

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CARBON

ACTIVADO DE ASERRIN DE *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

DE DOS ACTIVADORES QUÍMICOS CON TRES

TEMPERATURAS Y TRES CONCENTRACIONES.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

ROGELIO VICENTE, ANDOA SHAPIAMA

Pucallpa – Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N°475/2024-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 11:00 a.m. del día jueves 31 de octubre del 2024, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el laboratorio de tecnología de la madera de las Facultad de Ciencias Forestales Y Ambientales, que fueron designados con memo multiple 058-2024-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez	Presidente
Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido	Miembro
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis titulada: **"INFLUENCIA EN EL REMDIMIENTO Y CALIDAD DEL CARBON ACTIVADO DE ASERRIN DE Simarouba amara Aubl. (marupa)" DE DOS ACTIVADORES QUÍMICOS CON TRES TEMPERATURAS Y TRES CONCENTRACIONES**", presentado por el bachiller **ANDOA SHAPIAMA ROGELIO VICENTE**, asesorado por la Dra. MARIA ANGELIA FLORES ROMAYNA.

Finalizada la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD**, recomendándose su publicación, previo levantamiento de observaciones, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, siendo las 12 :05 p.m. horas del mismo día se da por culminado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.



Dr. Rubén Manturano Pérez
Presidente



Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido
Miembro



Dra. Julissa Katy Bautista Valencia
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Rubén Manturano Pérez



Presidente

Dra. Julissa Katy Bautista Valencia



Miembro

Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido



Miembro

Dra. María Angélica Flores Romaina



Asesor

Bach. Rogelio Vicente, Andoa Shapiama



Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/0605-2024.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO DE ASERRÍN DE Simarouba amara Aubl. (marupa) DE DOS ACTIVADORES QUÍMICOS CON TRES TEMPERATURAS Y TRES CONCENTRACIONES "

Autor(es)	:	ANDOA SHAPIAMA, ROGELIO VICENTE
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela	:	ING. FORESTAL
Asesor(a)	:	Dra. FLORES ROMAYNA, MARÍA ANGÉLICA

Presenta un porcentaje de similitud de 8%, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO.

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: **SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud**, procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 28/10/2024



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, ROGELIO VICENTE ANDOA SHAPIAMA

Autor de la tesis titulada: INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO DE ASERRIN DE SIMARUBA AMARA AWOI (marupa) DE DOS ACTIVADORES QUÍMICOS CON TRES TEMPERATURAS Y TRES CONCENTRACIONES.

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Dr. MARIA ANGELICA FLORES ROMAYNA

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL

☐

TOTAL

☒

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 06/11/2024

Email: rogeliox2018@gmail.com Firma: AndoaSH

Teléfono: 979901638 DNI: 46056676

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado el privilegio de conocerlo, a nuestro Señor Jesucristo a quien va toda la gloria y honra.

A mi padre Vicente Andoa Sajami y mi madre María Shapiama Apagueño por apoyarme en el transcurso de mi vida y mi carrera.

A mi esposa e hijas quienes me motivan a seguir adelante y cumplir mis metas, por estar siempre apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, a través de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales por haberme formado moral, académica y profesionalmente, en el cual eh sido formado a través de sus excelentes docentes.

A mi asesor la Dra. María Angélica Flores Romaina por compartir sus conocimientos, por su apoyo incondicional, por sus observaciones, su amistad, la paciencia y la confianza depositada en mi persona para realizar el presente trabajo de investigación.

A todas las demás personas que de una u otra forma han contribuido en la culminación de este trabajo

INDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. descripción del problema.....	1
1.2. formulación del problema.....	3
1.2.1. problema general.....	3
1.2.2 problema específico.....	3
1.3 objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 objetivo general.....	3
1.3.2 objetivos específicos.....	4
1.4 justificación.....	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Clasificación sistemática y descripción botánica de la especie.....	8
2.2.1. Distribución geográfica.....	9

2.2.2. Características organolépticas de la madera	10
2.2.3. Características anatómicas.....	10
2.3. Planteamiento teórico del problema.....	11
2.3.1. Carbón activado.....	11
2.3.2. Propiedades.....	12
2.3.3. Adsorción.....	13
2.3.4. Tipos de adsorción.....	14
2.3.5. Métodos de obtención.....	14
2.3.6. Tipos de poros en el carbón activado.....	16
2.3.7. Clasificación del carbón activado.....	16
2.3.8. Aplicación del carbón activado.....	17
2.3.9. Importancia de la textura porosa de los carbones activos.....	18
2.3.10. Definición de términos básicos.....	18
CAPITULO III: METODOLOGIA.....	21
3.1. Método de investigación.....	21
3.2. Población y muestra.....	21
3.2.1 poblacion.....	21

3.2.2 muestra.....	20
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	20
3.3.1. Acondicionamiento de las materias primas y contenido de humedad.....	21
3.3.2. Impregnación química con H_3PO_4 (ácido fosfórico) y $ZnCl_2$ (cloruro de zinc).....	21
3.3.3 Activación mediante carbonización.....	22
3.3.4 Determinación de rendimiento en carbón.....	22
3.3.5 Evaluación del carbón activado elaborado.....	22
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.4.1 Técnicas.....	24
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5 Tratamientos de datos.....	25
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Análisis preliminar del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	28
4.2. Rendimiento del carbón activado con Ácido fosfórico (H_3PO_4) y Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	29
4.3. Porosidad del carbón activado con Ácido fosfórico (H_3PO_4) y Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	34
4.4. Adsorción del carbón activado al azul de metilo con Ácido fosfórico (H_3PO_4) y Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de	

Simarouba amara Aubl. (marupa).....	39
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
5.1. CONCLUSIONES.....	47
5.2. RECOMENDACIONES.....	48
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49
VII. ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali.....	13
Tabla 2. Coordenadas UTM árboles de Simarouba amara Aubl.....	21
Tabla 3. Análisis estadísticos de las variables a analizar.....	26
Tabla 4. Tratamientos del carbón activado	27
Tabla 5. Análisis preliminar de la composición química del carbón vegetal a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	28
Tabla 6. Promedio del rendimiento del carbón activado según los tratamientos establecidos	31
Tabla 7. Prueba de dos medias de muestras independientes en el rendimiento de los activadores.....	31
Tabla 8. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en el rendimiento en función a la temperatura.....	32
Tabla 9. Prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la temperatura.....	33
Tabla 10. Resumen de la prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la temperatura.....	33
Tabla 11. Promedio de la porosidad del carbón activado según los tratamientos establecidos.....	35
Tabla 12. Análisis de varianza de la porosidad del carbón activado por tratamientos.....	36

Tabla 13. Prueba de dos medias con muestras independientes en la porosidad del carbón activado por tratamientos.....	37
Tabla 14. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) de la porosidad en función a la temperatura.....	38
Tabla 15. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) de la porosidad en función a la concentración.....	38
Tabla 16. Prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la concentración de los activadores.....	39
Tabla 17. Resumen de la prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la concentración.....	39
Tabla 18. Promedio de adsorción del carbón activado según los tratamientos establecidos.....	40
Tabla 19. Prueba de dos medias de muestras independientes de la adsorción de azul de metilo, en función a los dos activadores.....	42
Tabla 20. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de temperatura.....	43
Tabla 21. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.....	43
Tabla 22. Prueba de análisis de comparación de múltiple de medias de tuckey en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.....	44
Tabla 23. Resumen de comparación de múltiple de medias de tuckey en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.....	45.

Tabla 24 Tratamientos con H_3PO_4 para el rendimiento y porosidad del carbón activado.....	55
Tabla 25 Tratamientos con ZnCl_2 para el rendimiento y porosidad del carbón activado.....--.....	55
Tabla 26 Tratamientos con H_3PO_4 para la adsorción del carbón activado al azul de metilo.....	56
Tabla 27 Tratamientos con ZnCl_2 para la adsorción del carbón activado al azul de metilo.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Promedio de la composición química del carbón vegetal a partir del aserrín de <i>Simarouba amara</i> Aubl. (marupa).....	28
Figura 2. Promedio del rendimiento del carbón activado con Ácido fosfórico(H_3PO_4) según los tratamientos establecidos.....	30
Figura 3. Promedio de la porosidad del carbón activado según los tratamientos establecidos.....	35
Figura 4. . Promedio de adsorción del carbón activado según los tratamientos establecidos.....	41
Figura 5. Carbonización del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	57
Figura 6. Determinación del rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	57
Figura 7. Determinación de la masa del carbón activado a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa).....	58
Figura 8. Carbón activado con Ácido fosfórico (H_3PO_4) a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl (marupa).....	58
Figura 9. Carbón activado con Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl (marupa).....	59

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo general: Determinar la influencia de los activadores, diferentes temperaturas de activación y distintas concentraciones en el rendimiento y calidad del carbón activado a partir del aserrín de ***Simarouba amara*** Aubl (marupa); y como objetivos específicos: Determinar el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido a diferentes temperaturas de activación; evaluar el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido mediante activadores; y determinar el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido a distintas concentraciones. El método fue correlacional: ya que se determinó el grado de relación entre dos o más variables de interés. El mayor rendimiento del carbón activado fue con Ácido Fosfórico en el tratamiento 9 (H_3PO_4) (50%) (1000 °C) con 45,143%; la mayor porosidad en el tratamiento 1 (H_3PO_4) (30%) (800 °C) con 57,39%; y la mayor adsorción en el tratamiento 9 (H_3PO_4) (50%) (1000 °C). Por lo tanto, Realizar investigaciones similares para la utilización del aserrín como precursor del carbón activado para que de esta manera se pueda lograr una comparación entre las calidades de carbón activado evaluado por especie.

Palabras claves: Adsorción, calidad, Carbón activado, métodos, rendimiento, temperaturas.

ABSTRACT

The general objective of the research was: Determine the influence of activators, different activation temperatures and different concentrations on the performance and quality of activated carbon from *Simarouba amara* Aubl (marupa) sawdust; and as specific objectives: Determine the performance and quality of the activated carbon obtained at different activation temperatures; evaluate the performance and quality of activated carbon obtained using activators; and determine the performance and quality of the activated carbon obtained at different concentrations. The method was correlational: since the degree of relationship between two or more variables of interest is calculated. The highest yield of activated carbon was with Phosphoric Acid in treatment 9 (H_3PO_4) (50%) (1000 °C) with 45.143%; the highest porosity in treatment 1 (H_3PO_4) (30%) (800 °C) with 57.39%; and the highest adsorption in treatment 9 (H_3PO_4) (50%) (1000 °C). Therefore, carry out similar investigations for the use of sawdust as a precursor of activated carbon so that in this way a comparison can be achieved between the qualities of activated carbon evaluated by species.

Keywords: Adsorption, quality, Activated carbon, methods, performance, temperatures.

INTRODUCCIÓN

Simarouba amara Aubl. es una especie forestal abundante y frecuente en los bosques secundarios y primarios remanentes. Como en la mayoría de especies maderables hay escasa información sobre los componentes químicos tanto en la madera como en la corteza y hay dificultades para precisar usos en la industria de transformación química, aparte de pulpa y papel a partir de la celulosa, lignina residual en combustible, abonos, plásticos, aromatizantes; hemicelulosa en pulpas para papel, extractivos en fitoactivos, taninos, entre otros.

Herrera (2004) asevera que, la demanda internacional de carbón activado es creciente siendo la madera el principal precursor utilizado para su producción. Ésta es una oportunidad para el aprovechamiento de los recursos forestales en Perú, que han sido utilizados en forma desintegrada, aprovechándose para elementos estructurales en la construcción, construcción de muebles y plantas de pulpa sin contemplar una utilización adecuada de los productos secundarios que fundamentalmente se han destinado a la producción de carbón de leña.

Ambientalmente, minimizar el impacto generado por los desperdicios en los aserraderos y de esta manera se contribuye a la utilización del producto de transformación primaria de la madera particularmente del aserrín.

A nivel económico, se propicia el mejoramiento de la rentabilidad de la transformación química de la madera a través de la utilización de productos de desecho generados en la transformación de la madera dando un valor agregado.

En lo social, mejoramiento de las condiciones de vida de la población urbana y rural dedicada al sector industrial forestal; que a su vez será propiciado por el aumento de la demanda de la mano de obra calificada y no calificada, de esta manera generar puestos de trabajo directos e indirectos.

Técnicamente, se genera información tecnológica aplicable a la industria maderera; especialmente para la industria de la transformación química, generalmente responsables del mayor valor agregado de la producción y a menudo a cargo de microempresas y empresas unipersonales.

La estructura de la tesis se compone de cinco capítulos. El primero aborda detalladamente el problema de investigación, mientras que el segundo establece el marco teórico vinculado al problema. El tercer capítulo describe de manera precisa el método y el diseño metodológico utilizados. En el cuarto capítulo se exponen los resultados obtenidos, acompañados de su correspondiente discusión. Por último, el quinto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación realizada.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 descripción del problema.

En la Región de Ucayali, disponemos de una amplia variedad de productos naturales que, lamentablemente, suelen ser considerados como desechos. Sin embargo, si les damos el uso adecuado, podrían convertirse en una valiosa fuente de materia prima para la fabricación de diversos productos. En este contexto, se ha investigado y probado la viabilidad de utilizar tecnología para la producción de carbón activado a partir de residuos de materias primas, como es el caso del aserrín.

La utilización de residuos maderables industriales como el aserrín es una fuente potencial de materia prima en el cual los desechos de una producción constituyen insumos para otras líneas de producción, es así como por razones económicas como ambientales, es altamente ventajoso que la industria maderera ofrezca atención considerable al desarrollo y fomento del uso de los residuos de los aserraderos (Barros, 2006).

Mediante el tratamiento químico, sea con cloruro de zinc, ácido fosfórico u otros reactivos químicos, la materia prima se transforma en carbón, pero adquiriendo propiedades con una gran actividad y poder adsorción. El proceso de activación química es aplicado directamente a la materia prima, a diferencia de la activación física donde tiene que haber una carbonización previa a la activación.

Para determinar si un carbón activado es buen adsorbente, se suele medir la capacidad de retener sustancias como colorantes en su superficie, la principal

sustancia utilizada para esto es el azul de metileno o el yodo, basándose en estos se puede determinar la superficie de contacto del carbón y por tanto la capacidad de adsorción de este.

Los carbones activados químicamente tienen un área superficial considerablemente mayor a la del carbón activado por vapor, ya que el proceso de activación química es aplicado directamente a la materia prima en cambio para la activación física tiene que haber una carbonización previa a la carbonización; otra ventaja es que se puede recuperar gran parte del agente activante, llevando esto a una disminución en los costos por insumos; costo de maquinaria son menores (Morelli, M, 2000).

Las políticas ambientales de las últimas décadas se orientaron a la reducción de la generación de residuos y a su tratamiento. En la actualidad una de las tácticas empleadas es la valorización de los residuos, alineándose de este modo con los principios de la Química Verde que promueven la utilización de materias primas renovables procedentes de residuos agrícolas, forestales o agroindustriales mediante procesos de obtención de productos de valor agregado o su valorización desde el punto de vista energético (Doria & Miranda, 2013). Los biopolímeros de mayor concentración en los vegetales, y por supuesto en sus residuos, son la lignina, la celulosa y la hemicelulosa ya que forman parte de sus paredes celulares y de redes de lignina-hidratos de carbono. Generalmente en la madera los valores detectados para estos parámetros se encuentran en los rangos de celulosa: 38%-50 %; hemicelulosa: 23%-32 % y lignina: 15%-25 % (Hubbard et al., 2017).

La producción de carbón activado se encuentra liderado por los países desarrollados tales como: Alemania, Holanda, Reino Unido, China, Estados Unidos y Japón (Correa & Velásquez, 2009). Hoy en día el carbón activado es muy utilizado en varias áreas de trabajo entre ellas se encuentra la purificación de agua potable tratamiento de aguas residuales, clarificación en la industria alimenticia y en la industria farmacéutica (Donau, 2021).,

1.2 formulación del problema

1.2.1 Problema general:

- ¿De qué manera influencia en el rendimiento y calidad del carbón activado de aserrín de *simarouba amara* aubl (marupa)" de dos activadores químicos con tres temperaturas y tres concentraciones??

1.2.2 Problemas específicos:

- ¿Cuál será el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido a diferentes temperaturas de activación?
- ¿Cuál será el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido mediante métodos químicos?
- ¿Cuál será el rendimiento y calidad del carbón activado obtenido a distintas concentraciones?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia del rendimiento y calidad del carbón activado de aserrín de *simarouba amara* aubl. (marupa)" de dos activadores químicos con tres temperaturas y tres concentraciones.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comprobar la eficiencia de los métodos químicos en el carbón activado a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl (marupá).
- Determinar la influencia de las diferentes temperaturas en la eficiencia del carbón activado a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl (marupá)
 - Determinar la influencia de las diferentes concentraciones de cloruro de zinc y ácido fosfórico en la eficiencia del carbón activado a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl (marupá).

1.4. Justificación

Simarouba amara Aubl. es una especie forestal de escasa información sobre sus componentes químicos tanto en la madera como en la corteza y hay dificultades para precisar los usos en la industria de transformación química, aparte de pulpa y papel a partir de la celulosa, lignina residual en combustible, abonos, plásticos, aromatizantes; hemicelulosa en pulpas para papel, extractivos en fitoactivos, taninos, entre otros. Herrera (2004) asevera que, la demanda internacional de carbón activado es creciente siendo la madera el principal precursor utilizado para su producción. Ésta es una oportunidad para el aprovechamiento de los recursos forestales de productos secundarios que fundamentalmente se han destinado a la producción de carbón de leña. Ambientalmente, minimizar el impacto generado por los desperdicios en los aserraderos y de esta manera contribuir a la utilización del producto de transformación primaria de la madera particularmente del aserrín.

A nivel económico, se propicia el mejoramiento de la rentabilidad de la transformación química de la madera a través de la utilización de productos de desecho generados en la transformación de la madera dando un valor agregado.

En lo social, mejoramiento de las condiciones de vida de la población urbana y rural dedicada al sector industrial forestal; que a su vez será propiciado por el aumento de la demanda de la mano de obra calificada y no calificada, de esta manera generar puestos de trabajo directos e indirectos. Técnicamente, se genera información tecnológica aplicable a la industria maderera.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

Asimbaya, Rosas, Endara, & Guerrero, (2015) En la investigación titulada: “Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto” fue obtenido carbón activado mediante activación química (ácido fosfórico (H_3PO_4) al 85%) a partir de aserrín de canelo, laurel y eucalipto. El rendimiento alcanzado para estos materiales fue entre 20% –30%. A nivel industrial el rendimiento de carbón activado depende del tipo de madera y generalmente no supera el 50%.

Cárdenas (2015) en su investigación titulada: “Evaluación del Carbón Activado Por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba) encontró el rendimiento del carbón activado con cloruro de zinc (70% de concentración) que fue de 61,29% a 800°C de temperatura de activación; mientras para el carbón activado con ácido fosfórico (50% de concentración) fue de 45,97% a 800°C de temperatura de activación.

Herrera, Morales, & Pérez (2014) aseveran que el comportamiento mostrado por el método de activación química con impregnación previa de las maderas con ácido fosfórico durante 48 horas presentó un excelente rendimiento que estuvo por encima del 90% y con índices de yodo de nivel comercial, en las especies forestales *pino pátula* (*Pinus patula*) y chingalé (*Jacaranda copaia*), a temperaturas de activación bajas. El carbón activado es un material de origen

biológico de amplia estructura porosa, con grandes propiedades adsorptivas; se utiliza principalmente

en el tratamiento de aguas residuales, purificación azucarera, la industria cosmética y la producción de fármacos.

Las cenizas son el residuo que queda después de calcinar el carbón a 650 °C, hasta llegar a peso constante, y se expresan en términos de porcentaje en base seca. La cantidad y composición de las mismas puede influir en la adsorción y en ciertas propiedades del carbón activado. Es posible disminuir su presencia en el carbón mediante lavados con ácido, lo que se hace en el caso de procesos que se ven afectados por ellas. Como ejemplo está el carbón activado granular que se utiliza en la recuperación de solventes del aire. Al tener un menor contenido de cenizas, aumenta su temperatura de ignición, disminuyendo el riesgo de que ésta suceda, debido a que las cenizas son óxidos de sodio, potasio y de otros metales, que actúan como chispa y provocan la ignición de la cama de carbón saturado. En el caso de tratamiento de agua, la desventaja fundamental de las cenizas consiste simplemente en que mientras mayor es su porcentaje, menor es la cantidad de carbón realmente efectivo. (Sevillano & Torres, 2013).

Sevillano & Torres (2013) afirman que el tiempo de activación depende de la calidad y cantidad del carbón activado que se quiere obtener. En general a mayor tiempo de activación el poder adsorbente aumenta, pero disminuye el rendimiento en cantidad. La calidad del carbón, medida por la capacidad de adsorción, depende también de la temperatura del proceso.

Un estudio sobre el carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de *Guazuma crinita* Mart., considerado un desperdicio de la

transformación mecánica de la madera, en el cual se consideró el cloruro de zinc como el mejor agente activante de los dos empleados (ZnCl_2 y H_3PO_4) al 70% de concentración y a una temperatura de 800 °C. Con respecto al material volátil, se obtuvo mejores resultados con el cloruro de zinc indicando que la cantidad adsorbida es mucho mayor a elevadas concentraciones y temperaturas que a menores, lo cual explica que a estas condiciones el poro del carbón es más accesible en atrapar impurezas con materia coloreada, (Oliveira & Panduro, 2010).

Melo (1985) en su trabajo de investigación sobre la obtención de carbón activado de *Eucalyptus globulus* Labill, empleando el método físico con vapor de agua sobrecalentado a 800 °C, 900 °C y 1 000 °C, determinó que los carbones de grano más fino y sometidos a altas temperaturas (1 000 °C) tienen mejor poder de adsorción que los carbones de grano grueso sometidos a menor temperatura de activación (800 °C).

2.2. Clasificación sistemática y descripción botánica de la especie en estudio.

Según (World Wildlife Fund (WWF), 1996)

ESPECIE: ***Simarouba amara*** Aubl.

FAMILIA: Simaroubaceae

SINONIMIA: ***Simarouba glauca***

Hemsley

NOMBRES COMUNES: Perú: marupa; Bolivia: amargo, chiriguamo. Brasil: simarupa, marupa. Colombia: Marupa, simaruba, palo blanco. Cuba: Palo blanco. Costa Rica: olivo. Ecuador: Cuña, capulli, cedro amargo. Guatemala: Aceituno. Guyana: Simarupa. Venezuela: Cedro blanco, simaruba.

NOMBRE COMERCIAL INTERNACIONAL: Simaruba

2.2.1. Distribución geográfica:

Se encuentra en zonas altas en suelos arenosos bien drenados, en las formaciones de bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) en transición a bosque húmedo tropical (bh-T). Generalmente crece asociado con las especies: *Jacaranda spp.*, *Sclerolobium spp.*, *Laetia spp.*, *Guatteria spp.* Según las zonas y los resultados de inventarios disponibles, el volumen bruto de marupá varía de 0,3 a 1,6 m³ /ha (con un diámetro superior a 0,4 m).

Árbol: De fuste recto, ahusado, cilíndrico sin aletones, conicidad pronunciada. Altura comercial promedio de 24 m. Altura total promedio de 40 m. Diámetro promedio a la altura del pecho de 0,60 m. Corteza externa de color gris claro, de textura casi lisa a levemente agrietada con fisuras finas verticales, lenticular, presenta 4 cm de espesor. - Corteza interna de color amarillo cremoso, con veteado blancuzco, de textura arenosa y sabor muy amargo de allí proviene su nombre genérico.

Hojas: Alternas, paripinnadas de 20 cm a 40 cm, lampiñas, borde entero, de color verde lustroso el eje es de color verde amarillento, las láminas de los folíolos miden de 8 cm a 15 cm, son opuestos con pecíolos cortos de 5 mm, extremos redondeados, con puntas diminutas, el borde virado hacia abajo, caen rápidamente sino son tratadas con anti defoliante.

Flores: Masculinas y femeninas en distintos árboles (dioica), de color verde amarillentos. En panículas o racimos terminales o laterales, grandes muy ramificados de 20 cm a 30 cm.

Frutos: Drupa de color verde claro cuando inmaduro y después negro. Tienen una pulpa delgada amarga y la semilla elíptica grande. En la zona del Bosque Nacional Alexander von Humboldt fructifica en los meses de Enero – Marzo.

Trozas: Tienen buena conformación, son rectas, cilíndricas, pero pueden presentar

un decrecimiento notable. El diámetro de las trozas varía de 0,50 m a 0,85 m. la albura no se distingue de la madera del corazón. Ofrecen resistencia a los ataques de insectos gracias a las sustancias amargas contenidas en la corteza. Susceptible al ataque de hongos de la pudrición.

2.2.2. Características organolépticas de la madera

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco cremoso y las capas internas (duramen) de color amarillo pálido verdoso, observándose entre ambas una transición gradual. En la madera seca al aire la albura se torna de color amarillo pálido HUE 8/4 2.5Y y el duramen, amarillo 8/610YR.

Olor: Ausente o no distintivo **Lustre o brillo:** Medio a brillante. **Grano:** Recto.

Textura: Mediana uniforme

Veteado o figura: Suave, jaspeado claro.

2.2.3. Características anatómicas.

Anillos de crecimiento: Ligeramente diferenciados.

Poros: Visibles a simple vista, difusos, solitarios de forma redonda, múltiples radiales, con 2 a 3 poros/mm². El diámetro tangencial varía de 184 a 246 micras y la longitud entre 319 y 511 micras. Platina de perforación horizontal con perforación simple. Punteado intervascular alterno con puntuaciones poligonales y abertura extendida. Punteado radiovascular similar al intervascular.

Parénquima: Visible con lupa 10x, asociado a los poros, paratraqueal vasicéntrico y aliforme confluyente, no estratificadas. Presencia de células cristalíferas septadas.

Radios: Visibles a simple vista, con 3 mm a 6 mm, no estratificados. Presencia de canales intercelulares verticales. Homogéneos y Heterogéneos tipo II, estratificados o escalonados. Altura entre 441 micras y 649 micras.

Fibras: Libriformes, septadas, diámetro total es 20 micras, celular 3 micras y la longitud 1293 micra, estratificadas. El grosor de pared varía entre 1 micra a 2 micras.

2.3. Planteamiento teórico del problema

2.3.1. Carbón activado

Es un producto extremadamente poroso que puede desarrollar áreas superficiales altas desde 500 m² a 1500 m² por cada gramo de carbón, cabe recalcar que el área superficial depende mucho del tipo de activación y de la materia prima utilizada, el momento que se da la activación ya sea química o física se genera o se brinda porosidad al material el que le concede la propiedad de adsorción ya sea de gases, líquidos, vapores y sólidos coloidales, lo que lo hace

de suma importancia en la industria de transformación química y petroquímica. (Martínez, 2012).

2.3.2. Propiedades.

Para la producción de carbón activado se debe partir de una materia prima con propiedades bien definidas e importantes tales como: dureza, estructura inherente de poros, abundancia, alto contenido de carbono, bajo contenido de cenizas. (Bastidas, Buelvas, Márquez, & Rodríguez, 2010)

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no sólo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química, (Reinoso, 2015). Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función (Clarimex, 2020).

Por su parte la FAO (1983), Pérez y Compean (1989) comparten la opinión que la humedad es un adulterante que baja el valor calorífico o de calefacción del carbón vegetal. Marcos (1989), clasifica con tres tipos de saturación al carbón vegetal de acuerdo a sus porcentajes de humedad, como: carbón vegetal seco al aire si su humedad esta entre 4 y 9.5 % (en base húmeda), carbón vegetal húmedo si ésta entre 10 y 15 % y mojado si su humedad es mayor del 15 %.

Tabla 1 Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali.

Especies	Contenido de humedad de madera %	Rendimiento (%)	Contenido humedad carbón %	Contenido de cenizas	Materia volátil	Poder calórico superior Kcal/kg	Densidad (g/cm ³)	Carbono fijo %
<i>Apeiba membranacea</i> Aubl (Maquizapa nagcha)	12.71	33.08	10.51	2.11	8.40	7030.61	0.28	78.93
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr- (Ana caspi)	12.30	38.60	3.26	4.08	6.04	7108.97	0.51	86.62
<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Oken (Panguana)	12.78	33.28	2.05	1.69	5.40	7636.14	0.23	90.86
<i>Croton matourensis</i> Aubl (Aucatajio)	12.39	35.21	3.25	3.07	7.22	7090.28	0.30	86.46
<i>Jacaranda copaiba</i> (Aubl.) D. Don (Huamanzamana)	11.09	34.18	1.25	2.71	10.30	7072.78	0.21	85.74
<i>Matisia cordata</i> Bonpl (Sapote)	11.87	35.30	3.07	14.36	4.78	6306.9	0.28	77.79
<i>Septotheca tessmannii</i> Ulbr (Utucuro)	13.78	30.41	6.45	5.20	3.14	7091.47	0.33	85.21
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S. F. Blake (Pashaco blanco)	12.48	43.16	2.44	2.57	6.44	7301.71	0.25	88.55
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	13.02	28.07	5.39	1.77	2.40	7416.96	0.26	90.44
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav) Steud. (Yacushapana amarilla)	12.92	39.33	1.53	5.28	7.08	7048.29	0.44	86.11

Fuente: panduro (2012) citado por Fiorella Isabel Pérez Reátegui (2019)

2.3.3. Adsorción.

Martínez, (2012) define adsorción como el proceso en el cual átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otro compuesto, fuerzas conocidas como “fuerzas de Van Der Waals”, por lo tanto, este fenómeno ocurre en la superficie de un sólido lo que nos indica que a mayor área superficial mejor será la adsorción de otros compuestos.

Es un proceso en donde las moléculas se transfieren de una corriente de fluido y son concentradas en una superficie sólida mediante fuerzas físicas. Una molécula disuelta en la corriente de fluido (gaseosa o acuosa) que es atraída y se adsorbe hacia la superficie sólida se llama adsorbato. La superficie sólida hacia la cual el adsorbato es adsorbido se llama adsorbente. La atracción física se controla por las fuerzas tipo Vander Waals, mecanismos de unión no específicos (fuerza de

atracción en un nivel molecular), o las fuerzas de atracción entre el adsorbato y la superficie adsorbente (Rodríguez J. , 2011).

2.3.4. Tipos de adsorción

Adsorción por intercambio: En este proceso el soluto y el adsorbente se atraen mediante fuerzas electrostáticas.

Adsorción por fuerzas de Van der Waals: También se la conoce como fisisorción o adsorción física, en este proceso el adsorbato no se encuentra fijo en la superficie del adsorbente.

Adsorción química: También conocida como adsorción química o Quimi sorción, en este proceso se da una interacción química entre el adsorbato y el adsorbente.

2.3.5. Métodos de obtención.

Método de activación química.

Esta se realiza de una manera directa y en un solo paso, la materia prima es sometida a un agente químico que puede ser ácido fosfórico, hidróxido de sodio o cloruro de zinc y luego es sometida a calentamiento. Algo importante de considerar es que al obtener el carbón activado se debe lavar muy bien con solución neutra para eliminar cualquier exceso residuo del agente químico utilizado. Los principales factores que se deben controlar en este tipo de activación química son: temperatura de activación, tiempo de residencia, relación de impregnación. (Uribe, López, & Gonzales, 2013).

Blanco, J.; Bonelli, P.; Cerrella E.; Cukierman, A., (2021) indican que particularmente el proceso de activación química de residuos biomásicos

empleando ácido fosfórico y cloruro de zinc como agentes activantes para la obtención de carbones activados tienen varias ventajas con respecto al de activación física ya que involucra una única etapa de tratamiento térmico, requiere temperaturas considerablemente menores, permite una eficiente recuperación del ácido mediante extracción multietapas y se alcanzan mayores rendimientos y capacidades de adsorción, disminuyendo los costos del proceso.

- **Activación con cloruro de Zinc (ZnCl_2)**

Fue el método más utilizado en 1970 en la activación de residuos de madera, hoy en día no se utiliza por los problemas medioambientales que causa el cloruro de zinc, sin embargo, en China todavía se utiliza como agente químico para activación del carbón. (Pilamonta, 2013)

- **Activación con ácido fosfórico (H_3PO_4)**

El mecanismo que se presenta durante la activación química con ácido fosfórico no ha tenido investigaciones minuciosas, según algunas investigaciones el ácido fosfórico actúa como un agente deshidratante, cuando el ácido entra en contacto con la materia prima se acelera la deshidratación y a la vez degrada la materia prima impregnada. Luego de la activación química sucede un proceso semejante al tratamiento térmico, es decir se da carbonización de la muestra. (Pilamonta, 2013)

- **Método de Activación física**

Uribe, López, & Gonzales, (2013) afirman que este proceso requiere de dos pasos, el primero que consta de la carbonización de la materia prima sometiéndola a altas temperaturas desde 500°C a 1200°C sin presencia de oxígeno, y, el

segundo paso que sería ya la activación del material carbonizado consiste en gasificar parcialmente al carbón resultante ya sea con vapor de agua, oxígeno o con CO₂, si se realiza los dos pasos simultáneamente se habla de una activación directa. Las reacciones del carbón con vapor de agua o con dióxido de carbono necesitan absorción de calor para poder activarse, motivo por el cual las partículas de carbón deben estar en óptimo contacto con el agente activante por lo que el gas debe estar a una temperatura superior que la temperatura de reacción.

2.3.6. Tipos de poros en el carbón activado

Al momento de activar un carbón se forman poros de tamaños distintos, entre ellos, los macroporos, mesoporos y los microporos, los cuales se detallan a continuación (Jiménez, 2012).

Macroporos: su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y microporos.

Mesoporos: poros medios, con radio de 20-500 Ångstrom, su tamaño les permite adsorber moléculas de tamaño mediano que por lo general están presentes en jarabes de azúcar.

Microporos: poros con un radio de 20 Ångstrom o menos, son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

2.3.7. Clasificación del carbón activado.

ITINTEC, (1982) clasifica al carbón activado de acuerdo con el tamaño de partícula, con respecto a la siguiente nomenclatura:

TIPO I: Carbón activado en forma de polvo; corresponden aquellas partículas que pasan el tamiz de malla 80 ASTM.

TIPO II: Carbón activado en forma granular; corresponden aquellas partículas más grandes que no pasan el tamiz de malla 80 ASTM.

El carbón activado en polvo (TIPO I) posee dos propiedades importantes, la filtrabilidad y la densidad. Las principales propiedades físicas del carbón activado granular (TIPO II) son la dureza y el tamaño de partícula. La velocidad de adsorción del carbón activado en polvo es 100 veces mayor que la del carbón granular. Sin embargo, el carbón activado en polvo es el más difícil de manejar (Jiménez, 2012).

2.3.8. Aplicación del carbón activado.

ECSUP (2009) asevera que la aplicación de los procesos hidrometalúrgicos a los minerales auríferos produce una solución impura y de baja ley. Por esa razón, es necesario aplicar técnicas de recuperación del oro desde las soluciones lixiviadas. La alternativa de utilizar el carbón activado para la recuperación del oro se conoce desde hace mucho tiempo, pero ha cobrado auge a raíz de las investigaciones en la desorción del carbón.

Durante el tratamiento secundario de las aguas residuales se producen o persisten una variedad de compuestos orgánicos que deben ser considerados como factores o criterios para la descarga o la reutilización del agua tratada. El método estándar para la remoción del material orgánico disuelto es la adsorción en carbón activado (Manahan, 2017).

Larsen & Fuller (2016) afirman que el carbón activado es el método más eficaz de descontaminación gastrointestinal y se utiliza con vaciamiento gástrico o sin él. La administración de carbón activado es el principal método utilizado para

evitar la absorción en el tracto gastrointestinal de la mayoría de los fármacos y otras sustancias químicas ingeridos.

Por tanto, se debe seleccionar el carbón activado adecuado teniendo en cuenta estas diferencias. La aplicación del carbón activado en el tratamiento del agua va desde la eliminación de sabor y olor para el control de compuestos orgánicos muy específicos, como organoclorados, COT residual, y precursores de los trihalometanos (THM) como las sustancias húmicas (Jiménez, 2012).

Fombuena (2009), menciona que el carbón activado está formado por aproximadamente 75-80 % de carbono, 5–10 % de cenizas, 60 % de oxígeno y 0,5 % de hidrógeno.

2.3.9. Importancia de la textura porosa de los carbones activos

Los carbones activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de 1000 m²/g e incluso llegar a los 3000 m²/g. Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica. En principio, abarcaría pensar que, a mayor superficie específica, mejores serán las características como adsorbente del carbón activado (Sevilla, 2016).

2.3.10. Definición de términos básicos.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, (2010) define los siguientes términos básicos:

Adsorbato. Son aquellas sustancias absorbidas por un carbón activo o por otro material adsorbente.

Adsorbente. Material, como el carbón activo, en el que se verifica el fenómeno de la adsorción.

Adsorción. Adhesión de un finísimo estrato de moléculas, líquidas o gaseosas, a la superficie de sólidos (por ejemplo, carbón activo) con los que aquéllas entran en contacto.

Carbonización. Reducir a carbón un cuerpo orgánico.

Carbón vegetal: Residuo que queda después del proceso de hidrólisis o carbonizado en el quemado de la madera.

Carbono fijo: Teóricamente corresponde a carbono puro presente en el carbón vegetal y se obtiene por diferencia de 100 % a los demás componentes, restando en porcentaje (dependiendo del método de análisis se resta o no el porcentaje de humedad).

Condensado: Líquido obtenido por el cambio de fase del vapor que se introduce al condensador.

Condensador: Intercambiador de calor, donde ocurre un cambio de fase en uno de los fluidos.

Densidad relativa: Razón entre la densidad de un líquido a una temperatura, y la densidad del agua a una temperatura, dichas temperaturas pueden ser iguales o no.

Humedad del carbón: Cantidad de agua contenida en el carbón adquirido luego de alcanzar el equilibrio con el medio ambiente, expresado en forma porcentual. La eliminación de la humedad del carbón se logra a temperaturas mayores o iguales a los 100 °C.

Rendimiento: Se refiere a la cantidad de carbón que se produce de una determinada cantidad de madera y a la vez el rendimiento es un parámetro que mide el grado de aprovechamiento de la materia prima.

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método que se utilizó en la investigación fue experimental debido a que se realizaron ensayos de laboratorio y bajo las especificaciones de las normas técnicas para la obtención de carbón activado.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población:

La población estuvo representada por el aserrín de 03 árboles de *Simarouba amara* Aubl. (marupa) proveniente de la de Puerto Zúngaro, Provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco

Tabla 2. Coordenadas UTM árboles de *Simarouba amara* Aubl

Arboles	Coordenadas UTM	
	X	Y
1	495651	8962400
2	495660	8962388
3	495681	8962404

3.2.2. Muestra

La muestra fue probabilística ya que se asegura que la muestra sea equitativa y proporcional, de acuerdo con las características, cualidades o rasgos de la población a estudiar; conformada por 5000 g de aserrín de la especie recolectado de la misma zona de Puerto Zúngaro.

3.3. Procedimiento de recolección de datos.

3.3.1. Acondicionamiento de las materias primas y contenido de humedad.

El aserrín recolectado fue sometido a tamizado en malla N° 40 (425 µm) y N° 60 (250 µm) y se trabajó con lo que queda en malla N° 60(250 µm) para limpiar las partículas extrañas y secadas al ambiente, después de esta operación, se obtuvo una muestra del aserrín con tres repeticiones para determinar el contenido de humedad, en una estufa hasta peso constante según norma ASTM D – 1762; que consistió en pesar muestras de aserrín (Pha) secarlas en estufa regulada a $103 \pm 2^\circ\text{C}$. hasta peso constante y se determinó el peso final (Psa) y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Ch} = \frac{(Pha - Psa)}{Psa} \times 100$$

Donde:

Ch: es el contenido de humedad del aserrín expresado en porcentaje.

Pha: es el peso inicial del aserrín expresado en gramos.

Psa: es el peso seco en estufa del aserrín expresado en gramos. Luego de estimada la humedad, se procederá a pesar las muestras.

3.3.2. Impregnación de activadores químicos H_3PO_4 (ácido fosfórico) y ZnCl_2 (cloruro de zinc).

Se preparó soluciones de ácido fosfórico y cloruro de zinc al 30%, 40% y 50% w/w. Fue pesado 50 g de aserrín en un recipiente previamente tarado. A este se le adicionó ácido fosfórico y cloruro de zinc al 30%, 40% y 50 % en una relación en masa 1:1; es decir, por cada gramo de aserrín, se agregó 1 gramo de ácido fosfórico y cloruro de zinc con el fin de obtener un mayor rendimiento de carbón activado. Cabe mencionar que el uso de concentraciones superiores

puede conducir a un uso poco efectivo del ácido y cloruro, asociado con un mayor potencial de contaminación. La relación másica de material lignocelulósico: agente de activación constituye uno de los factores que se puede optimizar (Loredo-Cancino, 2013). El aserrín y el ácido se deben mezclar vigorosamente hasta que el primero se humedezca completamente. Finalmente, se cubrió el recipiente con un film plástico y se dejó impregnar durante 24 h.

3.3.3. Activación mediante carbonización.

Una vez realizada la impregnación, se llevaron las muestras a una mufla eléctrica para realizar la carbonización. Se elevó la temperatura a 800 °C, 900 °C y 1000 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C/min, se mantuvo a esta temperatura según el tratamiento establecido. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar el horno, luego se retiró los carbones obtenidos y se los llevó a un desecador para que se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente. Después fueron enfriados, se les realizó lavados sucesivos con agua destilada caliente para eliminar el ácido fosfórico residual y el cloruro de zinc y debe alcanzar un valor de pH entre 6 y 7. Finalmente, fueron secados los carbones resultantes a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 12 horas y se enfrió en el desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.

3.3.4. Determinación de rendimiento en carbón activado.

Para determinar el rendimiento del carbón de la especie en estudio se aplicó la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{Peso de carbón} / \text{Peso seco del aserrín}) * 100\%.$$

3.3.5. Evaluación de la calidad del carbón activado elaborado

Se realizaron las siguientes pruebas siguiendo las normas técnicas (ASTM, Norma ITINTEC 207.028-81, Norma 0-3838-80, estipuladas para cada uno de los parámetros evaluados para la determinación de las características del carbón activado:

Grado de activación (porosidad) %: Fórmula según Dubini citado por Azañero (1988): $GP = (100 - \%R)$.

GP: Grado de Porosidad

%R: % Rendimiento

Material volátil (%): Norma ASTM (2007).

Contenido de cenizas (%): Norma ASTM (2007).

Carbono fijo (%): Con la fórmula: $CF=100 - (\text{contenido de cenizas}\% + \text{material volátil})$

Absorción del azul de metileno (%): Fue realizado en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali. Decoloración del azul de metileno por el carbón activado (medido con el espectrofotómetro con una longitud de onda (446 nm.) por Layseca (2001) y Teruya (2004). En la última prueba se cuantifica el porcentaje de adsorción del carbón activado, a partir de la decoloración que ejerce el carbón en la solución de azul de metileno. Se realizará mediante la metodología seguida por Layseca (2001) y NMX (1977).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas

Se utilizó la observación directa en laboratorio.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Apoyado de tablas Excel con fórmulas de evaluación para el ordenamiento y sistematización de datos (Anexo 1).

3.5. Tratamiento de datos

Los resultados de los análisis inmediatos se trabajaron estadísticamente con un diseño factorial $2 \times 3 \times 3$, siendo los factores los distintos activadores (2), distintas concentraciones (3) y diferentes temperaturas de activación (3), realizándose el análisis de varianza y para las diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), la comparación de medias según Tukey, utilizando el paquete estadístico "R". Activadores: H_3PO_4 y ZnCl_2 (A), Concentraciones: 30%, 40% y 50% (C), Temperatura: 800 °C, 900 °C y 1000 °C (Ta)

Donde: Al combinar los tres niveles (A, C y Ta), se tiene: $2 \times 3 \times 3 = 18$ unidades muestrales. Estas unidades muestrales, tendrán 3 réplicas o repeticiones, entonces el tamaño de muestra (N) que se calcula será de la siguiente fórmula: $N: R \times A \times C \times Ta$

Donde:

R: 3 réplicas o repeticiones. Por lo tanto, se tiene: $N: 3 \times 2 \times 3 \times 3 = 54$ experimentos.

El cuadro del ANVA AV_3 por cada activador quedo establecida de la siguiente Manera:

Tabla 3 Análisis estadísticos de las variables a analizar.

<i>FUENTE DE VARIACIÓN</i>	<i>G.L</i>
<i>ENTRE ACTIVADORES</i>	<i>1</i>
<i>ENTRE CONCENTRACIONES</i>	<i>2</i>
<i>ENTRE TEMPERATURAS</i>	<i>2</i>
<i>INTERACCIÓN ACTIVADOR X CONCENTRACIÓN</i>	<i>2</i>
<i>INTERACCIÓN ACTIVADOR X TEMPERATURA</i>	<i>2</i>
<i>INTERACCIÓN CONCENTRACIÓN X TEMPERATURA</i>	<i>4</i>
<i>INTERACCIÓN ACTIVADOR X CONCENTRACIÓN X TEMPERATURA</i>	<i>4</i>
<i>ERROR</i>	<i>36</i>
<i>TOTAL</i>	<i>53</i>

En los factores donde se determinaron la existencia de diferencias significativas se utilizó la prueba múltiple de medias de Tukey, para esclarecer entre que variantes o niveles están las diferencias.

Tabla 4. Tratamientos del carbón activado.

Activadores/Tratamientos	
H_3PO_4 : Ácido fosfórico	$ZnCl_2$: Cloruro de zinc
T_1 : (H_3PO_4) (30%) (800 °C)	T_{10} : ($ZnCl_2$) (30%) (800 °C)
T_2 : (H_3PO_4) (30%) (900 °C)	T_{11} : ($ZnCl_2$) (30%) (900 °C)
T_3 : (H_3PO_4) (30%) (1000 °C)	T_{12} : ($ZnCl_2$) (30%) (1000 °C)
T_4 : (H_3PO_4) (40%) (800 °C)	T_{13} : ($ZnCl_2$) (40%) (800 °C)
T_5 : (H_3PO_4) (40%) (900 °C)	T_{14} : ($ZnCl_2$) (40%) (900 °C)
T_6 : (H_3PO_4) (40%) (1000 °C)	T_{15} : ($ZnCl_2$) (40%) (1000 °C)
T_7 : (H_3PO_4) (50%) (800 °C)	T_{16} : ($ZnCl_2$) (50%) (800 °C)
T_8 : (H_3PO_4) (50%) (900 °C)	T_{17} : ($ZnCl_2$) (50%) (900 °C)
T_9 : (H_3PO_4) (50%) (1000 °C)	T_{18} : ($ZnCl_2$) (50%) (1000 °C)

CAPITULO IV

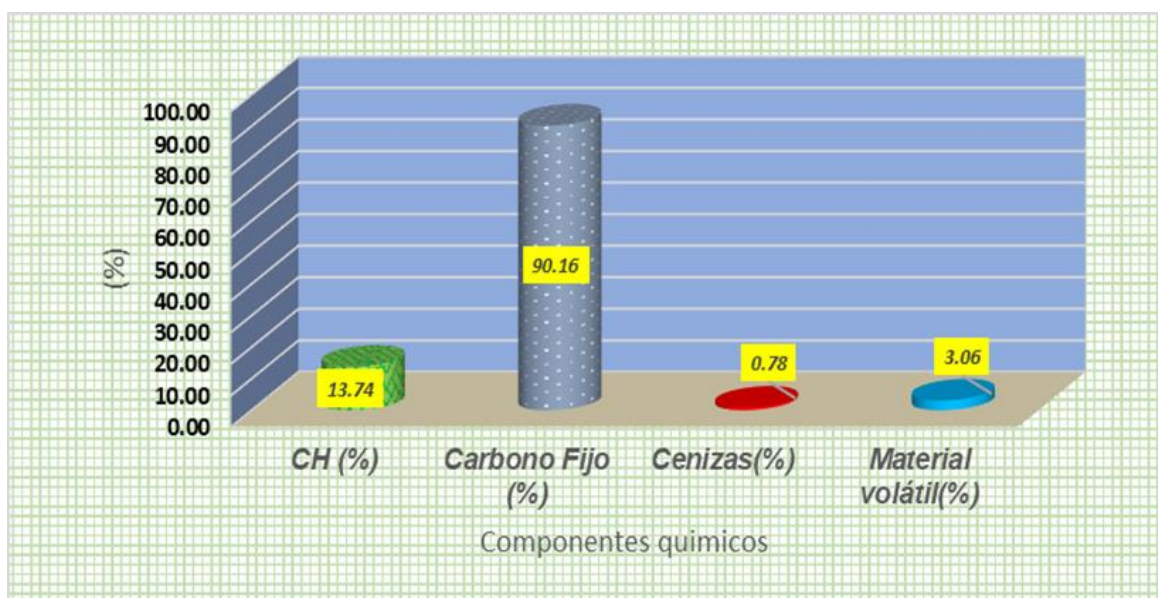
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis preliminar del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

Tabla 5. Análisis preliminar de la composición química del carbón vegetal a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

N°	CH (%)	Carbono Fijo (%)	Cenizas (%)	Material volátil (%)
1	13.75	96.16	0.79	3.06
2	13.73	96.17	0.78	3.05
3	13.74	96.15	0.78	3.07
X	13.74	90.16	0.78	3.06
S	0.011	0.009	0.004	0.007
CV (%)	0.08	0.01	0.51	0.22

Figura 1. Promedio de la composición química del carbón vegetal a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)



Como se puede observar en la tabla N°03 y figura 01 se tiene los valores de los componentes químicos de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa),

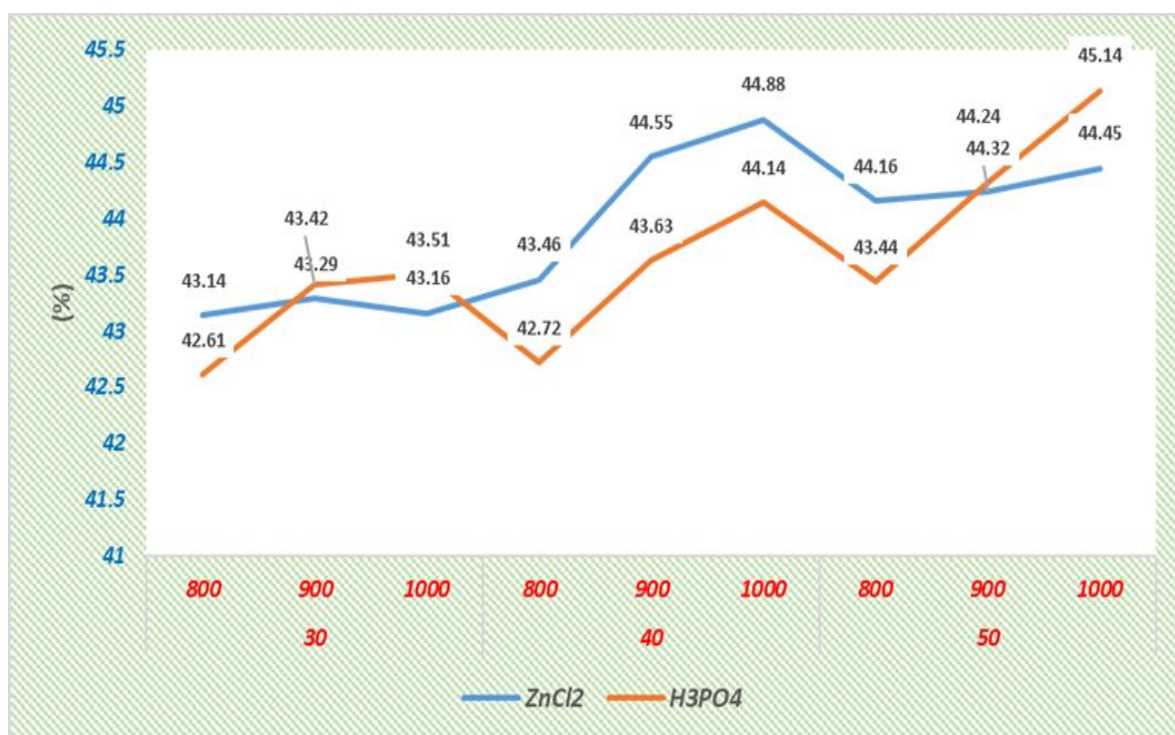
donde el contenido de humedad muestra un valor en promedio de 13.74% con un coeficiente de variación de 0.01%, el carbono fijo presenta un valor promedio de 90.16% con coeficiente de variación de 0.01%, las cenizas con un valor en promedio de 0.78% con coeficiente de variación de 0.51% y por último el material volátil con valor promedio de 3.06% con coeficiente de variación de 0.22%, de acuerdo a estos valores se puede clasificar a la humedad (13.74%) como **HUMEDA** porque está en el rango del 10-15% coincidiendo con lo que menciona Marcos (1989), carbono fijo (90.16%), está clasificado como **ALTO** por que se encuentra en el rango de (50-95%), coincidiendo con lo que menciona Marcos (1989), cenizas (0.78%) está clasificado como **MUY BAJO** coincidiéndose con lo que menciona La FAO (1983), Pérez y Compean (1989) donde menciona que para ser un buen pedazo de carbón vegetal el porcentaje de cenizas debe tener el 3%. En lo que se refiere al material volátil (3.06 %) está clasificado como de **MEDIANA** y considerada de encender rápido, pero con alta producción de humo según lo que menciona FAO (1983) y Pérez y Compean (1989). Además, se comparó estos valores con componentes químicos con la tabla N°01(pagina15) donde se estudió Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali (Panduro 2012) en donde se encuentra la *Simarouba amara* Aubl. (marupa), en el cual se difiere considerablemente en el % de cenizas de madera considerable y el resto de componentes químicos están coincidiendo de manera muy parecidas.

4.2. Rendimiento del carbón activado con Ácido fosfórico (H_3PO_4) y Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$), distintas concentraciones y temperaturas del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

Tabla 6. Promedio del rendimiento del carbón activado según los tratamientos establecidos.

Rendimiento (%)									
		30%			40%			50%	
N°									
T (°C)	800°	900°	1000°	800°	900°	1000°	800°	900°	1000°
H ₃ PO ₄	42.61	43.42	43.51	42.72	43.63	44.14	43.44	44.32	45.14
ZnCl ₂	43.14	43.29	43.16	43.46	44.55	44.88	44.16	44.24	44.45

Figura 2. Promedio de l rendimiento del carbón activado según los tratamientos establecidos.



Como se puede observar en la tabla N° 05 y figura 02 se tiene los valores de rendimiento carbón activado a partir del aserrín de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa), a diferentes concentraciones, temperaturas y dos

activadores que son el H_3PO_4 y ZnCl_2 , donde el máximo rendimiento para el primer activador se dan en una concentración de 50% y 1000° de temperatura con un valor de 45.14 % en promedio y su mínimo rendimiento se da en 30% de concentración y 800° de temperatura con un valor de 42.61% en promedio, a comparación de segundo activador su máximo rendimiento se da de manera similar a 1000° de temperatura y a una concentración de 50% muestra un valor de 44.45% en promedio, y su mínimo rendimiento se da en 30% de concentración y 800° de temperatura con un valor de 43.14% en promedio, en ambos caso se puede notar que al aumentar la concentración y temperatura aumenta el rendimiento, siendo mínima la diferencia entre ambos activadores en diferentes puntos del rendimiento del carbón activado. Coincidiendo con lo que señala Velázquez-Trujillo et al. (2010). “Señalando que el reactivo utilizado se denomina agente activante; el tiempo que dura el proceso de carbonización y su temperatura reciben los nombres de tiempo de activación y temperatura de activación, respectivamente.

Tabla 7. *Análisis de varianza de tres factores del rendimiento del carbón activado por tratamientos.*

Fuente de variación	SC	G	CM	F	Sig.	
ACTIVADORES	0.96	1	0.965	5212.840	<.001	**
TEMPERATURA	8.59	2	4.296	23200.630	<.001	**
RENDIMIENTO * ACTIVADORES	1.91	2	0.959	5177.290	<.001	**
RENDIMIENTO * TEMPERATURA	1.60	4	0.400	2161.465	<.001	**
ACTIVADORES * TEMPERATURA	1.32	2	0.661	3568.570	<.001	**
RENDIMIENTO * ACTIVADORES * TEMPERATURA	0.85	4	0.212	1147.435	<.001	**
Error	0.007	36	0.000			
	1035	54				

En la tabla 7 se tiene el análisis de varianza de tres factores del rendimiento del carbón activado por tratamientos donde se puede notar que hay diferencias altamente significativas con referencia a los valores del rendimiento encontrados en base a los activadores, temperatura y a su concentración, además la tabla 7 muestra una interacción entre las variables estudiadas por lo que se realizó un análisis de muestra de 2 medias independientes para confirmar esta diferencia altamente significativa de sus activa

Tabla 8. Prueba de dos medias de muestras independientes en el rendimiento de los activadores.

<i>FV</i>	<i>Gl</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>P Valor</i>	<i>Sig</i>
Activadores					
(H₃PO₄)	52	10.879	3.207	<0.01	0.079 **
(ZnCl₂)					

En la tabla 08 se observa la prueba de dos medias de muestras independientes en el rendimiento de los activadores donde se puede ver que se confirma que estos activadores tienen una diferencia altamente significativa donde se concluye que los valores son independientes y no muestran relación en su rendimiento al obtener del carbón activado de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa). Corroborando con lo que menciona Velázquez-Trujillo et al. (2010).

Tabla 9. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en el rendimiento en función a la temperatura.

FV	GL	CM	F	P Valor	Sig
Entre grupos	2	814.936	40.277	<1.00	**
Dentro de grupos	3	6.396			
Total	5				

la tabla 09 se observa la prueba el análisis de varianza de un factor AV1 en el rendimiento en función de la temperatura donde se puede ver que se confirma que estos activadores tienen diferencia altamente significativa donde se concluye que los valores no son similares sometidas a diferentes temperaturas en relación en su rendimiento al obtener del carbón activado de *la madera de Simarouba amara* Aubl. (marupa). Al persistir la significancia se realizó la prueba de tuckey.

Tabla 10. Prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la temperatura.

T° (I)	T° (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					L. inferior	L. superior
1000°	800°	0.96*	0.005	<0.001	0.95	0.97
	900°	0.31*	0.005	<0.001	0.30	0.32
800°	1000°	-0.96*	0.005	<0.001	-0.97	-0.95
	900°	-0.65*	0.005	<0.001	-0.66	-0.64
900°	1000°	-0.31*	0.005	<0.001	-0.32	-0.30
	800°	-0.65*	0.005	<0.001	0.64	0.66

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .000.

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

Tabla 10. Resumen de la prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la temperatura.

Temperatura (C°)	N	Subconjunto		
		1	2	3
800°	18	43.26		
900°	18		43.91	
1000°	18			44.21
Sig	54	1.000	1.000	1.000

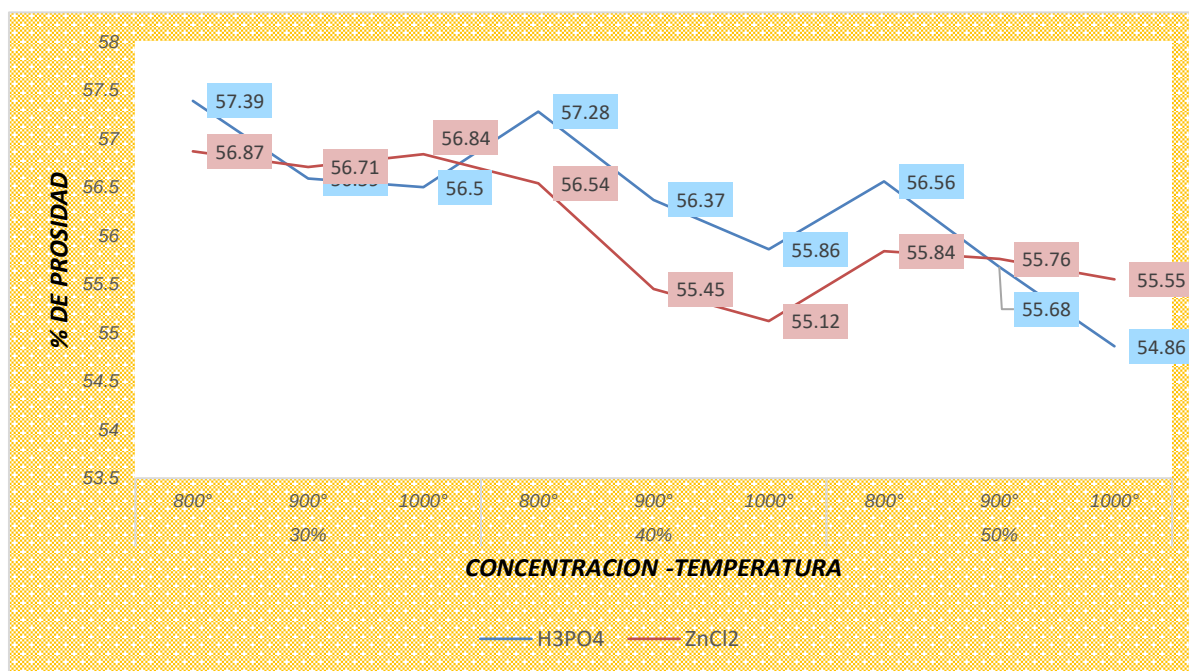
En la tabla 9 y 10 se observa la prueba de tuckey, esta prueba nos va decir si hay o no significancia entre los tratamientos de temperatura conforme este vaya avanzando en función a su rendimiento para la obtención del carbón activado de *Simarouba amara* Aubl. (marupa); entonces esta prueba de tuckey según la tabla 9 y 10 nos está mostrando que hay defenecías altamente significativas entre el valor de 1000°C con respecto a 800°C y 900°C, 800°C difiere con 900°C y 1000°C, 900°C difiere con 800°C y 1000°C, por eso la tabla 10 nos muestra 3 grupos individuales con respecto a los valores de rendimiento en promedio en función al aumento de la temperatura. Todos estos valores mencionados se asemejan a lo que encontró Román et al. (2008), Gonzales (2004) y Tongpoothorn et al. (2011). *Quienes señalan que al elevar la temperatura y tiempo de activación se logra una mayor pérdida de material volátil, ampliando y generando una estructura más porosa y por ende de mayor área superficial y capacidad de adsorción.*

4.3. Porosidad del carbón activado con Ácido fosfórico (H₃PO₄) y Cloruro de Zinc (ZnCl₂), distintas concentraciones y temperaturas del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

Tabla 11. Promedio de la porosidad del carbón activado según los tratamientos establecidos.

		Porosidad (%)								
Concentración		30%			40%			50%		
Temperatura °C		800°	900°	1000°	800°	900°	1000°	800°	900°	1000°
H ₃ PO ₄		57.39	56.59	56.5	57.28	56.37	55.86	56.56	55.68	54.86
ZnCl ₂		56.87	56.71	56.84	56.54	55.45	55.12	55.84	55.76	55.55

Figura 3. Promedio de la porosidad del carbón activado según los tratamientos establecidos.



Como se puede observar en la tabla N° 05 y figura 03 se tiene los valores de porosidad de carbón activado a partir del aserrín de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa), a diferentes concentraciones, temperaturas y dos activadores que son el H₃PO₄ y ZnCl₂, donde el máximo rendimiento para la porosidad se dan en una concentración de 30% y 800° de temperatura con un valor de 57.39 % en promedio y su máximo rendimiento se da en 50% de concentración y 1000° de

temperatura con un valor de 54.86% en promedio, a comparación de segundo activador su máximo rendimiento se da de manera similar a 800° de temperatura y a una concentración de 30% muestra un valor de 56.87% en promedio, y su mínimo rendimiento se da en 50% de concentración y 1000° de temperatura con un valor de 55.55% en promedio, en ambos caso se puede notar que al disminuir la concentración y temperatura aumenta el rendimiento de porosidad, siendo mínima la diferencia entre ambos activadores en diferentes puntos del rendimiento del carbón activado. Coincidiendo con lo que señala Román et al. (2008), Gonzales (2004) y Tongpoothorn et al. (2011). *Quienes señalan que al elevar la temperatura y tiempo de activación se logra una mayor pérdida de material volátil, ampliando y generando una estructura más porosa y por ende de mayor área superficial y capacidad de adsorción.* Además, se confirma con lo que señala (Alhamed 2006) *la temperatura de activación y el tiempo de activación, influyen significativamente en la capacidad de adsorción de un carbón activado.*

Tabla 12. *Análisis de varianza de la porosidad del carbón activado por tratamientos.*

Fuente de variación	SC	GI	CM	F	Sig.
Activador	111.966	1	111.96	665216.311	<0.001 *
Temperatura	9.027	2	4.513	26815.309	0.001 *
Concentración	36.550	2	18.275	108575.928	0.001 *
Activador *Temperatura	0.188	2	0.094	559.847	0.001 *
Activador*Concentración	1.839	2	0.920	5463.751	0.001 *
Temperatura*Concentración	1.274	4	0.319	1892.355	<0.001 *
Activador*Temperatura* Concentración	0.313	4	0.078	464.162	<0.01 *
Error	0.006	36	0.000		
Total	209263.3	54			

a. R al cuadrado = 1.000 (R al cuadrado ajustada = 1.000)

**: Diferencia altamente significativo.

En la tabla 12 se tiene el análisis de varianza de tres factores del rendimiento de la porosidad en función a la concentración de los activadores y a la temperatura del carbón activado por tratamientos donde se puede notar que hay diferencias altamente significativas con referencia a los valores encontrados, además la tabla 12 muestra una interacción entre estas variables estudiadas por lo que se realizó un análisis de muestra de 2 medias independientes para confirmar esta diferencia altamente significativa de sus activadores.

Tabla 13. Prueba de dos medias con muestras independientes en la porosidad del carbón activado por tratamientos.

<i>FV</i>	<i>Gl</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>P Valor</i>	<i>Sig</i>
Activadores					
(H₃PO₄)	52	1.399	0.03	0.084	0.095 N.S
(ZnCl₂)					

En la tabla 13 se observa la prueba de dos medias de muestras independientes en el rendimiento de porosidad mediante de dos activadores donde se puede ver que se confirma que estos activadores no tienen influencia o una diferencia significativa en el rendimiento de la porosidad; entonces se concluye que los valores son parecidos o iguales y muestran relación en su rendimiento a la porosidad al obtener del carbón activado de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa). Corroborando con lo que menciona Velázquez-Trujillo et al. (2010).

Tabla 14. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) de la porosidad en función a la temperatura.

FV	GI	SC	CM	F	P valor.	Sig.
Entre grupos	1	0.965	0.965	1.957	0.168	N. S
Dentro de grupos	52	25.637	0.493			
Total	53	26.602				

En la tabla 14 se observa la prueba el análisis de varianza de un factor AV1 en el rendimiento de la porosidad en función de la temperatura donde se puede ver que se confirma que estos activadores no tienen diferencia significativa donde se concluye que los valores son similares sometidas a diferentes temperaturas en relación en su rendimiento al obtener del carbón activado de *la madera de Simarouba amara* Aubl. (marupa).

Tabla 15. Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) de la porosidad en función a la concentración.

FV	GI	SC	CM	F	P valor.	Sig.
Entre grupos	2	11.329	5.665	18.915	<0.001	**
Dentro de grupos	51	15.273	0.299			
Total	53	26.602				

En la tabla 15 se observa la prueba el análisis de varianza de un factor AV1 en el rendimiento de la porosidad en función a las concentraciones de los activadores donde se puede ver que se confirma que las concentraciones tienen diferencia altamente significativa donde se concluye que los valores son no similares sometidas a diferentes concentraciones en relación en su rendimiento al obtener del carbón

activado de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa). Al haber persistir la significancia se realizó la prueba de tuckey

Tabla 16. Prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la concentración de los activadores.

(I) %	(J) %	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
30	40	0.70978*	0.18241	<.001	0.2694	1.1501
	50	1.10739*	0.18241	<.001	0.6670	0.547117
40	30	-0.70978*	0.18241	<.001	-1.1501	-0.2694
	50	0.39761	0.18241	0.084	-0.0427	0.8380
50	30	-1.10739*	0.18241	<.001	-1.5477	-0.6670
	40	-0.39761	0.18241	0.084	-0.8380	0.0427

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

Tabla 17. Resumen de la prueba de Tuckey en el rendimiento en función a la concentración.

Subconjunto para alfa = 0.05			
Concentración (%)	N	1	2
50	18	55.7069	
40	18	56.1046	
30	18		56.8143
Sig.		0.084	1.000

En la tabla 16 y 17 se observa la prueba de tuckey, esta prueba nos va decir si hay o no significancia entre los tratamientos de la concentración conforme este vaya avanzando en función a su rendimiento para la obtención del carbón activado de *Simarouba amara* Aubl. (marupa); entonces esta prueba de tuckey según la tabla 9 y 10 nos está mostrando que hay defenecías altamente significativas entre el valor

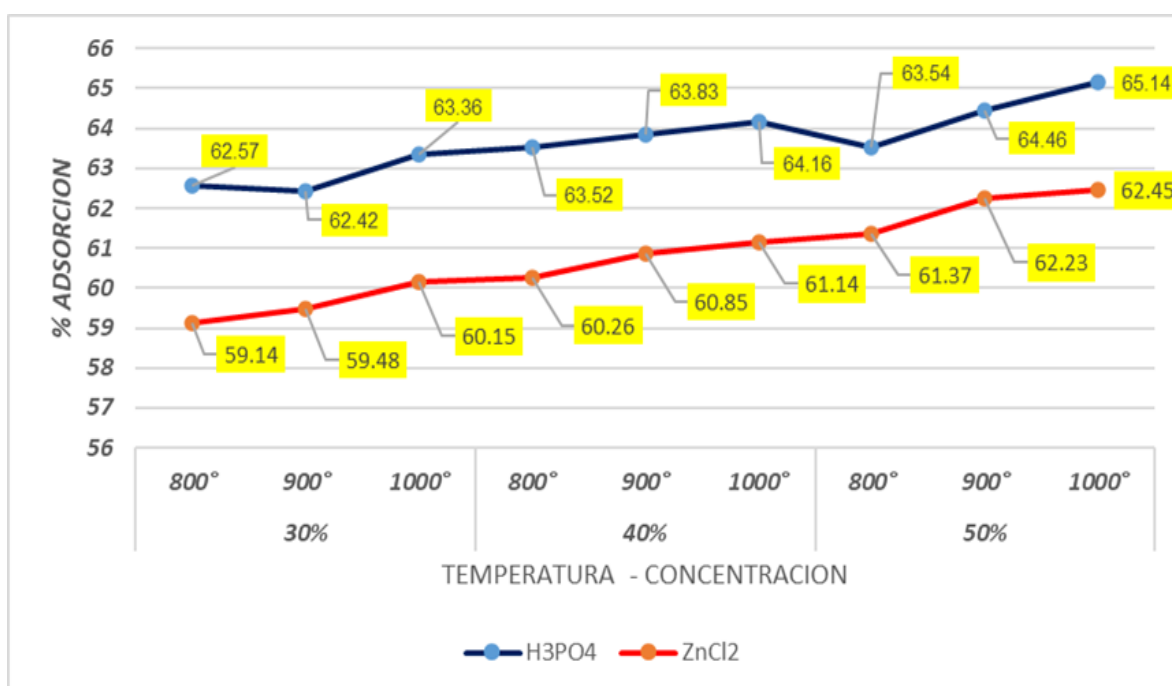
de 30% con los valores de 50% y 40%, mientras no hay diferencias significativas de las concentraciones 50% y 40% por eso la tabla 10 nos muestra 2 grupos individuales con respecto a los valores en promedio de porosidad en función al aumento de la temperatura. Todos estos valores mencionados no se asemejan a lo que encontré Arami-Niya et al. (2010) y Ould-Idriss et al. (2011), Sangay (2010), donde sólo alcanzó 56.81 %; igualmente para Zamora (2010) los valores oscilan entre 65 y 80%, mayores a los obtenidos en el presente estudio

4.4. Adsorción del carbón activado al azul de metilo con Ácido fosfórico (H_3PO_4) y Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) del carbón vegetal a partir del aserrín de madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa)

Tabla18. Promedio de adsorción del carbón activado según los tratamientos establecidos.

Concentración	Adsorción de Azul de Metilo								
	30%			40%			50%		
Activadores	800°	900°	1000°	800°	900°	1000°	800°	900°	1000°
H_3PO_4	62.57	62.42	63.36	63.52	63.83	64.16	63.54	4.46	65.14
$ZnCl_2$	59.14	59.48	60.15	60.26	60.85	61.14	61.37	2.23	62.45

Figura 4. Promedio de adsorción del carbón activado según los tratamientos establecidos.



Como se puede observar en la tabla N° 18 y figura 04 se tiene los valores de Adsorción de azul de metilo carbón activado a partir del aserrín de la madera de *Simarouba amara* Aubl. (marupa), a diferentes concentraciones, temperaturas y dos activadores que son el H₃PO₄ y ZnCl₂, donde la máxima adsorción para el primer activador se dan en una concentración de 50% y 1000° de temperatura con un valor de 65.14 % en promedio y su mínimo rendimiento se da en 30% de concentración y 800° de temperatura con un valor de 62.57% en promedio, a comparación del segundo activador su máximo rendimiento se da de manera similar a 1000° de temperatura y a una concentración de 50% muestra un valor de 62.45% en promedio, y su mínimo rendimiento se da en 30% de concentración y 800° de temperatura con un valor de 59.14% en promedio, en ambos caso se puede notar que al aumentar la concentración y temperatura aumenta la adsorción de azul

de metilo, siendo mínima la diferencia entre ambos activadores en diferentes puntos de la adsorción del carbón activado. Coincidiendo con lo que señala Velázquez-Trujillo et al. (2010). "Señalando que el reactivo utilizado se denomina agente activante; el tiempo que dura el proceso de carbonización y su temperatura reciben los nombres de tiempo de activación y temperatura de activación, respectivamente'. Además, se debe tener en cuenta lo que manifiesta (Alhamed 2006). Se debe de tener en cuenta que el agente activante y su concentración, la temperatura de activación y el tiempo de activación, influyen significativamente en la capacidad de adsorción de un carbón activado.

Tabla 19. Prueba de dos medias de muestras independientes de la adsorción de azul de metilo, en función a los dos activadores

<i>FV</i>	<i>GI</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>P Valor</i>	<i>Sig</i>
Activadores	52	1.399	0.02	0.081	0.095
(H₃PO₄)					N. S
(ZnCl₂)					

**: Diferencia altamente significativo.

En la tabla 19 se observa la prueba de dos medias de muestras independientes a la adsorción de azul de metilo mediante de dos activadores donde se puede ver que se confirma que estos activadores no tienen influencia o una diferencia significativa a la adsorción de azul de metilo; entonces se concluye que los valores son parecidos o iguales y muestran relación en adsorción al obtener del carbón activado de la madera de *Simarouba amara*

Aubl. (marupa). Corroborando con lo que menciona Velázquez-Trujillo et al. (2010).

Tabla 20. *Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de temperatura.*

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Entre grupos	36.550	2	0.00015	0.00049	0.001 NS
Dentro de grupos	124.613	51			
Total	161.163	53			

En la tabla 21 se observa la prueba el análisis de varianza de un factor AV1 a la adsorción de azul de metilo en función a la temperatura donde se puede ver que se confirma que los valores de temperaturas no tienen diferenciaaltamente significativa; donde se concluye que los valores de adsorción de azul de metilo son similares sometidas a diferentes temperaturas en relación en su rendimiento al obtener del carbón activado de *la madera de Simarouba amara* Aubl. (marupa)

Tabla 21. *Prueba de análisis de varianza de un factor (AV1) en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.*

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Entre grupos	36.550	2	18.275	7.479	0.001 **
Dentro de grupos	124.613	51	2.443		
Total	161.163	53			

En la tabla 21 se observa la prueba el análisis de varianza de un factor AV1 a la adsorción de azul de metilo en función a sus concentraciones donde se puede

ver que se confirma que los valores de concentración tienen diferencia altamente significativa; donde se concluye que los valores de adsorción de azul de metilo no son similares sometidas a diferentes concentraciones en relación en su rendimiento al obtener del carbón activado de *la madera de Simarouba amara* Aubl. (marupa). al persistir la significancia se realizará la prueba de medias de tuckey para confirmar esta diferencia significativa entre los valores de las medias.

Tabla 22. *Prueba de análisis de comparación de múltiple de medias de tuckey en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.*

(I) adsorción	(J) adsorción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
30%	40%	-1.10700	0.52104	0.095	-2.3648	0.1508
	50%	-2.01183*	0.52104	<.001	-3.2696	0.7540
40%	30%	1.10700	0.52104	0.095	-0.1508	0.3648
	50%	-0.90483	0.52104	0.202	-2.1626	0.3530
50%	30%	2.01183*	0.52104	<.001	0.7540	03.2696
	40%	0.90483	0.52104	0.202	-0.3530	2.1626

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

Tabla 23. *Resumen de comparación de múltiple de medias de tuckey en la adsorción de azul de metilo del carbón activado por tratamientos de concentraciones.*

Subconjunto para alfa = 0.05				
Adsorción	N	1	2	
30%	18	61.1879		
40%	18	62.2949	62.2949	
50%	18		63.1997	
Sig.		0.095	0.202	

En la tabla 23 y 22 se observa la prueba de tuckey, esta prueba nos va decir si hay o no significancia entre los tratamientos de la concentración conforme este vaya avanzando en función a su rendimiento para la obtención del carbón activado de Simarouba amara Aubl. (marupa); entonces esta prueba de tuckey según la tabla 21 y 22 nos está mostrando que hay defenecías altamente significativas entre el valor de 30% con los valores de 50% y 30%, mientras no hay diferencias significativas de las concentraciones 50%y40% por eso la tabla 24 nos muestra 2 grupos individuales con respecto a los valores en promedio de adsorción en función al aumento de la concentración. Todos estos valores mencionados no se asemejan a lo que encontró Arami- Niya et al. (2010) y Ould-Idriss et al. (2011), Sangay (2010), donde sólo alcanzó 56.81 %; igualmente para Zamora (2010) los valores oscilan entre 65 y 80%, mayores a los obtenidos en el presente estudio. Además, la cantidad y composición de las mismas puede influir en la adsorción y en ciertas propiedades del carbón activado. Es posible disminuir su presencia en el carbón mediante lavados con ácido, lo que se hace en el caso de procesos que se ven

afectados por ellas. Como ejemplo está el carbón activado granular que se utiliza en la recuperación de solventes del aire. Al tener un menor contenido de cenizas, aumenta su temperatura de ignición, disminuyendo el riesgo de que ésta suceda, debido a que las cenizas son óxidos de sodio, potasio y de otros metales, que actúan como chispa y provocan la ignición de la cama de carbón saturado. En el caso de tratamiento de agua, la desventaja fundamental de las cenizas consiste simplemente en que mientras mayor es su porcentaje, menor es la cantidad de carbón realmente efectivo. (Sevillano& Torres, 2013)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- El mayor rendimiento del carbón activado fue con Ácido Fosfórico (H_3PO_4) (50%) (1000 °C) con un valor promedio de 45,143%, a diferencia del Cloruro de Zinc (ZnCl_2) (40%) (1000 °C) con un valor promedio de 44,878%.
- La mayor porosidad del carbón activado fue con Ácido Fosfórico con el activador (H_3PO_4) (30%) (800 °C) con un valor promedio 57,390% a diferencia del Cloruro de Zinc (ZnCl_2) (30%) (800 °C) con un valor promedio de 56,869%.
- La mayor adsorción del carbón activado al azul de metilo fue con el activador (H_3PO_4) (50%) a una temperatura de 1000 °C, con un valor promedio de 65,143% a diferencia del (ZnCl_2) (50%) (1000 °C) con un valor promedio de 56,869%.
- En todos los tratamientos analizados en las variables de activadores, temperatura y concentración se obtuvo diferencias altamente significativas en sus valores de las medias para la obtención del carbón activado.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Realizar investigaciones similares para la utilización del aserrín como precursor del carbón activado para que de esta manera se pueda lograr una comparación entre las calidades de carbón activado evaluado por especie.
- Complementar la información sobre del carbón activado de marupa con otros estudios realizados.
- Establecer estándares de calidad del carbón activado para las diversas especies forestales de la Amazonía Peruana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, R., & Blanco, L. (2003). Composición química de *Tectona grandis* Laboratorio de Productos Forestales. *Costa Rica: Universidad de Costa Rica.*
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D., & Guerrero, V. (2015). Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto. . *Politécnica, Vol. 36, N° 3.*
- Barros, J. (2006). Alternativas de la Madera para la fabricación de tableros. *Planta industrial Rio Itata S. A. CL.*
- Bastidas, M., Buelvas, L., Marquez, M., & Rodriguez, K. (2010). Activated Carbon Production from Carbonaceous Precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Scielo, 1-5.*
- Blanco, J.; Bonelli, P.; Cerrella E.; Cukierman, A. (16 de marzo de 2021). Activación química de bagazo de caña de azúcar para la obtención de carbones activados. *Obtenido de* <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/1999/1999-t002-a011.pdf>
- Carballo, R. (1990). The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp". *Republica Eslovaca: Faculty of wood Technology, University College of Forestry and wood Technology.*
- Cárdenas, H. (2015). Evaluación del Carbón Activado Por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de *Copaifera*

reticulata(Copaiba). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal.

Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Chacalo, M. (1993). El árbol. Estructura y función. *Información Científica y Tecnológica*. 15 (207): 45 - 47.

Clarimex, S. (27 de octubre de 2020). ¿Qué es el carbón activado?

Correa, M., & Velásquez, J. (2009). Optimización de la producción de carbón activado de cáscara de coco mediante Steam Explosión. *Revista Investigaciones Aplicadas* N° 6, 1-3.

Donau, C. (28 de junio de 2021). Activated Carbon and its Applications. Obtenido de <https://www.donau-carbon.com/getattachment/76f78828-2139-496f-9b80-6b6b9bdc6acc/aktivkohle.aspx>

Doria, C., & Miranda, R. (2013). Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química. *Educación Química*.

Fachín, N. (2009). Determinación cualitativa y cuantitativa de los componentes químicos en corteza y madera de Croton lechleri (sangre de grado). Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. *Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y ambientales.*

FAO. (2010). Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia. *La paz*.

Fengel, D., & Wegener, G. (1984). *WOOD chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter. p: 28-65. Berlin, Alemania. Obtenido de <http://www.fao.org/>

Fonseca, M. (2006). Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) procedente de la Finca Río Frío, Tactic, Alta Veracruz. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. *Alta Veracruz: Universidad de San Carlos. Facultad de Ingeniería*.

Guevara, E. (2009). Determinación de los componentes químicos en la madera y corteza de *Chrisophyllum* sp (caimitillo) en Pucallpa. Tesis para optar el Título de Ingeniera Forestal. *Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales*. 55p.

Herrera, J., Morales, W., & Pérez, J. (2014). *Selección de un método para producir carbón activado utilizando cuatro especies forestales*. Facultad Nacional de Agronomía, 115.

ITINTEC. (1982). Norma Técnica Peruana para carbón activado. *Lima*.

Jiménez, E. (2012). *La contaminación ambiental en México*. México.

Loredo-Cancino, M. (2013). Determining optimal conditions to produce activated carbón from barley husks using single or dual optimization. *Journal of Environmental Management*.

Manahan, K. (2017). *Introducción a la química ambiental*.

Martínez, A. (2012). *DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO*. En M. d. Ariza, Carbon Activado (págs. 4-8). Villanueva de Gallego.

Morelli, M. (2000). *Estudio preliminar para la instalación de una planta de carbón activado para la minería a partir de la cáscara de café*. Tesis: Ing. Industrial. Lima. Lima.

Oliveira, C., & Panduro, C. (2010). Caracterización y evaluación del carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de Guazuma crinita Mart. Panduro, C. (2009). *Guía de práctica de transformación química de la madera-Pucallpa: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad Nacional de Ucayali*. 35 p.

Pilamonta, J. (2013). *Mejoramiento del carbón activado contaminado en el tratamiento del agua potable*. Quito, Ecuador.

Reinoso, F. (2015). *Carbón activado: Estructura, preparación y aplicaciones*. Unidades, 66-69.

Rodríguez, J. (2011). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Alfaomega.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010).

Construcción y manejo de hornos de ladrillo para fabricar carbón. En
Paquete de transferencia tecnológica (pág. 36). México. Sevilla, U.

(2016). Manual del carbón activado. España.

Uribe, L., López, M., & Gonzales, A. (2013). *Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmósfera inerte*. Revista Colombiana de Materiales N° 4, 25-40.

Vicente, H. (2006). Efecto de la temperatura de carbonización en el rendimiento y análisis del carbón obtenido a partir del aserrín de tres especies de Pucallpa. Pucallpa.

World Wildlife Fund (WWF). (1996). Guía de procesamiento industrial – Fabricación de muebles con maderas poco conocidas – LKS de la especie Marupa.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de datos

Tabla 24. Tratamientos con H_3PO_4 para el rendimiento y porosidad del carbón activado.

Tratamientos (H_3PO_4)								
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
42.6	43.4	43.4	42.71	43.62	44.14	43.4	44.3	45.1
42.5	43.4	43.5	42.72	43.63	44.13	43.4	44.3	45.1
42.6	43.4	43.5	42.71	43.62	44.13	43.4	44.3	45.1
57.3	56.5	56.5	57.28	56.37	55.85	56.5	55.6	54.8
57.4	56.5	56.4	57.27	56.36	55.86	56.5	55.6	54.8
57.3	56.5	56.4	57.28	56.37	55.86	56.5	55.6	54.8

Rendimien
to

POROSIDA
D

Tabla 25. Tratamientos con $ZnCl_2$ para el rendimiento y porosidad del carbón activado.

Tratamientos								
T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₈
43.1	43.28	43.1	43.4	44.5	44.8	44.17	44.2	44.44
43.1	43.27	43.1	43.4	44.5	44.8	44.16	44.2	44.46
43.0	43.29	43.1	43.4	44.5	44.8	44.14	44.2	44.45
56.8	56.71	56.8	56.5	55.4	55.1	55.82	55.7	55.55
56.8	56.72	56.8	56.5	55.4	55.1	55.83	55.7	55.53
56.9	56.7	56.8	56.5	55.4	55.1	55.8	55.7	55.54

Rendimie
nto

POROSID
AD

Tabla 26. *Tratamientos con H_3PO_4 para la adsorción del carbón activado al azul de metilo.*

Tratamientos								
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
62.	62.4	63.3	63.52	63.82	64.16	63.5	64.4	65.1
62.	62.4	63.3	63.52	63.83	64.16	63.5	64.4	65.1
62.	62.	63.3	63.51	63.82	64.16	63.5	64.	65.

**Adsorci
ón**

Tabla 27. *Tratamientos con $ZnCl_2$ para la adsorción del carbón activado al azul de metilo.*

Tratamientos								
T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₈
59.1	59.4	60.1	60.2	60.8	61.0	61.3	62.2	62.4
59.1	59.4	60.1	60.2	60.8	61.1	61.3	62.2	62.4
59.1	59.4	60.1	60.2	60.8	61.1	61.3	62.2	62.4

**Adsorci
ón**

Anexo 2. Figuras

Figura 5. *Carbonización del aserrín de Simarouba amara Aubl.*
(marupa)



Figura 6. *Determinación del rendimiento del carbón activado a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl.* (marupa)



Figura 7. *Determinación de la masa del carbón activado a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa)*



Figura 8. *Carbón activado con Ácido fosfórico (H_3PO_4) a partir del aserrín de Simarouba amara Aubl. (marupa)*



Figura 9. Carbón activado con Cloruro de Zinc (ZnCl_2) a partir del aserrín de *Simarouba amara* Aubl. (marupa).

