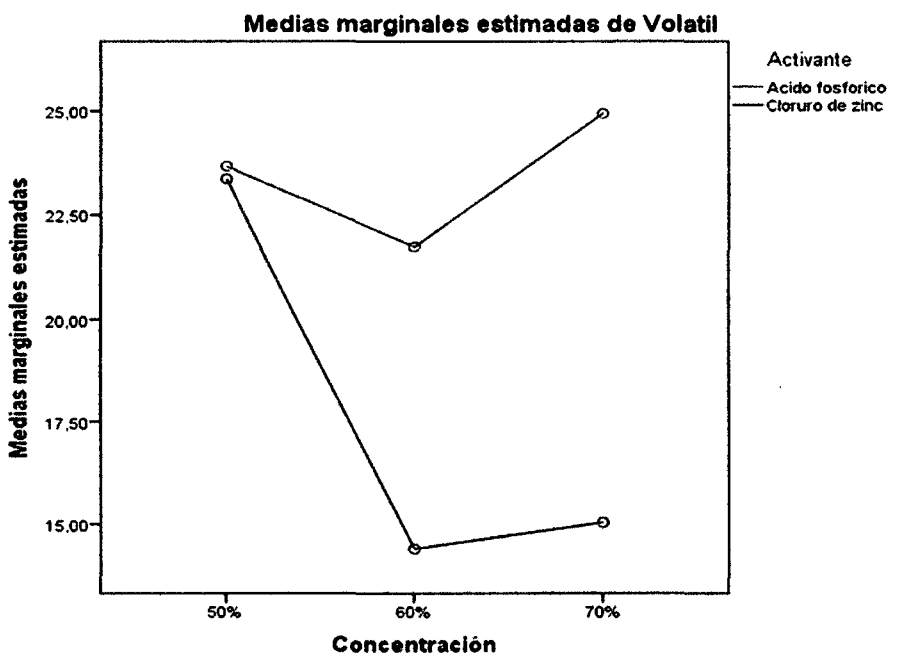


Grafico 8: Material volátil de carbón activado *Copaifera reticulata evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a* 800°C de temperatura.

Para resolver la interacción de los 2 factores se realizarán 2 análisis de variancias unifactoriales, es decir independientemente por agente activante ($ZnCl_2$ y H_3PO_4), cuyos resultados se detallan en el ***Cuadro 36.***

Cuadro 36: Análisis de variancias de material volátil de carbón activado con dos agentes activantes a diferentes concentración y temperatura.

Agente Activante	Fuente de Variación	GI	SC	CM	Fc	Sig
$ZnCl_2$	**Concentración/Temperatura**	**2**	21.975	10.988	1.990	**N.S.**
	Error	11	60.860	5.533		
	Total	11	82.635			
H_3PO_4	**Concentración/Temperatura**	2	15.541	7.771	3.17	**N.S.**
	Error	9	29.461	2.544		
	Total	11	45.002			

En el ***Cuadro 36*** se puede apreciar que existe diferencias significativas entre los promedios del Material volátil del carbón activado obtenidos con cloruro de zinc y con ácido fosfórico a 50% de concentración pero a 60 % y 70% en ambos casos a diferentes concentraciones y a 800° C de temperatura si hay diferencias.

a.7 Cenizas totales

Cuadro 37: Base de datos cenizas

H3Po4	50	60	70
1 Gramo			
M1	2.78	2.08	2.22
M2	2.29	1.9	2.72
M3	2.03	2.54	2.54
Zncl2	50	60	70
1 Gramo	secado al horno a 950°C		
M1	2.49	1.5	1.48
M2	2.53	1.49	1.45
M3	1.99	1.33	1.58

Cuadro 38 Cenizas análisis de variables

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3,195[a]	5	,639	9,078	,001
Interceptación	75,809	1	75,809	1076,919	,000
Activante	1,537	1	1,537	21,835	,001
Concentración	,917	2	,459	6,515	,012
Activante * Concentración	,741	2	,371	5,264	,023
Error	,845	12	,070		
Total	79,849	18			
Total corregido	4,040	17			

a. R al cuadrado = ,791 (R al cuadrado ajustada = ,704)

En el ***Cuadro 38*** *se* muestra que existe una interacción significativa entre los factores agentes activantes y concentraciones y a 800°C de temperatura, en la evaluación de carbón activado. La interacción de estos 2 factores lo ilustra el ***Grafico N° 9.***

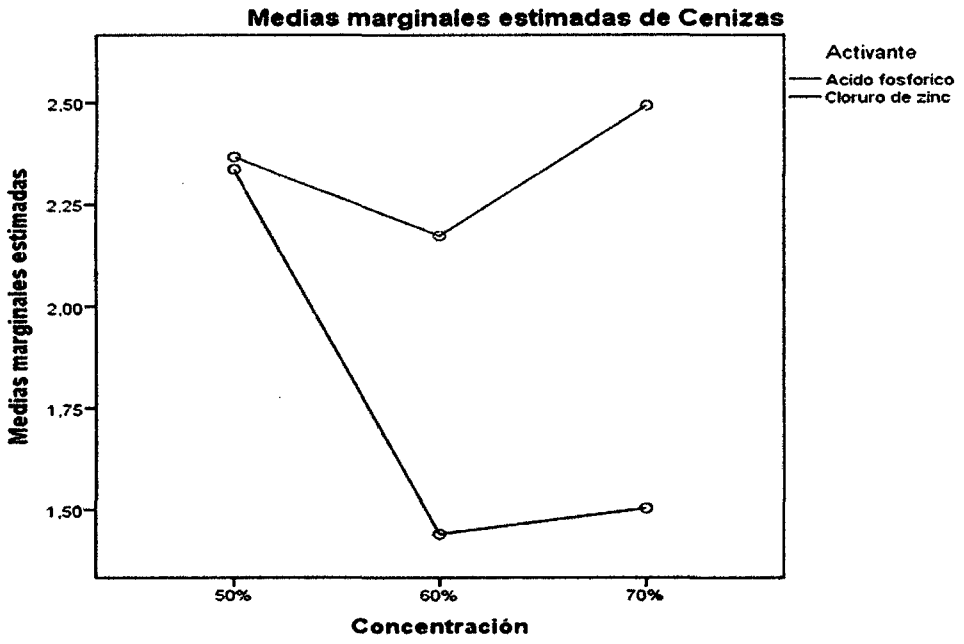


Grafico 9: Cenizas totales de carbón activado evaluado de *Copaifera reticulata* con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

En el ***Cuadro 39*** y el ***Grafico 9*** muestra que existen diferencias altamente significativa entre los promedios de la Cenizas Totales del carbón activado obtenidas diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura tanto con el agente activante cloruro de zinc y ácido fosfórico.

Para resolver la interacción de los 2 factores (agente activante x concentración/temperatura) se desdobló el análisis de variancias en 2 análisis de variancias, realizándose cada agente activante independientemente, cuyos resultados se detallan en el ***Cuadro 39.***

Cuadro 39 : Análisis de variancia con el ácido fosfórico

NOVA

Cenizas

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,156	2	,078	,735	,518
Dentro de grupos	,636	6	,106		
Total	,792	8			

El Cuadro 39: CENIZAS TOTALES DEL CARBON ACTIVADO EVALUADO DE *Copaifera reticulata* EVALUADO CON 2 AGENTES ACTIVANTES A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y A 800°C DE TEMPERATURA-

a.8 Carbono fijo

En el ***Cuadro 40*** se puede apreciar que existe una interacción significativa entre los 2 factores considerados (agente activante x concentración/temperatura), para la evaluación del carbón activado a partir del aserrín de *Copaiba reticulata.* La interacción se puede observar con mayor detalle en el ***Grafico 10.***

Cuadro 40 : Carbón fijo

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Carbono

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1042,678[a]	5	208,536	15,982	,000
Interceptación	92014,780	1	92014,780	7051,989	,000
Activante	820,935	1	820,935	62,916	,000
Concentración	149,334	2	74,667	5,722	,018
Activante * Concentración	72,410	2	36,205	2,775	,102
Error	156,577	12	13,048		
Total	93214,035	18			
Total corregido	1199,255	17			

a. R al cuadrado = ,869 (R al cuadrado ajustada = ,815)

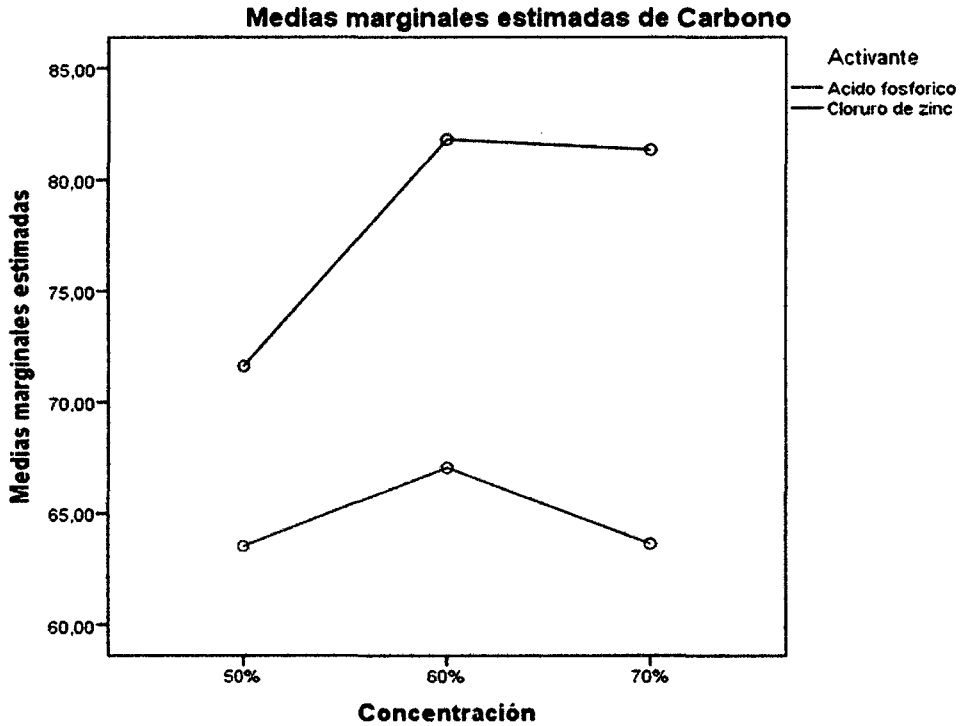


Grafico 10: Porcentaje de carbono fijo del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y temperaturas.

Para resolver la interacción de los 2 factores considerados para la evaluación del carbón activado (agente activante x concentración y a 800°C temperatura) se ha efectuado 2 análisis unifactoriales, una para carbón activado con Ácido Fosfórico a diferentes concentraciones y a 800°C temperatura y la otra para carbón activado evaluado con Cloruro de Zinc también a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura el ***Cuadro 40*** muestra los 2 análisis de la varianza del carbón evaluado con los 2 agentes activante.

Cuadro 41 : Análisis de variancias del carbono fijo del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

Análisis Unifactorial para el Ácido Fosfórico

ANOVA

Carbono

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24,145	2	12,073	,564	,596
Dentro de grupos	128,389	6	21,398		
Total	152,534	8			

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Carbono

HSD Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	-3,52667	3,77696	,641	-15,1154	8,0621
	Tratamiento 3	-,10667	3,77696	1,000	-11,6954	11,4821
Tratamiento 2	Tratamiento 1	3,52667	3,77696	,641	-8,0621	15,1154
	Tratamiento 3	3,42000	3,77696	,657	-8,1688	15,0088
Tratamiento 3	Tratamiento 1	,10667	3,77696	1,000	-11,4821	11,6954
	Tratamiento 2	-3,42000	3,77696	,657	-15,0088	8,1688

En el ***Cuadro 41*** muestra que existen diferencias significativas entre los promedios de la Carbono Fijo del carbón evaluado cloruro de zinc a diferentes concentraciones y a 800 ° C de temperatura, así mismo el porcentaje de carbono difiere significativamente entre los carbones activados con ácido fosfórico a diferentes concentraciones y temperatura.

Cuadro 42 : Análisis de variancias del carbono fijo del carbón activado evaluado con dos agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura.

T Student Cloruro de Zinc

ANOVA

Carbono

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	197,598	2	98,799	21,030	,002
Dentro de grupos	28,188	6	4,698		
Total	225,786	8			

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Carbono

HSD Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento 1	Tratamiento 2	-10,16333*	1,76974	,003	-15,5934	-4,7333
	Tratamiento 3	-9,70000*	1,76974	,004	-15,1301	-4,2699
Tratamiento 2	Tratamiento 1	10,16333*	1,76974	,003	4,7333	15,5934
	Tratamiento 3	,46333	1,76974	,963	-4,9667	5,8934
Tratamiento 3	Tratamiento 1	9,70000*	1,76974	,004	4,2699	15,1301
	Tratamiento 2	-,46333	1,76974	,963	-5,8934	4,9667

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Carbono

HSD Tukey[a]

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Tratamiento 1	3	71,6300	
Tratamiento 3	3		81,3300
Tratamiento 2	3		81,7933
Sig.		1,000	,963

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Prueba T Student

Estadísticas de grupo

	Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Carbono	Tratamiento 1	9	64,7444	4,36655	1,45552
	Tratamiento 2	9	78,2511	5,31255	1,77085

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Carbono	Se asumen varianzas iguales	,499	,490	-5,892	16	,000	-13,50667	2,29226	-18,36603	-8,64730
	No se asumen varianzas iguales			-5,892	15,422	,000	-13,50667	2,29226	-18,38088	-8,63245

Cuadro 43: Determinación de impurezas de los carbones activados.

Análisis de Impurezas	**Carbón Activado Tratado con**					
	$ZnCl_2$, 70 %	$ZnCl_2$, 60 %	$ZnCl_2$, 50 %	H_3PO_4, 70 %	H_3PO_4, 60 %	H_3PO_4, 50 %
	Temperatura de Activación					
	800	800	800	800	800	800
Comportamiento Aromático	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
Coloración en Solución	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Reacción al Tornasol	Neutro	Neutro	Acido	Ácido	Ácido	Neutro
Prueba del Papel con Acetado de Plomo	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

(+): Reacción Positiva

(-): Reacción Negativa

El ***Cuadro 43*** muestra la comparación de las propiedades físico-químicas del carbón evaluado de aserrín de copaiba con agentes activantes a diferentes concentraciones y a 800°C de temperatura con la Norma Mexicana (NOM) y la Norma INDECOPI.

Cuadro 44: Comprobación de las propiedades físico-químicas del carbón activado evaluado con LA NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM) Y LA NORMA INDECOPI.

Propiedades Físico-Químico	Carbón Norma Oficial Mexicana (NOM)	Carbón (Norma INDECOPI)	$ZnCl_2$			$H3PO_4$		
			50% 800°C	60% 800°C	70% 800°C	50% 800°C	60% 800°C	70% 800°C
Rendimiento			46.22	56.66	61.29	45.97	42.57	40.45
Apariencia	P.N.	P.N.	P.N.	P.N.	P.N.	P.N.	P.N.	P.N.
Tamaño de partícula N° 60	Pesa 95 % Min	Pesa 95 % Min						
Densidad Aparente	0.35. 0.40	0.4/m3 Max	0.146	0.142	0.146	0.156	0.154	0.167
Humedad	12% Máx	12% Máx						
Cenizas totales	12% Máx	5% Máx	2.34	1.44	1.50	2.37	2.17	2.49
Ph	6.0 - 8.5	5.5 - 7.5	7.54	7.59	7.87	6.65	6.81	6.94
Adsorción de azul de metileno	N.D.	N.D.						
Material Volátil	--	--	23.37	14.40	15.03	23.67	21.73	24.93
Carbón Fijo	--	--	71.63	81.79	81.33	63.53	67.06	63.64

Evaluación del carbón activado.

En el ***Anexo 1,*** se indica las características obtenidas del aserrín de la Copaifera reticulata:

El contenido de humedad de la materia prima(aserrín de Copaifera reticulata) reporta que el contenido de humedad alcanzado es 5.96 por ciento; este valor es importante, porque influye en el tiempo de carbonización, obteniéndose mejores resultados a menores contenidos de humedad.

Con respecto al contenido de cenizas es 0.20 por ciento este valor está dentro del rango señalado por la Norma ASTM.

El contenido de carbono fijo es 74.53; este valor se explica debido a que los componentes principales de la madera son las celulosa, lignina y hemicelulosas que se muestra en mayores porcentajes, concentrándose en mayor porcentaje la celulosa.

El contenido de material volátil 20.52 - 14.45 por ciento está fuera del rango de la Norma ASTM que es mayor a 15 por ciento.

El pH de aserrín de madera es 7.23 el cual nos indica que es ácido, valor aceptado en la Norma ASTM. Esto indica que la materia prima utilizado es conveniente ya que la calidad del carbón activado resultante esta considerablemente influenciado por la materia prima.

En cuanto al carbón activado obtenido del aserrín de madera Copaifera reticulata se observa: Al comparar los valores evaluado con las especificaciones para carbón activado en polvo según Norma ITINTEC y la Norma Oficial Mexicana(NOM) según el ***grafico 1 y 2,*** en la evaluación del carbón activado, al realizar los ensayos respectivos, se considera al cloruro de zinc ($ZnCl_2$) como el mejor activante de los dos empleados ($ZnCl_2$ y H_3PO_4) y el mejor rendimiento 61.29 por ciento debido a las condiciones de temperatura y concentración: es decir a mayor concentración y temperatura 70%/800°C respectivamente.

En el análisis físico-químico ensayado, cuyos valores se observan en el ***Cuadro 44***; estos valores están dentro del límite permisible señalado, en la Norma Oficial Mexicana(NOM) y Norma ITINTEC; lo que no ocurre con el ácido fosfórico (H_3PO_4). Cuyos valores de pH 6.65 a 6.94, promedio 6.50, densidad aparente 0.16 a 0.167 g/cm3, no cumplen las especificaciones. En cuanto a la materia volátil esta no es especificada por la Norma Oficial mexicana ni por ITINTEC, pero es razonable considerar que esto se deba a que los hidrocarburos que deberán eliminarse quedan en el interior del carbón y no son fácilmente oxidables. En cuanto al contenido elevado del carbono fijo de 74.53

por ciento, es debido a que el carbón activado está constituido principalmente por carbón natural, el cual forma parte del contenido de carbón fijo.

Los carbones activados obtenidos son superiores, en el caso del cloruro de zinc; con capacidad de adsorción de 24.40 cm3 de Azul de Metileno, o algunos carbones activados que se encuentran en el mercado con poderes de adsorción máxima de 27.2 cm3 de Azul de metileno y H_3PO_4 21.30 cm3.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados que se experimentó traen las siguientes conclusiones:

1. La composición química del carbón activado de *copaifera reticulata* tiene un contenido de humedad de 5,97 por ciento, material volátil 20.52 por ciento, contenido de ceniza de 0.20 por ciento, carbono fijo 71.50 por ciento, potencial de hidrógeno de 7.23.

2. El rendimiento del carbón activado con cloruro de zinc fue de 61.29 por ciento con 70 por ciento y 800° C de temperatura de activación para el carbón activado con ácido fosfórico fue de 45.97 por ciento con 50 por ciento de concentración y 800°C de temperatura de activación.

3. Los resultados del carbón activado evaluado como : Contenido de humedad, cenizas, densidad aparente tamaño de partículas cumple con la Norma Oficial Mexicana (NOM) Y La Norma INDECOPI, establecida para estos propósito, con el ácido fosfórico se obtuvo al 50% de concentración 45.97 % de rendimiento y con el Cloruro de zinc al 70 % se obtuvo 61.29 % esto demuestra que con el cloruro de zinc a mayor concentración el rendimiento es mayor, lo que no sucede con el ácido fosfórico a menor concentración mayor rendimiento.

4. El mejor agente activante es el Cloruro de Zinc al 70 por ciento, por tener mayor capacidad de adsorción.

5. La eficiencia relativa del carbón activado de Copaiba es 180 gramos.

5.2 Recomendaciones

1. Al evaluar el proceso de activación química con los agentes activantes cloruro de zinc y ácido fosfórico se desprenden gases tóxicos que son perjudiciales para la salud, por cuanto se recomienda tener mucho cuidado en el proceso de activación del carbón ya que en dicho proceso

se produce una combustión y la emanación de gases tóxicos manteniendo un ambiente con mucha aireación.

2. Se recomienda realizar otras investigaciones en cuanto a las diversas especies forestales maderables que existen para así lograr una comparación entre las calidades de carbón activado evaluado por especie, que podría ser una solución a la gran existencia del aserrín.
3. Se recomienda realizar estudios de factibilidad para determinar la rentabilidad económica que se obtendría en la fabricación del producto.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUINAGA, a. y CASTAÑEDA n.**. (1983) Proyecto de instalación de una planta de carbón activado a partir del bagazo de la caña de azúcar. Tesis para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Química, Programa de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo.

2. **ARANA, c.** (1987) Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco (cocos mucijera). Por el método de activación química. (Tesis Industrias alimentarías). Lima-Perú. UNALM.

3. **ARÓSTEGUI, v.** (1974) Estudios tecnológicos de maderas del Perú. Vol 1. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Ministerio de Agricultura UNA 1132. Proyecto 1323-02 Investigación Forestal COESU INIAA Perú.

4. **ARÓSTEGUI, v.** (1981) Propiedades tecnológicas y uso de la madera de cuarenta especies del bosque nacional Alexander Von Humbolt. Revista forestal del Perú. Volumen 10 N° 1-2 UNAL La Molina. Lima. Perú.

4. **ARÓSTEGUI, v.** (1987) Propiedades físicas y mecánicas de maderas de selva baja, informe técnico semestral periodo (enero-Junio 1987). Reimpreso en Cenfor XII-Pucallpa.Perú.

5. **ASTM.** (1981). American society for festing and materials, anual boor astm STAND standars, activated carbón. Part 22,26, Philadellehia.

6. **BARNERGEE, s.** (1976) Active carbon fron coconut Shell, Indian Journal of Technology. 14:45-49.

7. **BATISTA DE OLIVEIRA; VIVACOSA, f. GUIMARAES, m. AGUNELIO, g.** (1983) Manual de carbón vegetal. Producción de carbón vegetal. Aspectos técnicos, Pgs 38-65.

8. **BRIANE, d. ET, DOAT, j.** (1985). Guide technique de la carbonización. La fabricación de Carbón de bois. Agence francaise pour la maitrise de Lífnergie. Asociation bois de fen-centre technique forestier tropical france.

9. **BERL, E, LUNGE, g. y DANS, d.** (1948) Métodos de análisis químico industrial, tomo II, parte II. De labor S.A., Madrid, Pag. 98.

10. **BERNARDING, jr.** (1976) Selecting and spency fiying activated carbón adsorptión sistems chemical engineering. 83(22), 77-80.
11. **BRICEÑO, y.** (1970). Laboratorio de bioquímica 1. Departamento de Química Universidad Nacional Agraria la Molina.
12. **CALGÓN CORPORATION.** (1971), Dechiorinatión with filtrasurb 100 and 200, Bolletin 2ª44 a, Pittsburg.
13. **CALS, d.** (1982) Biomasa, biocombustiveis, bioenergía. Brasil-Ministerio de minas y energía. Brasil.
14. **CARBOTECNIA**. 2004. Servicios (En línea). Consultado en noviembre del 2009.
    Disponible en: http://www.carbotecnia.info/servicios.htm
15. **CARRASCO, p.** 2009. Comunicación personal, Amazon Ivory EIRL, Lima Perú (21/07/09)
16. **COTEX FRANCES.** Edición Español (1939).
17. **CUADRA, h; MIRANDA, a. y MIRANDA o.** Proyecto de instalación de una planta para la elaboración de carbón activado a partir de bagazo de caña. Tesis para optar el título de ingeniero químico, programa de ingeniería química Universidad Nacional de Trujillo.
18. **DANAE.** (1980). Diccionario Enciclopédico DANAE, tomo I. Ediciones DANAE S.A. Barcelona 1980.
19. **DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO DE QUIMÍCA Y DE PRODUCTOS QUÍMICOS.** (1963) Ediciones Barcelona. España.
20. **EARL, j.** (1975) informe sobre el carbón vegetal. FAO Roma.
21. **ENCICLOPEDIA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA,** 1973. Ed. Abril S.A. Sao Paolo.
22. **FAO,** (1983) Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio Montes. FAO Roma.
23. **FLUDGEE, f.** (1961) Carbones y destilación de la madera. Técnica química. Tomo V. Química Industrial Orgánica. De Gustavo Gil S.A. Barcelona.
24. **FORNWALT, h; HELBIG, w. y SHEFFER, g.** (1963) Activate carbons for liquid phase adsorption. Bristish Chemical Engineering. Vol 8. P 546-550.

25. **FORNWALT, h; HELBING, w. y SHEFFER, g.** (1963) Activate carbons for liquid phase adsorption. British Chemical Engineering August. Vol 8. Estados Unidos.
26. **FLUDGEE, f.** (1960) Tecnología química, carboneo y destilación de la madera. Gustavo Gili S.A. Barcelona. España.
27. **GONZALES, i.** 2004. Obtención de carbón activado a partir del endocarpo del fruto de la castaña (Berthollea excelsa H.B.K.) empleando el método químico con ZnCl2,Tesis (Ing. Forestal), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.111p.
28. **GUERRERO, m.** (1987) Obtención de carbón activado a partir de la cascara de café *(coffea arábica)* por activación química. UNMSM, Lima.
29. **HARRIS, g.** (1966) Liquid purification with granular activated carbon Chemical and process engineering.
30. **HASSIER, j.** (1974) Activated carbon. Chemical Publishing Co 1. New York.
31. **HYNDSHAW, a.** (1975) Sugar y azucar, selecting a powdered activated. Carbon
32. **ITINTEC.** (1982) Normas técnicas para carbonización N° 207.024.
33. **JAPAN EXTERNAL ORGANIZATION.** (1978) Planta de fabricación de carbón activado. Jetro noticias, Lima .8 (3).
34. **KIRK, r y OTHMER, d. (1961)** ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA. Tomo I y I° Edición UTEHA, México.
35. **KIRK, r y OTHMER, d.** (1963). Enciclopedia de tecnología química. Tomo I y II. Edición Uthea. México D.F.
36. **KOLIMAN, f.** (1960) Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Gráficas Reunidas, Madrid España.
37. **LARIOS, a.** (1974) Determinación de parámetros de adsorción y decoloración de aceites de semillas de algodón. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias UNALM La Molina. Lima-Perú.
38. **LUTTERAL, e.** (1940) Carbón activado. Volumen 265 (11-1940). Buenos Aires, Argentina.
39. **MAC GRUN, j.** (1961) Treatment of process water with granular activated carbon. Presentd al the liberty bell corrosion course, pensilvania, Setember 17.

40. **MANTELL, c.** (1951) Adsorción. Ed Mc. Graw Hill Book Company inc. New York.
41. **MATOS.** (1981) Gaseificacao de madeira e carbón vegetal 8serie de publicaciones técnicas-PSF 004).
42. **MATTSON, j. y MARK, h.** (1982) Activated carbon, surface chemistry and adsorption fron solistion. Universtity of Michigan, ann Arbor, Michigan.
43. **MC DOIKALL AND HANCOCK, r.** (1981) Gold complexes and activated carbon; Gold Bull. Vol14 (4) South Africa.
44. **MELO POBLETE, j. y BUENO ZÁRATE, j.** (1988) Obtención de carbón activado de *Eucaliptus globulus.* Revista forestal del Perú 15(2): 59 – 66.
45. **NARASINHA, r y DATAR, d.** (1964) Active carbon fron coconut Shell. Part I vapour adsorbent carbon. Indian Journal Technology Vole 2.p 399 – 401.
46. **NORMA OFICIAL MEXICANA.** (1981) NOM F-295.
47. **OLADE, CETEC.** (1983) Curso sobre carbón vegetal para Centro América Guatemala. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Volumen I. Guatemala.
48. **PANSHIN, a.** (1959) Productos Forestales. Origen, beneficio y aplicación. De. Slavat S.A. Barcelona. Madrid.
49. **PERRY, j.** (1974) Manual del ingeniero químico. Impresora y litográfica Azteca S.A. Zaragoza.
50. **PERRY, j.** (1986) Biblioteca del ingeniero químico 5ta edición, Vol. 5, sección 16.
51. **PERRY, j; CHILTON, c.** (1986) Biblioteca del Ingeniero Químico Quinta Edición Vol. IV Sección 16. México.
52. **QUINDE, a.** Fundamentos de la química de la madera. Facultad de ciencias, departamento de química. Universidad nacional Agraria. Lima 1984.
53. **QUITELLA, a.** (1977) Silvicultura Hidrólisis de madeira Usina de xilita Filandia-Seminario Floresta. Potencial energético. Brasileiro. Edicao Especial. Brasil.
54. **REINOSO, f.** 2005. Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones, Revista UNIANDES, Vol. 3, 66-69p.

55. **REMIGIO, d.** (1983) Rendimiento y calidad del carbón y análisis de líquido piroleñoso de cuatro maderas del Perú. Tesis para optar el título de ingeniero forestal, Programa de ciencias forestales, Universidad Nacional Agraria la Molina. 84 p.
56. **RIOS, j.** (1982) Prácticas de dendrología tropical UNA, La molina Departamento de manejo forestal. COTESU-INIAA. 150 P.
57. **RODRIGUEZ REINOSO, f.** (2007) Obtaining of activated carbón from seeds of eucaliptus by chemical activation with.
58. **SALVAT.** (1964) Enciclopedia de ciencia y tecnología. Tomo II. Salvat editores S.A. Barcelona.
59. **SANDAR GABOR; BADNAR JARROS y HAJAU FERENCH.** (1982) (Sepelvas-femmaer Tervezo Kut. Intez 1751; Budaest-hungary), CA97,203572.
60. **SANTANA, j y VIEGAS, a.** (1974) Carvao activo de pinus elliotti primeros experimentos. Instituto de pesquisas tecnológicas. Publicación N° 1030, Sao Polo. 12 p.
61. **SCHAZ, j. Y PARRY, r.** (1962) The activited carbón industry. Industrial ano engineering. U.S.A. 54(12).
62. **SMISEK, m. Y CERNYS, s.** (1970) Active carbón: Manufacture, proporties and applications, american. Elsevier publishing company, Ney York.
63. **TREYBAL, r.** (1980) Operaciones de transferencia de masas. Edit. Hispano – americana, Buenos Aires. Pag. 85.
64. **VIAN, a.** (1979) Elementos de ingeniería química Edit. Aguilar. Madrid. Pag. 18.
65. **VOGT, f.** (1972) Fabricación de vinos. De Acriba, Zaragoza, España.
66. **WEBERG, w.** (1979) Control de calidad de agua, procesos físicos-químicos. Editorial Reverte S.A. España. :p. 251-254.
67. **ZAPATA, m.** (1986) Manual práctico de bebidas para la industria de refrescos. De arveja. México D.F. Pag. 8.

ANEXOS

ANEXO I

1. **Composición química del aserrín de *Copaifera reticulata*.**

   En el ***Cuadro 45*** presenta la composición química del aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba) expresados en porcentaje.

Cuadro 45: COMPOSICION QUIMICA DEL ASERRIN DE *Copaifera reticulata*

Parámetros	Unid.	Valor
Contenido de Humedad	%	**12.14**
Material volátil	%	**14.45**
Cenizas	%	**0.96**
Carbono fijo	%	**72.45**
pH	–	**5.72**

Cuadro 46: ANALISIS DE GASES

Gases	Temperatura bajo 800°C (Carbonización)	Temperatura sobre 800°C (Activación)
CO_2	25.21	16.9 – 16.32
C_nH_m	3.81	0.97 – 0.39
O_2	Nulo	0.72 – 0.66
CO	28.35	17.65 – 18.42
H_2	14.11	52.85 – 52.67
N_2		
(Por diferencia)	22.20	26.32 – 23.24
(Kcal/m^3).		

ANEXO II

Cuadro N° 47 GENEROS DE CARBON ACTIVADO

Genero de carbón	pH	Contenido máximo de cenizas(%)	Tratamiento
Básico	7.6 – 13.0	7	
Neutro	6.9 – 7.6	7	Neutralizado con anhídrido sulfúrico
Acido	3.0 – 6.9	2	Ennoblecido con ácido clorhídrico
Acido	3.0 – 6.9	2	Ennoblecido con ácido nítrico
Ácido	3.0 – 6.9	2	Ennoblecido con ácido sulfúrico

Fuente: Lutteral(1940).

ANEXO III

Cuadro 48 NOMBRES COMERCIALES DEL CARBON ACTIVADO

Nombre comercial	Procedencia	Material de origen	Activación
Carborafflin	Alemana	Madera	Cloruro de zinc
Darco S-51	Americana	Lignito	Vapor
Epoint	Alemania	Madera	Vapor
Maximin	Belga	Carbohidrato	Ácido y sales
Noir diamant	Francesa	Aserrín	Ácido fosfórico
Norit	Americana	Madera de pino	Vapor
Nuchar	Americana	Restos de licor de pulpa de madera	Vapor
Suchar	Inglesa		

Fuente: Martell(1951).

ANEXO IV

Cuadro 49 METODOS DE ACTIVACION PARA DIFERENTES MATERIAS

Materia prima	**Método**	
	Activación física química	Activación química
Carbón de caña	X	X
Aserrín de madera		X
Viruta, residuo de extracción de resinas		X
Viruta, residuo de extracción de curtiembres		X
Cascara de coco	X	X
Semillas de frutas		X
Cascara de arroz		X
Bagazo		X
Turba		X
Semicoque de turba		X
Xilenios		X
Semicoque de xilenios	X	X
Semicoque de carbón negro	X	
Semicoque de hulla		
Huesos		

ANEXO V

DETERMINACION DE CENIZAS

NORMA ITINTEC 207.26-81

Procedimiento

Se tara el crisol después de ponerlo en mufla a la temperatura de trabajo hasta peso constante.

Se pesa aproximadamente en la cápsula 10 g. de muestra, se seca durante 3 horas 110°C +20°C, luego se enfría en el desecador.

Se pesa en el crisol 1.00 g + 0.2 g de carbón seco.

Se coloca el crisol en la mufla a la temperatura de 650°C + 50°C hasta que se incinere el carbón y se coloca en el desecador.

Pesar a la temperatura ambiente hasta peso constante.

ANEXO VI

En la figura 5 se observa un diagrama de la obtención de carbón activado realizada en el presente estudio de investigación.

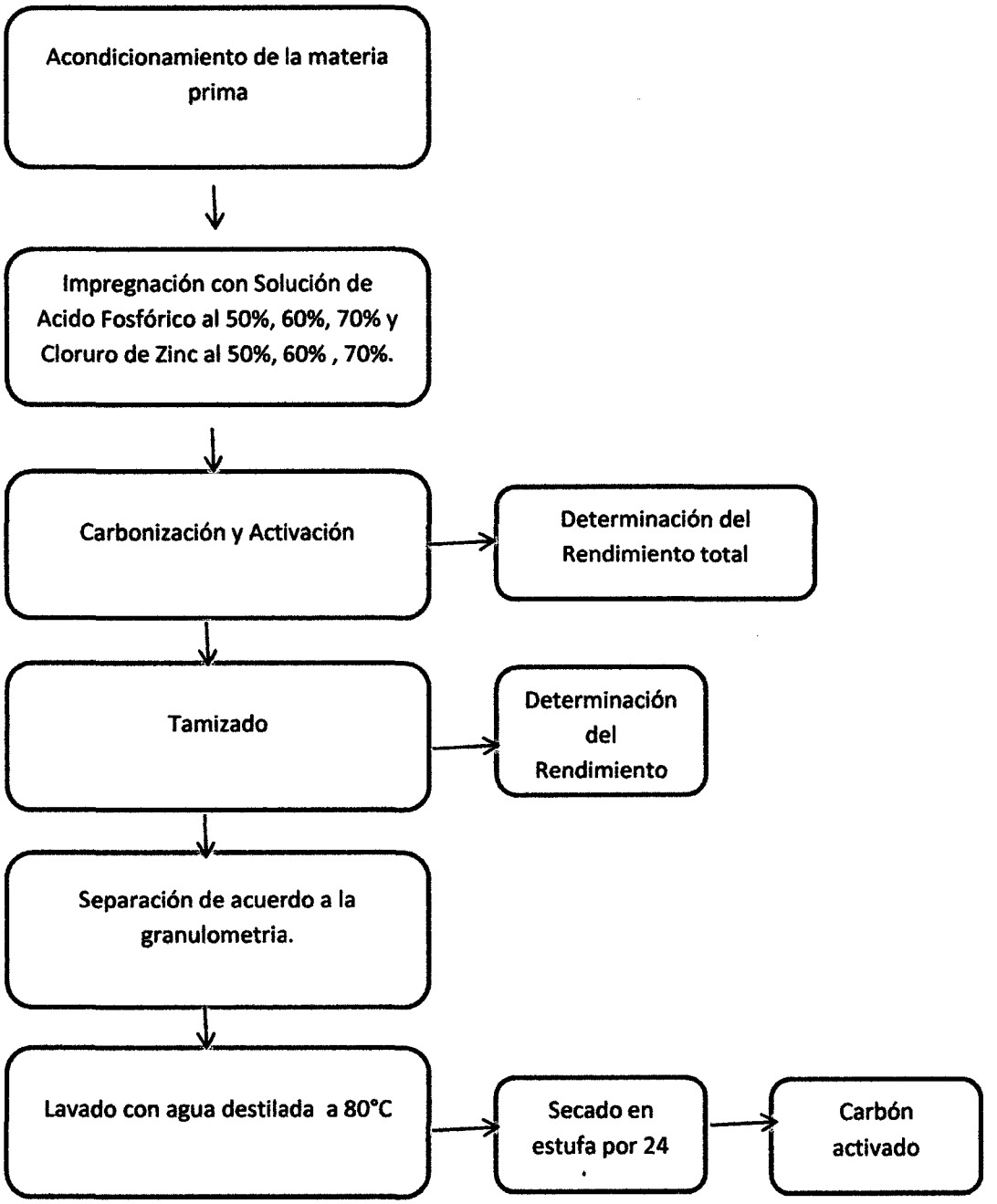
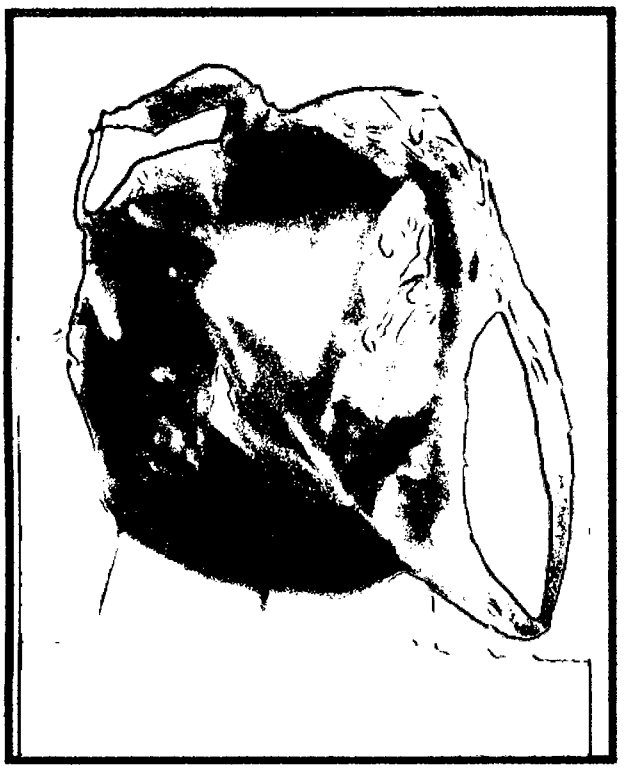


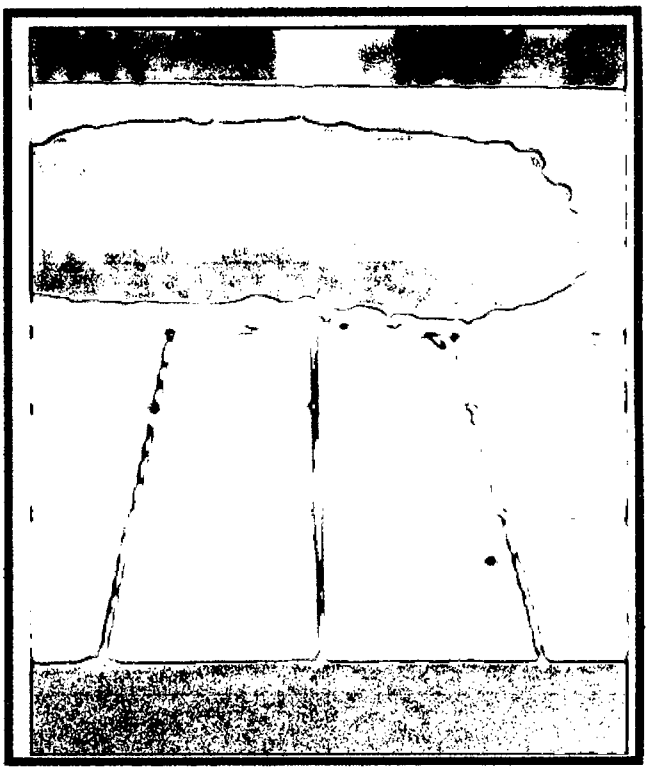
Figura 5 : Diagrama de la Metodología aplicada en la obtención de carbón activado y sus ensayos.

PANEL FOTOGRAFICO

PANEL FOTOGRAFICO



EN LA VISTA SE OBSERVA LA MATERIA PRIMA



SE OBSERVA LA MATERIA PRIMA EXTENDIDO



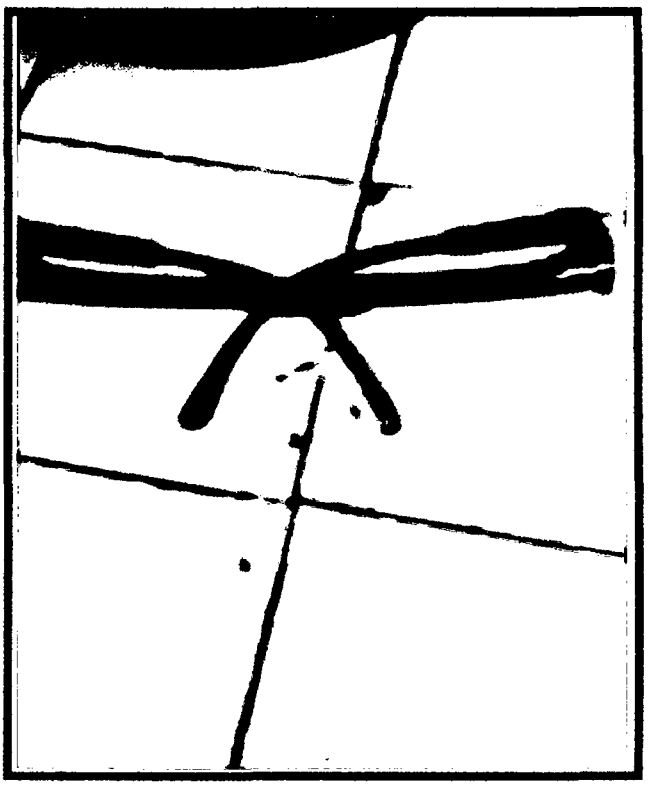
TAMIZANDO CON LA MALLA N° 60



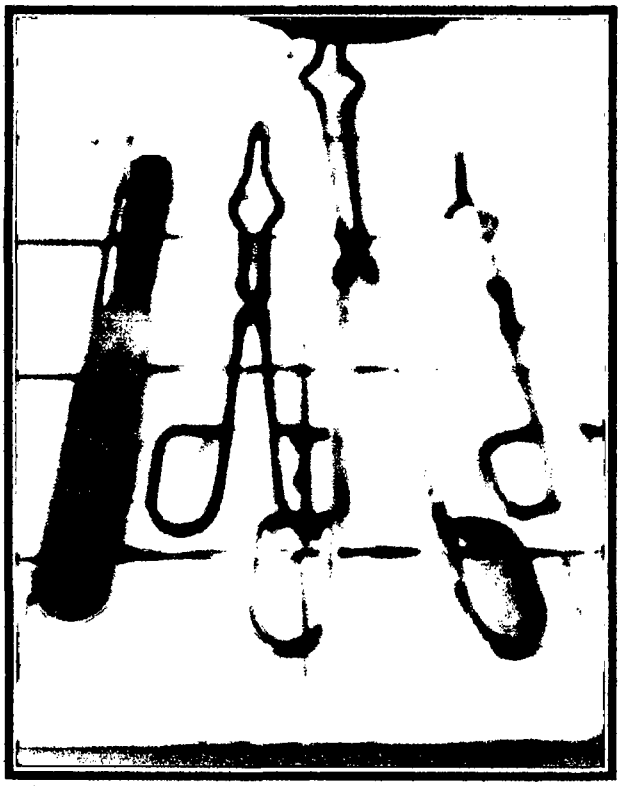
EQUIPO DE PROTECCION PARA GASES VOLATIL



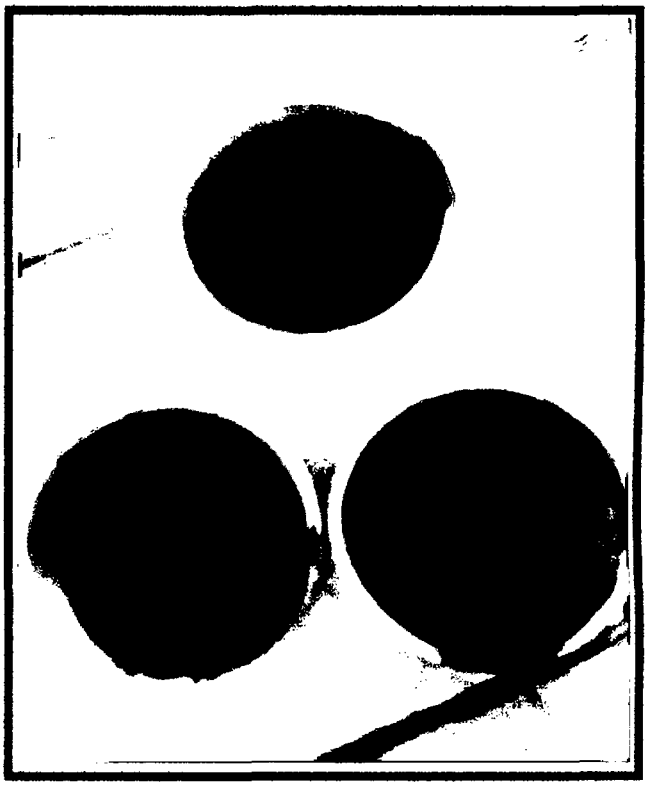
GUANTES DE PROTECCION



LENTES DE PROTECCION



ESPATULAS Y TIJERAS



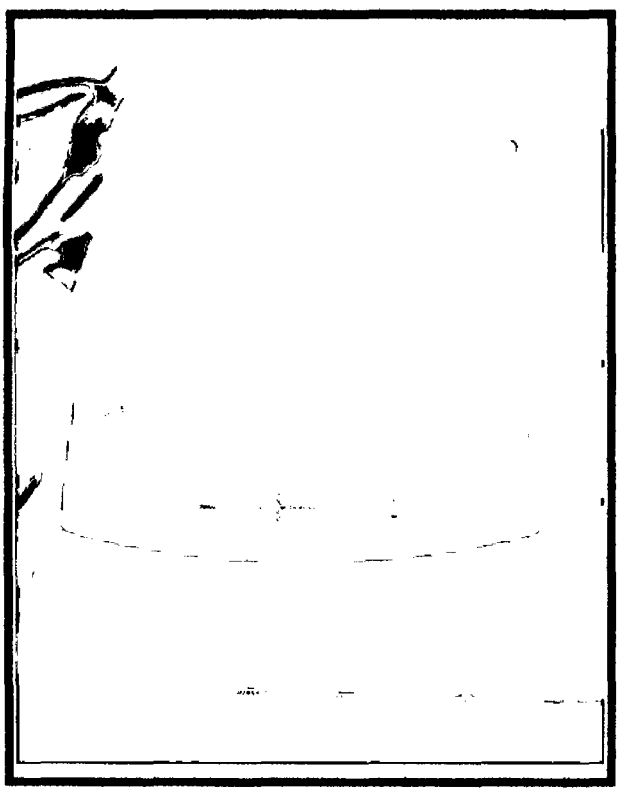
CARBON ACTIVADO



CENIZAS



ESTERILIZANDO PARA TOMAR CONTROL DE HUMEDAD



BALANZA ANALITICA



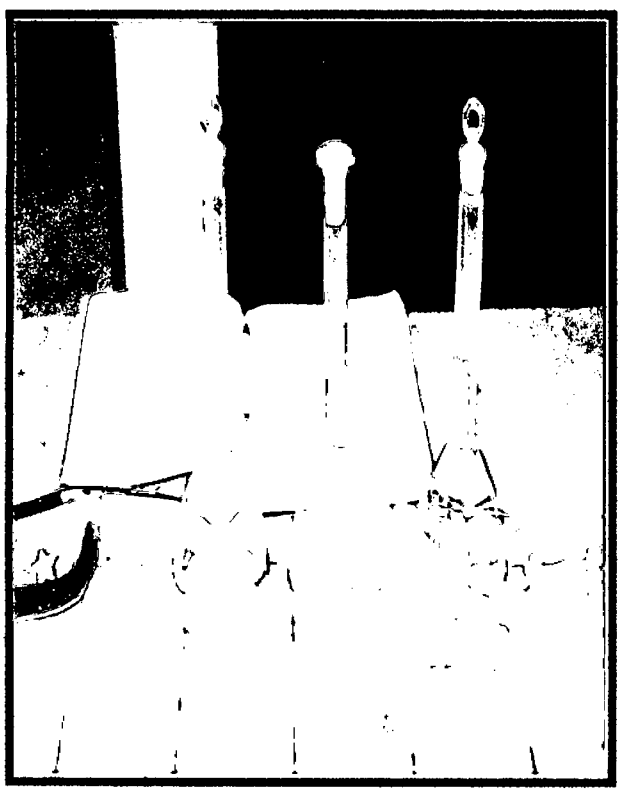
EQUIPO DE CARBONIZACION



TESISTA Y ASESOR EN FILTRADO DEL CLORURO DE ZINC



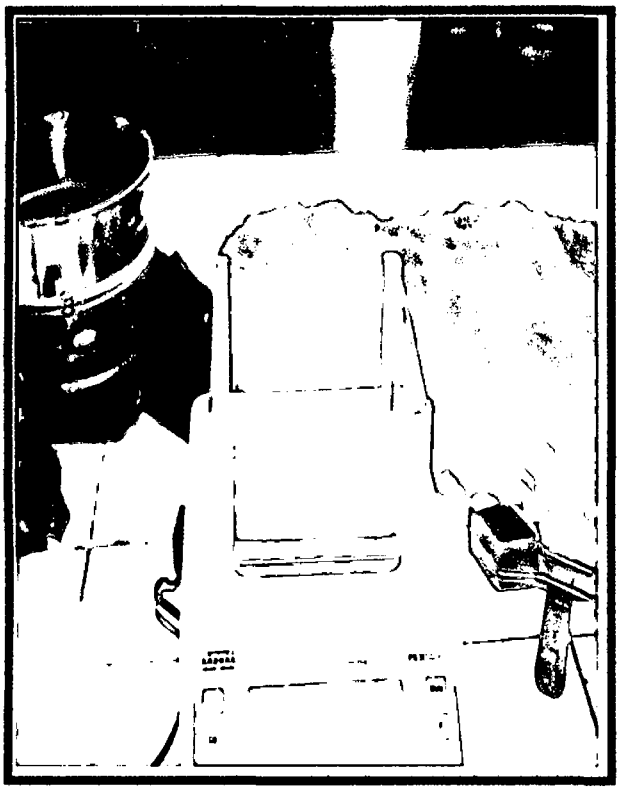
FILTRADO DE CLORURO DE ZINC



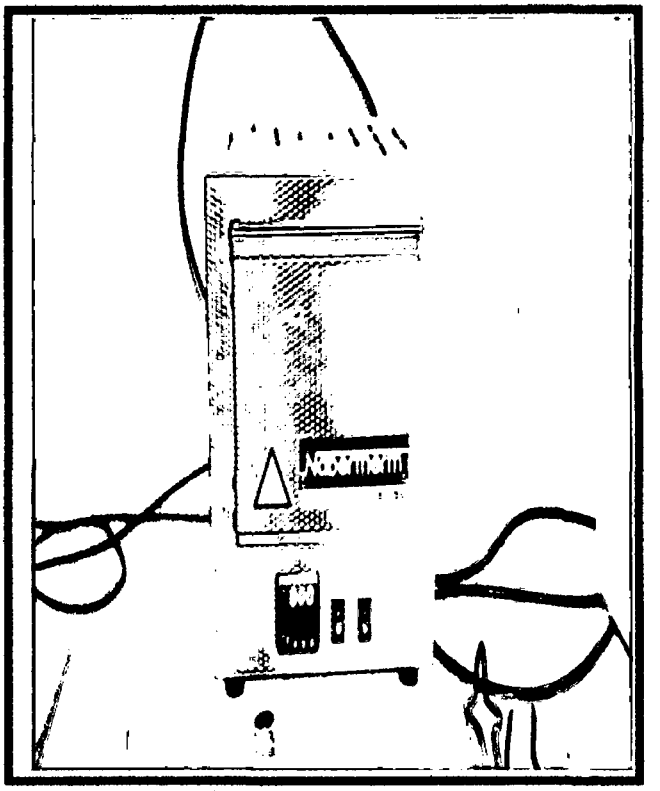
MUESTRA DEL ACIDO FOSFORICO 85 %



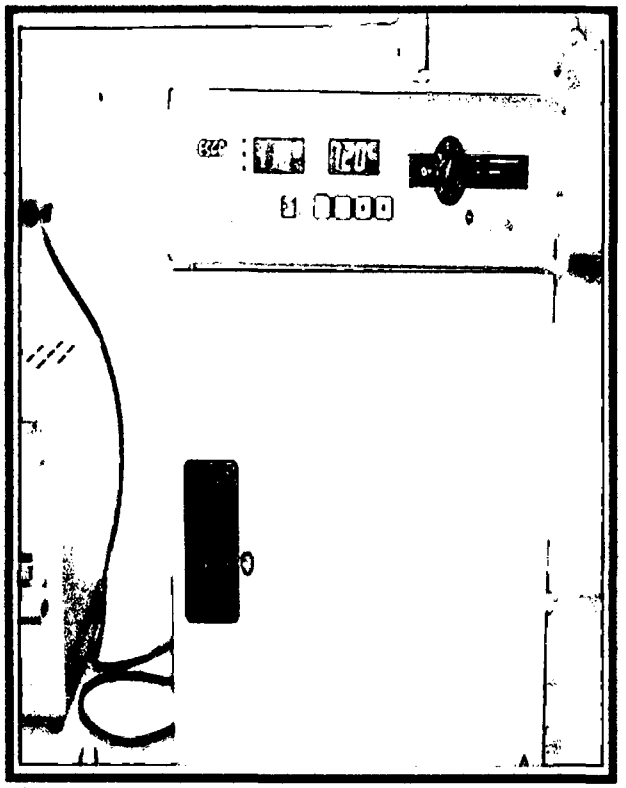
EQUIPO DE FILTRADO



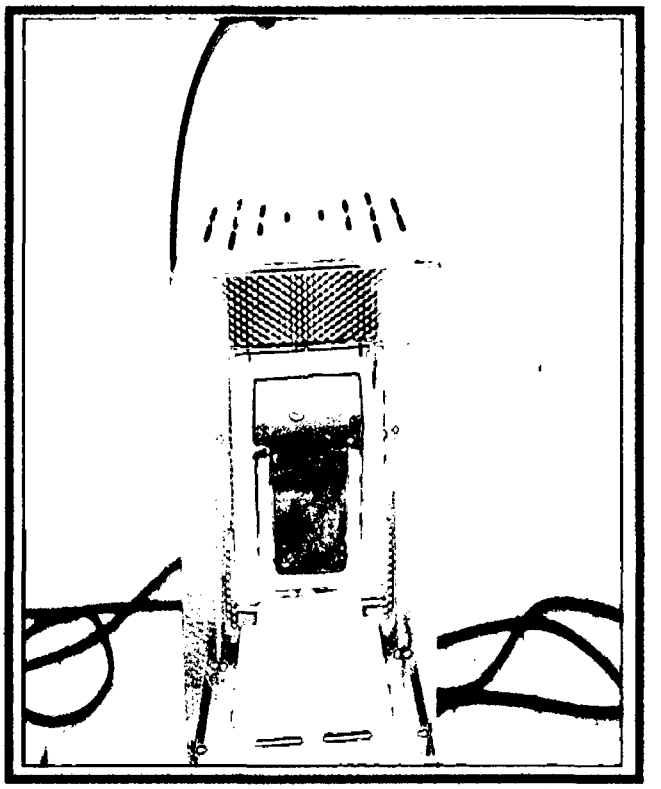
BALANZA ANALITICA TAMIZ Y MATERIA PRIMA



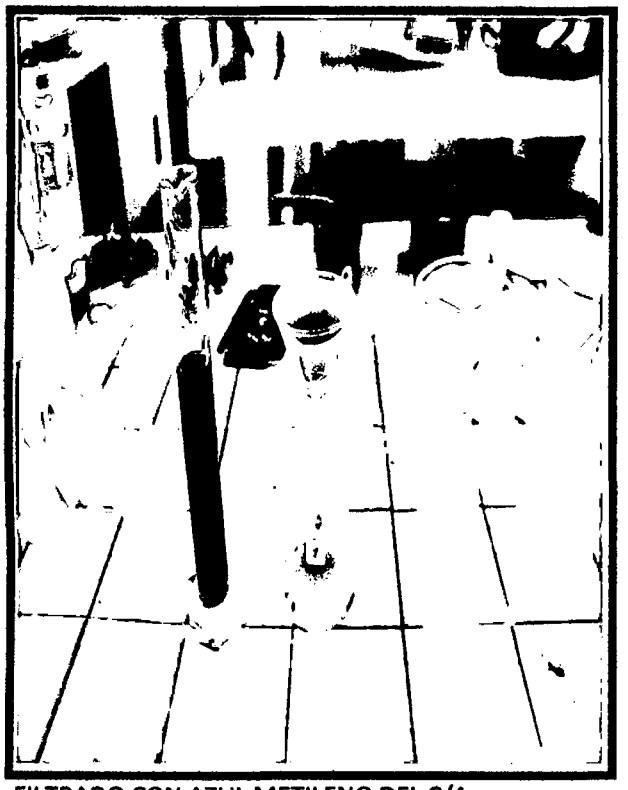
EQUIPO DE CARBONIZACION



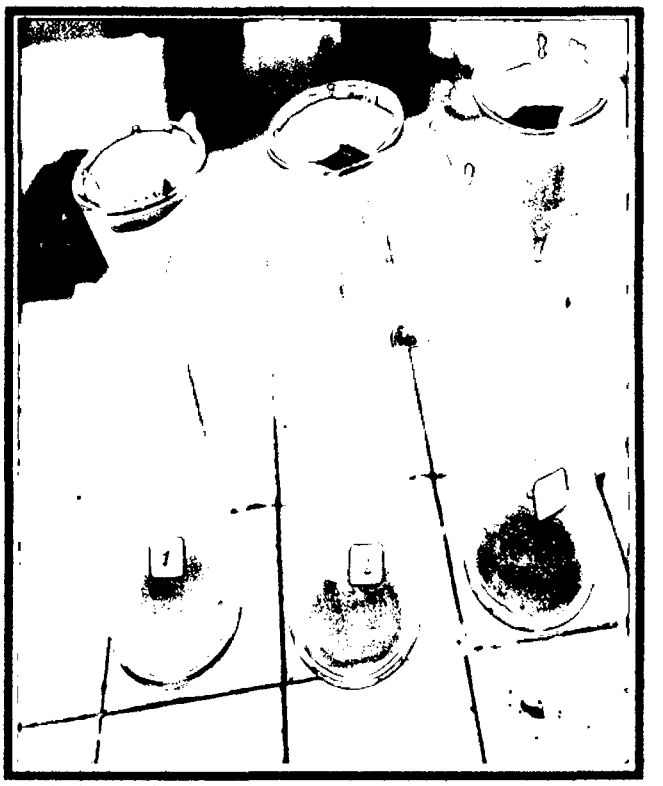
EQUIPO DE CARBONIZACION



EQUIPO DE ACTIVACION DE CARBON ACTIVADO



FILTRADO CON AZUL METILENO DEL C/A



FILTRADO CON PAPEL TORNASOL AZUL METIL



PREPARACION DEL AZUL DE METIL



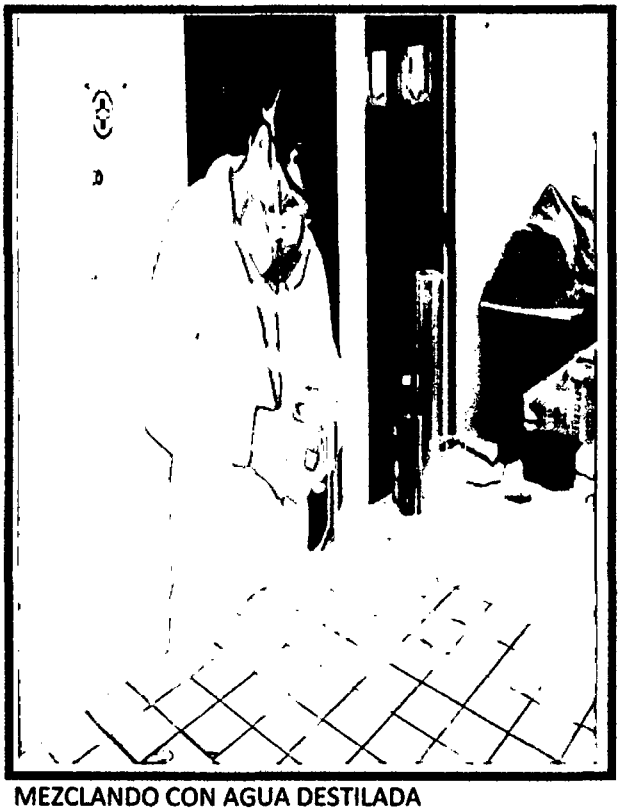
PREPARACION DE SOLUCION PARA EL LAVADO DEL ACIDO FOSFORICO Y CLORURO DE ZINC



PREPARANDO SOLUCION DE HCL



PREPQARANDO SOLUCION HCL



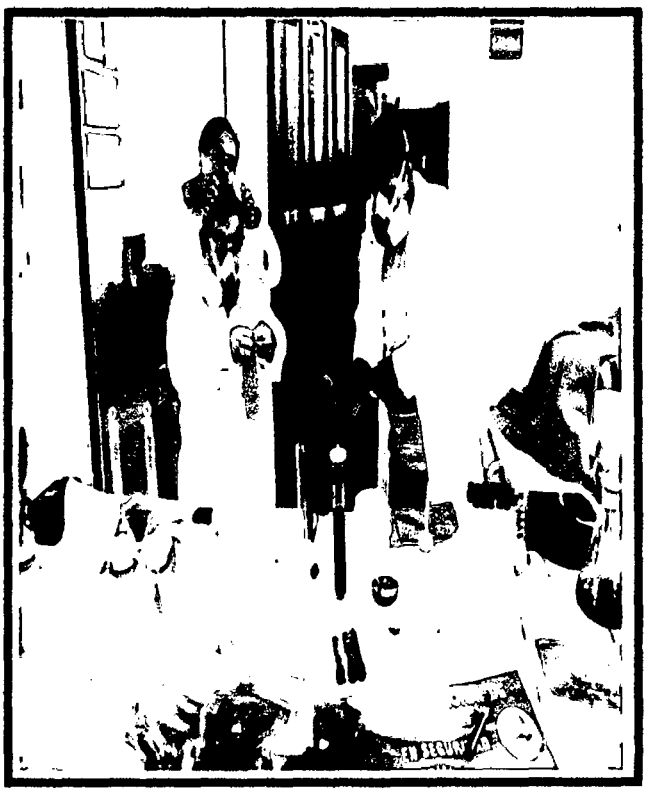
MEZCLANDO CON AGUA DESTILADA



MEZCLA DE LA SOLUCION CON AGUA DESTILADA



LAVANDO EL CARBON ACTIVADO



PREPARANDO AZUL METIL PARA REACCIONAR CON EL CARBON ACTIVADO



CARBON ACTIVADO TAMIZADO Y GRANULAR



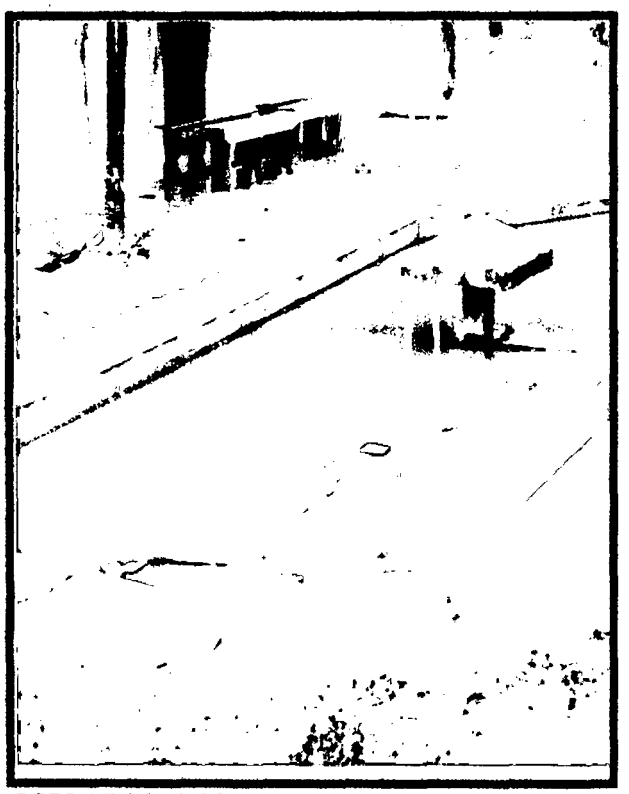
PREPARANDO SOLUCION PARA CARBONIZAR



ASESOR Y TESISTA ANALIZANDO RESULTADOS



ASESOR Y TESISTA PREPARANDO SOLUCION



POZO DE AGUA CONTAMINADO



RESULTADO CON EL CARBON ACTIVADO SE VOLVIO POTABLE CON EL CLORURO DE ZINC