

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE
MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



“Obtención de carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto”

Tesis presentada por:

Bachiller: ZELA OCHOA, Julia Rosa

**Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Forestal y Medio
Ambiente**

**Asesor: M.Sc: RODRÍGUEZ
ACHATA, Liset.**

Puerto Maldonado, 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE
MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



“Obtención de carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto”

Tesis presentada por:

Bachiller: ZELA OCHOA, Julia Rosa

**Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Forestal y Medio
Ambiente**

Asesor: M.Sc: RODRÍGUEZ
ACHATA, Liset.

Puerto Maldonado, 2018

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a mis padres Mario Zela Mollinedo y Julia Ochoa Kea, por su confianza y apoyo moral, por ser parte de mi vida hoy y siempre.

Asimismo el cariño y consideración a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente durante todo el proceso de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Primero a todos los docentes de las diferentes especialidades de la UNAMAD quienes brindaron sus conocimientos hacia mi persona, en especial a los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

Esta investigación se concretó con el apoyo de personas e instituciones, mencionando el reconocimiento e infinito agradecimiento.

A mi asesora de tesis: MSc. Liset Rodriguez Achata. Con quien en forma incansable se logró culminar la investigación.

Al PhD. Percy Amilcar Zevallos Pollito, por su apoyo incondicional durante el proceso de investigación.

Al Vice Rectorado de la UNAMAD, que a través de fondos concursables de apoyo a la investigación subsidiaron parte de los gastos de la investigación.

Al personal del Laboratorio Regional Ambiental de la Universidad Amazónica de Madre de Dios, por su aporte para el desarrollo de la investigación hasta su culminación de la tesis.

Al personal del Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Amazónica de Madre de Dios. A cargo del responsable MSc Leif Armando Portal Cahuana, por su tiempo y contribución para el estudio microscópico de las maderas.

Al personal del Laboratorio de polímeros y bionanomateriales del grupo POLYCOM de la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde se realizaron las pruebas de caracterización de los materiales.

A la empresa Cardozo & Cardozo S.A.C, representado por su Gerente General Antonio Alberto Cardozo Mouzully quien brindo las facilidades para su ingreso a la empresa y poder obtener las muestras de las especies maderables de la presente investigación.

PRESENTACIÓN

El trabajo de investigación realizó el manejo de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto, de las especies Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms), Ana caspi (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr), Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) y Azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.), para transformarlas a carbones activados dándole valor agregado, los productos obtenidos fueron caracterizados en el Laboratorio de polímeros y bionanomateriales del grupo POLYCOM de la Pontificia Universidad Católica del Perú, financiado a través del proyecto “Aprovechamiento y transformación de desechos agro-forestales” mediante el convenio PUCP - PINIA – UNAMAD.

El procedimiento para la producción de carbón activado se llevó a cabo en un reactor de lecho fijo (equipo de regeneración de carbón activado) a escala piloto, empleando como agente activante vapor de agua, a presión autogenerada y tiempos de activación de 30, 45 y 60 minutos a 800°C para obtener carbón activado en polvo y tiempos de activación de 45, 60 y 90 minutos para obtener carbón activado granular, y establecer el tiempo y temperatura óptima del material con mayor área superficial, en la caracterización también se determinaron diferentes propiedades fisicoquímicas como densidad real, densidad aparente, pH del extracto acuoso, humedad, contenido de cenizas totales, materia volátil, porcentaje de porosidad, volumen de poro, determinación de grupos funcionales por espectroscopia infrarroja, índice de azul de metileno, tamaño de partícula y estado de cristalización por microscopia electrónica de rastreo.

RESUMEN

El trabajo tuvo por objetivo lograr carbones activados con buenas características adsorbentes dentro de las normas de calidad a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu de la Región Madre de Dios. Se obtuvieron dos tipos de carbones activados, carbón activado granular (CAG) y carbón activado en polvo (CAP) a nivel piloto utilizando vapor de agua como agente activante, a 800 °C. Obteniéndose el máximo rendimiento de carbón activado en polvo CAP con 30 minutos de activación para la especie Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) con un 68,38%, y para el CAG de la especie Ana caspi con 90 minutos de activación (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr) con un 69,36%. Los resultados de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) muestra que en el CAG de las diferentes especies presentaron baja polaridad a diferencia de los carbones activados en polvo que mostraron mayor polaridad. La capacidad máxima de adsorción para el carbón activado en polvo se obtuvo del precursor Azúcar huayo con 1117,5057 mg/g, y para el carbón activado granular del precursor Shihuahuaco con 1604,1065 mg/g, con tiempos de activación de 30 minutos y 45 minutos respectivamente. La activación de las cuatro especies directa con vapor de agua generó carbones activos granular y en polvo con alta contribución en microporos y macroporos, lo que los hace útiles para ser empleados en procesos de descontaminación de efluentes líquidos con alto contenido de colorantes.

Palabras clave: Shihuahuaco, Ana caspi, Estoraque, Azúcar huayo, Capacidad de adsorción, Tamaño de poro.

ABSTRACT

The principal work objective was to achieve activated carbons with good adsorbent characteristics within the quality standards based on timber residues from forestry activity in the province of Tahuamanu of the Madre de Dios Region. Two types of activated carbon, granular activated carbon (CAG) and powdered activated carbon (CAP) were obtained at pilot level using water vapor as an activating agent, at 800 ° C. Obtaining the maximum yield of activated carbon in CAP powder with 30 minutes of activation for the species Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) with 68.38%, and for the CAG of the species Ana caspi with 90 minutes of activation (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) JFMacbr) with 69.36%. The results of infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR) show that in the CAG of the different species they presented low polarity unlike the powdered activated carbons that showed greater polarity. The maximum adsorption capacity for powdered activated carbon was obtained from the Huahua Sugar precursor with 1117.5057 mg / g, and for the granular activated carbon from the Shihuahuaco precursor with 1604.1065 mg / g, with activation times of 30 minutes and 45 minutes respectively. The activation of the four species directly with water vapor generated granular and powdered active carbons with a high contribution in micropores and macropores, which makes them useful for being used in decontamination processes of liquid effluents with high dye content.

Key Words: Shihuahuaco, Ana caspi, Estoraque, Azúcar huayo, Adsorption capacity, Pore size.

INTRODUCCIÓN

Los carbones activados son adsorbentes muy porosos dependen principalmente del proceso de activación y de la naturaleza del precursor. Posee “un gran número de aplicaciones principalmente en la adsorción de diferentes partículas presentes en líquidos y gases, y uso en yacimientos de oro para la recuperación de este mineral” (Soto-Paredes, 2007). Se presenta la oportunidad de estudiar los residuos maderables de la actividad forestal como material precursor, y demostrar las características para obtener carbones activados a bajo costo, para diferentes aplicaciones y de buena calidad. “El gran desarrollo que ha experimentado el hombre durante las últimas décadas en busca de un nivel de vida mejor ha supuesto un aumento en el consumo de los recursos naturales y mayor producción de residuos de todo tipo” (Ariza 2012)

En la actualidad la reducción de residuos ha impulsado el desarrollo de tecnologías que permitan la conversión de estos a materiales a tener valor agregado, que sean no contaminantes y que generen pocos residuos. Entre estos residuos que permiten un beneficio se tiene a la biomasa

Los carbones activados obtenidos en este estudio poseen diferentes grupos funcionales dependiendo del material precursor. Las propiedades específicas que presentan nos permitieron definir un potencial uso en adsorción de determinadas moléculas o contaminantes en el agua, aire, o como soporte de nanopartículas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
PRESENTACIÓN.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4 Variable.....	3
1.4.1 Variable Independiente.....	3
1.4.2 Variable Dependiente	3
1.5 Operacionalización de variables	4
1.6 Hipótesis	5
1.6.1 Hipótesis general.....	5
1.6.2 Hipótesis específicas.....	5
1.7 Justificación e importancia	6
1.8 Consideraciones éticas	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9

2.1	Antecedentes de estudio.....	8
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	8
2.1.2	Antecedentes Nacionales	10
2.2	Marco Teórico	11
2.2.1	Residuos Maderables	11
2.2.2	Celulosa	11
2.2.3	Hemicelulosa.....	12
2.2.4	Lignina	12
2.2.5	Carbón Activado.....	12
2.2.12.	Adsorción.....	16
2.2.13.	Regeneración	17
2.2.15.	Caracterización fisicoquímica de los carbones activados.....	18
2.3.	Conceptos Básicos	21
2.3.1	Secado.....	21
2.3.2	Carbonización	21
2.3.3	Molienda y tamización.....	21
2.3.4	Activación.....	22
	CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	23
3.1	Tipo de estudio.....	23
3.1.1	Tipo y nivel de investigación	23
3.1.2	Localización Geográfica.....	24
3.2	Población y Muestra.....	27
3.3	Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	28
3.4	Métodos y técnicas	28
3.4.1	Métodos de análisis	28
3.4.2.	Técnicas e Instrumentos.....	29

3.5	Procedimiento de análisis de datos.....	43
3.5.1	Fase Gabinete.....	43
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		46
4.1	Resultados del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado.....	46
4.1.1	Porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular.....	46
4.1.2	Porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo	47
4.2	Resultados de la densidad real de las muestras de carbón activado	49
4.2.1	Densidad real de las muestras de carbón activado granular	49
4.2.2	Densidad real de las muestras de carbón activado en polvo.....	50
4.3	Resultados de la densidad aparente de las muestras de carbón activado.....	50
4.3.1	Densidad aparente de las muestras de carbón activado granular.....	51
4.3.2	Densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo... ..	52
4.4	Resultados de pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado.....	53
4.4.1	pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular.....	53
4.4.2	pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo	54
4.5	Resultados del porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado.....	56

4.5.1	Porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular.....	56
4.5.2	Porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo	57
4.6	Resultados del porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado.....	59
4.6.1	Porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular.....	59
4.6.2	Porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo	61
4.7	Resultados del porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado.....	62
4.7.1	Porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular.....	62
4.7.2	Porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo	64
4.8	Resultados de la capacidad de adsorción: Índice de azul de metileno	65
4.8.1	Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Ana caspi.....	66
4.8.2	Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Azúcar huayo	70
4.8.3	Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Estoraque.....	73
4.8.4	Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Shihuahuaco	76
4.9	Resultado de las micrografías.....	79
4.9.1	Resultados de las micrografías de los poros de la madera de cuatro especies forestales maderables.....	79

4.9.2	Resultados de las micrografías de las muestras de carbón activado granular CAG de cuatro especies forestales maderables	80
4.9.3	Resultados de las micrografías de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables	82
4.10	Resultados de la espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado.....	83
4.10.1	Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado granular.....	83
4.10.2	Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado en polvo	85
CONCLUSIONES		88
SUGERENCIAS.....		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		90
ANEXOS.....		95
Anexo 1: Matriz consistencia		95
Anexo 2: Solicitud de autorización para realización de estudio		97
Anexo 3: Ficha de validación		100
Anexo 4: Certificación taxonómica.....		101
Anexo 5: Registro fotográfico de la secuencia de la investigación.....		103
Anexo 6: Tablas de los análisis de las muestras de carbón activado		113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Matriz de operacionalización de la variable de estudio	4
Tabla 2.	Relación de empresas madereras de la provincia de Tahuamanu.....	24
Tabla 3.	Codificación de los carbones activados con vapor de agua.....	45
Tabla 4.	ANOVA del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG.....	46
Tabla 5.	Prueba Tukey para el porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG.....	47
Tabla 6.	ANOVA del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	48
Tabla 7.	Prueba Tukey para el porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	48
Tabla 8.	ANOVA para densidad real de las muestras de carbón activado granular CAG.....	49
Tabla 9.	ANOVA para densidad real de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	50
Tabla 10.	ANOVA para densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG.....	51
Tabla 11.	Prueba Tukey para la densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG.....	52
Tabla 12.	ANOVA para densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	52
Tabla 13.	ANOVA para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG.....	53
Tabla 14.	Prueba Tukey para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG.....	54

Tabla 15. ANOVA para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP	55
Tabla 16. Prueba Tukey para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP	55
Tabla 17. ANOVA para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG	56
Tabla 18. Prueba Tukey para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG	57
Tabla 19. ANOVA para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP	58
Tabla 20. Prueba Tukey para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP	58
Tabla 21. ANOVA para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG	59
Tabla 22. Prueba Tukey para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG	60
Tabla 23. ANOVA para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP	61
Tabla 24. Prueba Tukey para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP	62
Tabla 25. ANOVA para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG	63
Tabla 26. Prueba Tukey para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG	63
Tabla 27. ANOVA para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP	64
Tabla 28. Prueba Tukey para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP	65

Tabla 29. Tiempo óptimo de decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado granular CAG (malla 20)	65
Tabla 30. Tiempo óptimo de decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado en polvo CAP (malla 200)	66
Tabla 31. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Ana caspi.....	67
Tabla 32. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Ana caspi.....	69
Tabla 33. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Azúcar huayo.....	70
Tabla 34. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Azúcar Huayo	72
Tabla 35. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Estoraque	73
Tabla 36. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Estoraque	75
Tabla 37. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Shihuahuaco.....	76
Tabla 38. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Shihuahuaco.....	78
Tabla 39. Matriz consistencia de lógica del trabajo de investigación “Obtención de carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto”.....	95
Tabla 40. Datos del rendimiento de carbón y carbón activado granular CAG y en polvo CAP.....	124
Tabla 41. Análisis estadístico descriptivo del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG.....	114

Tabla 42. Datos del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG.....	113
Tabla 43. Análisis estadístico descriptivo del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP	114
Tabla 44. Datos del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	115
Tabla 45. Análisis estadístico descriptivo de la densidad real de las muestras de carbón activado granular CAG.....	126
Tabla 46. Datos de densidad real (DR) de las muestras de carbón activado granular CAG	115
Tabla 47. Análisis estadístico descriptivo para la densidad real de las muestras de carbón activado en polvo CAP	116
Tabla 48. Datos de densidad real (DR) de las muestras de carbón activado en polvo CAP	116
Tabla 49. Análisis estadístico descriptivo para densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG	116
Tabla 50. Datos de densidad aparente (DA) de las muestras de carbón activado granular CAG.....	117
Tabla 51. Análisis estadístico descriptivo para densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo CAP	117
Tabla 52. Datos de densidad aparente (DA) de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	117
Tabla 53. pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG	117
Tabla 54. Datos de pH de las muestras de carbón activado granular CAG.....	118
Tabla 55. pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP	118

Tabla 56. Datos de pH de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	118
Tabla 57. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG.....	118
Tabla 58. Datos de porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG.....	119
Tabla 59. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	119
Tabla 60. Datos de porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	119
Tabla 61. Datos de porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG.....	119
Tabla 62. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG.....	120
Tabla 63. Datos de porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	120
Tabla 64. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	120
Tabla 65. Datos de porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG.....	121
Tabla 66. Datos de porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	121
Tabla 67. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP.....	121
Tabla 68. Diámetros de los poros de las muestras de madera de cuatro especies forestales maderables.....	133
Tabla 69. Diámetros de los poros de las muestras de carbón activado granular CAG de cuatro especies forestales maderables.....	122

Tabla 70. Diámetros de los poros de las muestras de carbón activado en polvo CAP de cuatro especies forestales maderables	122
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un carbón activado.....	13
Figura 2. Representación esquemática de la estructura de un carbón activado.....	13
Figura 3. Gránulo de carbón activado.....	14
Figura 4. Principales grupos funcionales en la superficie de un carbón activado.....	15
Figura 5. Ubicación del Aserradero Cardozo & Cardozo (punto de muestreo... ..)	27
Figura 6. Diagrama de flujo de obtención del carbón activado.....	43
Figura 7. Carbón activado granular CAG de la especie Ana caspi, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	68
Figura 8. Carbón activado en polvo CAP de la especie Ana caspi, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	69
Figura 9. Carbón activado granular CAG de la especie Azúcar huayo, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	71
Figura 10. Carbón activado en polvo CAP de la especie Azúcar huayo, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	72
Figura 11. Carbón activado granular CAG de la especie Estoraque, ajuste a la isoterma de Langmuir.	74
Figura 12. Carbón activado en polvo CAP de la especie Estoraque, ajuste a la isoterma de Langmuir.	75
Figura 13. Carbón activado granular CAG de la especie Shihuahuaco, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	77
Figura 14. Carbón activado en polvo CAP de la especie Shihuahuaco, ajuste a la isoterma de Langmuir.....	79

Figura 15. A. Micrografía 35X de los poros de la madera de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).	80
Figura 16. A. Micrografías de las muestras de carbón activado granulado CAG de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).....	81
Figura 17. Micrografías de las muestras de carbón activado en polvo CAP de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).	83
Figura 18. Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado granular CAG de cuatro especies forestales maderables.	85
Figura 19. Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado en polvo CAP de cuatro especies forestales maderables.	87
Figura 20. Solicitud de permiso para el acceso a la empresa Cardozo & Cardozo S.A.C.	97
Figura 21. Autorización de Empresa para la recolección de muestras.	98
Figura 22. Constancia de análisis realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú de las muestras de carbón activado.	100

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

En la provincia del Tahuamanu de la región de Madre de Dios existen empresas madereras que vienen trabajando con madera de alta densidad como Shihuahuaco, Ana Caspi, Estoraque y Azúcar huayo donde aprovechan entre el 80 % a 60% de la madera con características importantes para la fabricación de carbón vegetal, el 20 % en algunos casos es aprovechada para la fabricación de carbón vegetal y en la mayoría de los casos es parte de la biomasa que se va degradando produciendo gases y olores desagradables por lo tanto va generando problemas ambientales.

Estos volúmenes de materia orgánica sin valor comercial y desperdiciada durante décadas en las empresas madereras de la selva sur del Perú pueden ser incorporadas a un mercado altamente industrializado (medicina, estética, industria alimentaria, etc.) a través de la transformación de los residuos maderables en carbón vegetal mediante procesos de carbonizado y activación con medios físicos favorables al medio ambiente para la obtención del carbón activado, el cual tiene alto valor comercial en el mercado nacional e internacional, por lo que nos planteamos la siguiente pregunta:

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿De los residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto se podrán obtener carbones activados con buenas características adsorbentes?

1.2.2 Problemas Específicos

P-1: ¿Se podrá obtener carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu a partir de activación física con vapor de agua?

P-2: ¿existen diferencias en las propiedades fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales de carbón activado granular y en polvo, obtenido de residuos maderables de las 4 especies?

P-3: ¿Existirá diferencias entre la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies?

P-4: ¿Cuál será la calidad de los carbones activados obtenidos comparando con las normas técnicas ASTM "American Society for Testing and Materials"?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Obtener carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu a partir de activación física con vapor de agua.

- Caracterizar los carbones activados obtenidos mediante técnicas fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales.
- Comparar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies.
- Evaluar la calidad de los carbones activados obtenidos comparando con las normas técnicas ASTM “American Society for Testing and Materials”.

1.4 Variable

1.4.1 Variable Independiente

X: Residuos maderables

1.4.2 Variable Dependiente

Y: Carbón activado

1.5 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Carbón activado.	La estructura del carbón activado “está constituida por un conjunto irregular de capas de carbono, con espacios que constituyen la porosidad” (Martínez de Yuso 2012). “La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de los procesos de carbonización y activación utilizados” (Martínez de Yuso 2012).	El carbón activado granular y en polvo tienen propiedades fisicoquímicas, morfológicas, mecánicas y térmicas características.	Propiedades fisicoquímicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • pH • Densidad aparente • Densidad real • Cenizas • Materia volátil • Capacidad de adsorción
			Propiedades morfológicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura del material con Microscopía óptica • Imagen directa de la estructura con Microscopía electrónica de barrido (SEM) • Espectro de los tamices moleculares de carbón con Microscopía de absorción infrarroja (FTIR)

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable de estudio

Fuente: Elaborado por la tesista en base al soporte teórico, 2018.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

La obtención de carbones activados mediante una técnica ecológica a partir de residuos maderables de la actividad forestal de la provincia del Tahuamanu presenta buenas características adsorbentes dentro de las normas de calidad de este producto.

Hipótesis alterna

Hi: El carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal de la provincia del Tahuamanu mediante activación física con vapor de agua presenta niveles de eficiencia y calidad.

Hipótesis nula

Ho: El carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal de la provincia del Tahuamanu mediante activación física con vapor de agua carece de niveles de eficiencia y calidad.

1.6.2 Hipótesis específicas

H-1: Es posible obtener carbón activado granular y carbón activado en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu a partir de activación física con vapor de agua

H-2: Los carbones activados granular y en polvo obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies presentan características fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales similares.

H-3: Las capacidades de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies son similares.

H-4: Los carbones activados obtenidos presentan características similares a las establecidas por las normas técnicas ASTM (American Society for Testing and Materials).

1.7 Justificación e importancia

Los carbones activados son adsorbentes muy porosos que para su producción dependen de la naturaleza del precursor y del proceso de activación. Los métodos por los cuales se obtienen carbones activados, pueden ser físico o químico, siendo la activación física la más amigable para el medio ambiente. Dentro del contexto de búsqueda de materiales locales, en la preparación de carbones activados, se ha considerado los residuos de la actividad forestal, actividad notable en la provincia de Tahuamanu de la Región Madre de Dios, debido a que solo el 80% y en el peor de los casos el 60% de la madera es utilizada con fines industriales, algunas empresas parte de los residuos utilizan para la obtención de carbón vegetal, por lo que entre el 40% y 20% de la madera es desechada. Así, se justifica seguir ampliando los estudios de otros precursores así como las variables de activación física (tiempo y temperatura) y observar su influencia en la calidad del producto.

El aporte técnico fundamentalmente consiste en la obtención de los carbones activados por método físico con vapor de agua en un equipo de regeneración de carbón activado, teniendo en cuenta la relación de tiempo y temperatura de activación. Además es importante, el aporte de los ensayos de capacidad de adsorción de los carbones con azul de metileno y la caracterización de los que se seleccionen de cada serie, el volumen de poro y la determinación de la química superficial por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FT-IR. El otro aporte es el análisis de su morfología mediante Microscopía Electrónica de Barrido, mediante el cual se tendrá un mejor entendimiento de las propiedades adecuadas como precursor de carbón activado y obtención de un producto de calidad que pueda ser introducido en el mercado nacional e internacional.

En la Provincia del Tahuamanu, como sub-producto de la explotación forestal que realizan las empresas madereras se tiene una alta disponibilidad de materia prima de bajo costo que pueden ser utilizados en la fabricación de carbon activado de calidad; el cual puede tener

aplicaciones en las industrias de la región Madre de Dios (minería aurífera y en el tratamiento de líquidos residuales).

En Perú, alrededor del 90% del carbón activado que se consume es de origen importado, el 10% restante corresponde a producción nacional de tipo artesanal. Viendo los niveles de importación de países asiáticos, “se observa que existe un notable mercado potencial a quien ofrecer el producto, teniendo en cuenta que para llegar a estos mercados se debe ofrecer un precio competitivo” (Soto-Paredes, 2007).

Por otra parte Latinoamérica presenta “un gran nivel de actividad minera, principalmente Perú, esta industria representa un mercado potencial del carbón activado ya que en yacimientos de oro y plata los métodos más utilizados para la recuperación de oro involucran el uso de carbón activado” (Sevillano y Torres, 2013). Por lo que en el aspecto económico permitirá generar una nueva actividad comercial a las empresas madereras del sector, debido a que pondrán más valor agregado a una materia prima que no es aprovechada al 100%, siendo considerado como residuo, y en muchos casos esta biomasa es abandonada en los bosques húmedos de la región sin representar valor financiero para ellos.

1.8 Consideraciones éticas

La nueva ley forestal y de fauna silvestre (Ley N° 29763), (MINAGRI 2015), en el artículo 152, establece que, el derecho “al desarrollo de actividades de investigación científica, realizadas por instituciones académicas y de investigación, públicas, que contribuyan al conocimiento de la biodiversidad, su conservación, manejo y uso sostenible; además del intercambio, publicación y difusión de resultados”. Asimismo, El SERFOR “coordina con el Ministerio de la Producción los mecanismos o herramientas necesarios para asegurar el origen legal del producto forestal que ingresa a los centros de transformación secundaria” (MINAGRI 2015).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Andrade Valera (2016), estudió “la producción de Carbón activado a partir de la Caña guada (*Guadua angustifolia K.*) mediante activación química con hidróxido de potasio (KOH)”. Realizó la caracterización de este material precursor donde “determino que su estructura tiene un porcentaje de carbono fijo del 15,5% y una composición química del 31,1% de lignina, 41,1% de celulosa y 21,1% de hemicelulosa” (Valera 2016). Determinó que la temperatura y el tiempo óptimos de carbonización para este precursor fueron de 600°C y 2 horas respectivamente, obteniendo un producto que contiene 83,3% de carbono fijo a escala de laboratorio. Realizó también otra prueba a escala piloto donde el tiempo óptimo fue de 30 minutos para 5 kg de caña guada a 600°C y un factor de lambda λ de 0,9 obteniéndose 74,9% de carbono fijo. (Andrade Valera (2016).

Rincon Silva Nelson (2016), “obtuvo carbón activado granular a partir de diferentes precursores lignocelulósicos (cáscara de semillas de eucalipto, pino y hueso de durazno) y su evaluación en la capacidad de adsorción de contaminantes fenólicos”. Utilizó “el método de activación química empleando como agente impregnante ácido sulfúrico al 30 % v/v” (Rincon Silva Nelson 2016). Los productos obtenidos se

caracterizaron mediante la Fisisorción de N₂ empleando el método BET en la que obtuvo valores entre 358 y 418 m²/g, evaluó la capacidad de adsorción de fenol y clorofenol donde reporta valores entre 0,34 y 0,63 cm³/g. Mostró que los carbones obtenidos presentan carácter ácido, que confirmó “los valores de pH en el punto de carga cero, donde presentó correlación con la naturaleza del agente activante 32,26 - 58,82 mg/g” (Rincon Silva Nelson 2016).

Asimbaya et al (2015) “obtuvieron carbón activado a partir de 3 tipos de aserrín de madera: laurel, canelo y eucalipto, mediante activación química”. Utilizaron activación química donde impregnaron “el aserrín con ácido fosfórico H₃PO₄ al 40 % w/w en proporción 1:1, el material carbonizaron a 500 °C durante 2 h y finalmente sometieron a un proceso de lavado para eliminar los residuos de ácido y alcanzar un pH neutro” (Asimbaya et al., 2015). Asimbaya et al (2015) obtuvieron “el mayor rendimiento con el laurel (29,3 %) para un tamaño de partícula mayor a 2 mm, mediante microscopía electrónica de barrido observaron las estructuras porosas que se formaron a partir del proceso de activación”.

Prías-Barragán et al. (2011) “identificaron las variables óptimas encontradas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia* Kunth”. Prías-Barragán et al. (2011) “utilizaron una temperatura de carbonización de 300°C durante 1h, la impregnación con el agente activante realizó a una temperatura de 110°C durante 15 horas, encontraron un mejor desempeño con el ácido fosfórico (H₃PO₄)”. Asimismo, Prías Barragán et al. (2011) “propusieron que para muestras de carbón con altos niveles de material volátil se produjo carbón activado con alta capacidad de adsorción en procesos de decoloración con azul de metileno”.

Bastidas et al. (2010), “realizaron la producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia”. En este trabajo “se efectuó el montaje de una unidad

experimental de activación para la obtención de carbones activados a partir de carbón bituminoso, endocarpio de coco y endocarpio de palma” (Bastidas et al. 2010). Bastidas et al. (2010) encontraron que “el carbón activado obtenido a partir del endocarpio de coco, alcanzó la mayor área superficial BET de 1 200 m²/g, y adsorbió la mayor cantidad de fenol”. Bastidas et al. (2010) concluyeron que “el contenido de grupos básicos en el material adsorbente y su microporosidad son factores determinantes para la adsorción de fenol”.

Velázquez-Trujillo, Bolaños-Reynoso y Pliego-Bravo (2010), para la producción de carbón activado a partir de bambú (*Bambusa vulgaris striata*). Velázquez-Trujillo, Bolaños-Reynoso y Pliego-Bravo (2010) “optimizaron las condiciones de producción utilizando la metodología de superficie de respuesta con un diseño compuesto central para identificar los factores de temperatura (T) y de tiempo (t) de activación que amplifica el área superficial del carbón activado” y utilizaron como agente activante el vapor de agua”. Velázquez-Trujillo et al. (2010) realizaron la “caracterización del carbón obtenido bajo condiciones óptimas, utilizando Normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y el método químico de Bohem para identificar grupos funcionales superficiales”.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Sun-Kou et al. (2014), estudiaron “la adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje, utilizaron ácido fosfórico H₃PO₄ como agente activante en dos concentraciones diferentes: 0,75 y 1,0 g H₃PO₄/g de precursor”. Los productos obtenidos utilizaron en la adsorción de tres metales pesados: plomo, cadmio y cromo. La máxima capacidad de adsorción lograda fue utilizando el carbón activado con soluciones de pH mayor a 4; con valores en el siguiente orden: plomo (74,8 mg g⁻¹), cadmio (26,5 mg g⁻¹), cromo (18,8 mg g⁻¹). Sun-Kou et al. (2014) concluyen que “los

factores más importantes que influyeron en el proceso de adsorción fueron el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado”.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Residuos Maderables

Los residuos maderables están constituidos principalmente por materiales lignocelulósicos. Según Kuhad y Singh (como se cito en Andrade Valera 2016) “Todos estos materiales constituyentes de la biomasa están compuestos por 3 polímeros naturales: celulosa, hemicelulosa y lignina”, por ello, el uso del material lignocelulósico, procedente de los residuos forestales, como fuente de energía renovable está permitido y no representa una amenaza a la cadena alimenticia del hombre por no formar parte de ella.

“La composición de los materiales lignocelulósicos es de vital importancia en los procesos de carbonización y pirólisis ya que a partir de su composición se puede predecir el rendimiento de la materia en estos procesos” (Andrade Valera 2016 pag. 10).

Según Basu (como se cito en Andrade Valera 2016) cabe destacar que la pared celular está mayormente compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. El porcentaje en que se encuentran estos tres componentes depende del lugar donde crecieron los árboles aprovechados, esto quiere decir que las condiciones ambientales propias del lugar influyen en el desarrollo de la planta y por ende de su composición química y estructura física de la madera.

2.2.2 Celulosa

Según Basu (como se cito en Andrade Valera 2016) La celulosa es el polímero natural más abundante en la Tierra, y forma parte de la estructura primaria de las paredes celulares vegetales. Posee un gran peso molecular, de cadena larga y con alto grado de polimerización,

con fórmula genérica $(C_6H_{10}O_5)_n$. La celulosa “posee una estructura cristalina con cientos de unidades de glucosa, es altamente insoluble y no es digerible por humanos a pesar de ser un carbohidrato, la madera está compuesta entre 40% al 44% de celulosa en base seca”.

2.2.3 Hemicelulosa

Según Basu (como se cito en Andrade Valera 2016). La hemicelulosa es también componente estructural de las paredes celulares vegetales. Presenta una estructura aleatoria muy débil y amorfa. La hemicelulosa “es un heteropolisacárido con cadenas ramificadas y con un grado de polimerización bajo, su fórmula genérica es $C_5H_8O_4$, la composición y estructura de la hemicelulosa es muy variable y depende de la fuente de origen”.

2.2.4 Lignina

“La lignina es un polímero complejo altamente ramificado. La lignina es el segundo polímero orgánico más abundante en la naturaleza, superado solo por la celulosa y además es el tercer componente estructural de la madera” Según Basu (como se cito en Andrade Valera 2016).

El monómero mayoritario en la estructura de la lignina es el benceno, al que va ligado varios grupos como metoxilo, hidroxilo y propil, que a su vez se enlazan con otros. Una de las fórmulas moleculares estándar conocidas es $(C_{10}H_{12}O_3)_n$, según Altawel (como se cito en Andrade Valera 2016)

2.2.5 Carbón Activado

Según Martínez de Yuso (2012) “un carbón activado está constituido por microcristales elementales, y lo componen estructuras bidimensionales de planos hexagonales de átomos de carbono” (Figura 1).

Según Martínez de Yuso (2012) Los carbones activados “son no grafitizables, debido a este ordenamiento al azar de las capas y al

entrecruzamiento entre ellas no se pueden transformar en grafito por un tratamiento térmico por encima de los 3 000°K a presión atmosférica o menor”.

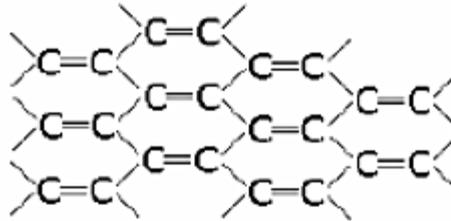


Figura 1. Estructura de un carbón activado.

“Esta estructura del carbón activado, constituida por un conjunto irregular de capas de carbono con espacios producidos por los huecos creados por el plegamiento de las capas, es lo que constituye la porosidad” (Figura 2) (Martínez de Yuso 2012).



Figura 2. Representación esquemática de la estructura de un carbón activado.

2.2.6. Propiedades físicas y químicas de los carbones activados

Los carbones activados son macroscópicamente desordenados sin embargo tienen dominios microcristalinos con un grado de ordenamiento. Según Martínez De Yuso (2012) “La activación del carbón implica la desaparición de carbono de los espacios situados entre las formaciones cristalográficas, son compuestos de carbono no organizado, haciendo que se formen pequeños espacios entre las partículas denominados poros”. Esta estructura porosa interna, “tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, confiere a los carbones activados su principal característica, su gran capacidad adsorbente” (Martínez De Yuso 2012).



Figura 3. Gránulo de carbón activado.

Aunque los principales responsables de la adsorción en un carbón activado son los microporos según Lillo, Cazorla y Linares (como se cita en Martínez de Yuso 2012), ya que son los que aportan el mayor área de adsorción, “los mesoporos y macroporos son igualmente importantes, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos”.

En la Figura 4 “se muestran una representación esquemática de los grupos superficiales más importantes que pueden encontrarse en un carbón activado” (Salazar y Rodríguez).

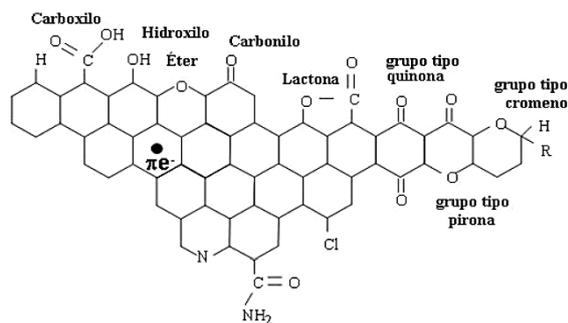


Figura 4. Principales grupos funcionales en la superficie de un carbón activado.

“Un carbón puede ser globalmente ácido o básico, esto dependerá de la concentración de estos grupos y de la fuerza como ácido o base de los mismos” (Martínez de Yuso 2012). Sin duda, “el contenido de heteroátomos también puede modificar las propiedades ácido-base de las disoluciones que se ponen en contacto con el carbón, aumentando la acidez superficial”, posibilitando su actuación como catalizador (Martínez de Yuso 2012). Así, “Optimizar la porosidad y la química superficial de un carbón activado puede resultar complicado debido a la interrelación de ambas propiedades” (Martínez de Yuso 2012).

2.2.7. Obtención del carbón activado

“Para la preparación de carbones activados se pueden utilizar una gran variedad de materiales orgánicos, denominados precursores, ricos en carbono. Los más comunes son del tipo celulósico o lignocelulósico, utilizados tanto para aplicaciones en fase líquida como en fase gaseosa” según Patnukao y Pavasant (como se cito en Martínez de Yuso 2012).

Residuos de la agricultura, huesos de frutas, cáscaras de fruta, cáscara de arroz, semillas, maderas, restos de madera de una planta aserradera o de carbón etc., así como también diversos tipos de carbón principalmente bituminosos y subbituminosos, celulosas comerciales o lignina. La elección de estos precursores se da en función a sus características, calidad de carbón que se quiere obtener, disponibilidad y costo.

2.2.8. Activación física con dióxido de carbono y vapor de agua

Para esto se utilizan gases como el vapor de agua o el dióxido de carbono CO₂, “los mismos que actúan como catalizadores y reaccionan con el beta-grafito (sitios activos de carbón), para destapar poros obstruidos y también para formar nuevos poros” (Valera 2016).

2.2.9. Carbón activado granular CAG

“Es el que se suele obtener tras la activación convencional de carbones minerales o carbonizados, también puede proceder de gránulos obtenidos por extrusión de mezcla de precursores de carbones activos, suelen presentarse en términos relativos en un tamaño grande” (Recobert 2015).

2.2.10. Carbón activado en polvo CAP

“Se obtiene tras la molienda de partículas de carbón activado CA y tamizado del mismo; dado su pequeño tamaño, presenta una elevada relación superficie/volumen particular, lo que da lugar a una pequeña distancia de difusión” (Recobert 2015).

2.2.11. Adsorción

La adsorción “es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos” (Rendon et al 2011). Estas fuerzas de atracción “son conocidas como fuerzas de Van Der Waals, por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie, mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser” (Rendon et al 2011). La adsorción “se define como la remoción, por adherencia, de las impurezas (líquidos, gases, materia suspendida, coloides, moléculas, átomos e iones disueltos) de la sustancia en la superficie (que incluye poros o superficie interna) del sorbente (interface entre las dos fases)” (Rendon et al 2011).

Fisorción: “Ésta es la más común para el caso de carbón activado, en este tipo de adsorción no existe intercambio de electrones entre

adsorbente y adsorbato, lo que permite que el proceso sea reversible” (Sevillano y Torres 2013).

Quimisorción: según Sevillano y Torres (2013), “esta es menos frecuente, “este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas de adsorbato y del adsorbente”.

2.2.12. Regeneración

Según Martínez De Yuso (2012) “la estructura gráfica del carbón activado hace que este sólido sea muy estable bajo condiciones distintas; resiste temperaturas elevadas, no se ve afectado por ácidos, álcalis ni por muy diversos solventes aunque reacciona con oxidantes fuertes”. Basados en estas propiedades, “existen métodos llamados reactivación o de regeneración, con los que se pueden eliminarse adsorbatos de diversa naturaleza y sustancias orgánicas e inorgánicas depositadas en la superficie del carbón, según Budinova y otros autores” (como se cito en Martínez De Yuso 2012).

2.2.13. Reactivación con vapor de agua

Según Martínez De Yuso (2012), “consiste en hacer circular vapor de agua a través de la cama de carbón, sin permitir que éste se condense; de esta manera se desorben moléculas orgánicas con una volatilidad menor o aproximadamente igual a la del agua es decir”.

La reactivación con vapor de agua “es un método muy utilizado para recuperar solventes de carbones que los adsorbieron de una corriente de aire, ya que las moléculas desprendidas mantienen su estructura original” (Martínez De Yuso 2012). según Martínez De Yuso (2012 “la máxima presión a la que se maneja el vapor de una manera práctica es de 8 kg/cm² (absoluta), a la que se le corresponde una temperatura de cerca de 170°C”.

2.2.14. Caracterización fisicoquímica de los carbones activados

- **Humedad**

“Se determina como pérdida de peso de agua, asumiendo que esta es la única materia volátil presente en el carbón activado y es expresado como % muestra seca con respecto a la humedad original” (Lazo Camposano 2015 p. 126).
- **pH**

Según Ferradas y Trujillo (2013), “la capacidad de adsorción aumenta, con aquellas condiciones de pH que aumentan la solubilidad del adsorbato y es frecuente que un pH ácido facilite la adsorción sobre carbón activado”.
- **Densidad aparente**

“Es el peso en g/cm^3 de carbón totalmente seco en aire, es decir incluye el volumen de los poros y el de los espacios entre las partículas” (García *et al.* 2017).
- **Densidad real**

“Es el peso en gramos por centímetros cúbicos cuando el carbón es llevado al volumen mínimo” (Lazo Camposano 2015 p. 126).
- **Cenizas**

“Las cenizas constituyen el inerte del carbón. En la mayoría de los casos las cenizas solubles en agua son componente las de mayor consideración” (Ferradas y Trujillo 2013).
- **Materia volátil**

“Esta propiedad se puede definir como la cantidad de combustible que el carbón posee, entre más alto el contenido de volátiles y carbón fijo más combustible tiene el carbón para quemar” (Guardado, Rodríguez y Monge 2010 p. 20-36).

- **Capacidad de adsorción**
Según Lazo (2015 p. 126), “es la propiedad más importante del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción, esta puede ser evaluada por la decoloración de las soluciones que contengan un tinte”.
- **Tamaño de poro**
“La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción” (Ferradas y Trujillo 2013).
- **Imagen directa de la estructura con Microscopía electrónica de barrido (SEM)**
Según Martínez (2012 p. 280), “mediante esta técnica es posible visualizar y caracterizar la microestructura de los catalizadores a través del estudio de superficies. Desde la muestra se generan distintos tipos de señal que se utilizan para examinar muchas de sus características”.
- **Espectro de los tamices moleculares de carbón con Microscopia de absorción infrarroja (FTIR)**
Según Paredes (2011), “con la técnica de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) se puede estudiar la química superficial y realizar la determinación de los grupos funcionales en los carbones activados”.

“La espectroscopía infrarroja es una técnica analítica ampliamente utilizada que permite la identificación y semi-cuantificación de los grupos funcionales presentes en los carbones activados” (Martínez De Yuso 2012).

2.2.15. Ana Caspi

La especie (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr), de nombre común “Ana caspi”, pertenece a la familia Fabaceae. Su hábito, árbol que llega a medir de 20-30 m de altura total, con diámetro de hasta 100

cm, de fuste cilíndrico o cónico. *Ana caspi* tiene una madera de densidad dura y pesada, en la albura el color es amarillo y marrón amarillento en el duramen cuando seca, es considerada de buena calidad (Dueñas y Nieto 2010).

2.2.16. Azúcar Huayo

La especie (*Hymenaea courbaril* L.) de nombre común “Azúcar huayo/ huayo grande”, pertenece a la familia Fabaceae. Su hábito es, árbol prominente, con una altura total de 20-40 m, con un diámetro de hasta 200 cm; de fuste cilíndrico o cónico y ramificación simpódial desde el segundo tercio. La madera es de densidad dura y pesada y “es utilizada para muebles, parquet, paneles decorativos, obras de ebanistería, en la construcción es utilizada como vigas, columnas, puentes; además para mangos de herramientas” (Dueñas y Nieto 2010).

2.2.17. Estoraque

La especie (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) de nombre común “Estoraque”, pertenece a la familia Fabaceae. Su hábito es, árbol grande de 20-40 m de altura total con un diámetro de 45-100 cm y de fuste cilíndrico – recto, y de ramificación simpodial, desde el segundo tercio. Su raíz es sin modificación, de base recta. Sus hojas son compuestas, alternas, imparipinnadas, dispuestas en espiral; el pecíolo mide de 1-3 cm de longitud, el raquis cilíndrico y delgado; cada hoja posee de 3-9 pares de folíolos de 5-10 cm de longitud y 2,5-4 cm de ancho; folíolos oblongos a elípticos enteros. Tiene una madera de densidad dura y pesada, es de buena calidad, de gran durabilidad. De grano recto a entrecruzado, textura media a gruesa, la albura color crema y el duramen rojizo. Por último, “se le aprecia para parquet y para elementos de la construcción que requieren mucha resistencia y perduración” (Dueñas y Nieto 2010).

2.2.18. Shihuahuaco

La especie (*Dipteryx micrantha* Harms), de nombre común “Shihuahuaco”, pertenece a la familia Fabaceae. Su hábito es, árbol grande dominante, con diámetros que varían entre 45-150 cm y con una altura total de 20-35 m, “de fuste cilíndrico o cónico y ramificación simpodial desde el segundo tercio; Su corteza externa presenta, lenticelas de color marrón claro a grisáceo, ritidomas de forma irregular que al desprenderse lentamente en placas aisladas dejan huellas impresas” (Dueñas y Nieto 2010). Finalmente, sus usos potenciales son para “estructuras de construcción civil, puentes y durmientes, parquet, mangos de herramientas, muebles y chapas decorativas, es además resistente a la humedad y a los ataques biológicos” (Dueñas y Nieto 2010).

2.3. Conceptos Básicos

2.3.1 Secado

“El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo” (McCabe, Smith y Harriott 1991 p. 1112).

2.3.2 Carbonización

“Es el proceso de calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de aire. El proceso se dirige hacia la obtención del producto sólido resultante carbonizado” (Hernandez 2012, p. 144).

2.3.3 Molienda y tamización

“Es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. Las partículas más pequeñas son deseables por su gran superficie o bien por su forma, tamaño y número” (McCabe, Smith y Harriott 1991, p. 1112).

2.3.4 Activación

“Consiste en una reacción gas-sólido de gasificación a altas temperaturas, donde gases oxidantes (agentes activantes) reaccionan con los átomos de carbono del carbonizado” (Yuso Ariza 2012), extrayéndolos de la estructura como CO o CO₂. Los agentes activantes que se han empleado son “el dióxido de carbono, el vapor de agua y el oxígeno (aire), a temperatura entre 700-1000°C, durante tiempos que pueden oscilar entre 12 horas a unos 30 minutos” según Ishizaki & Marti (como se citó en Martínez de Yuso Ariza 2012).

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

3.1.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es APLICADA según Hernandez *et al.* (2017), porque resolvimos problemas de gestión de biomasa residual de especies maderables Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms), Ana caspi (*Apuleia leiocarpa* (Vogel)J.F.Macbr), Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) y Azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.), dándole un valor agregado al convertirlo en carbones activados.

- **Diseño de la Investigación**

El diseño de investigación es EXPERIMENTAL, donde se evaluó el uso de biomasa residual de especies maderables Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms), Ana caspi (*Apuleia leiocarpa* (Vogel)J.F.Macbr), Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) y Azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.) y su efecto en las propiedades de los carbones activados producidos.

- **Nivel de Investigación**

La investigación está enmarcada en el nivel EXPLICATIVO, la composición química de la biomasa residual de especies maderables tiene efecto en la calidad de los carbones activados producidos.

- **Método de investigación**

El método de investigación que se utilizó fue el CUANTITATIVO, porque la variable propiedades de los carbones activados es medible y objetiva.

- **Unidad de análisis**

Carbones activados producidos:

- a) Carbón activado en polvo (CAP).
- b) Carbón activado granular (CAG).

3.1.2 Localización Geográfica

La Provincia del Tahuamanu, forma parte del departamento de Madre de Dios, junto con las provincias de Manu y Tambopata y está ubicada en el extremo Nororiental del departamento, limita al Noroeste con el departamento de Ucayali y al Norte y Este con las Repúblicas de Brasil y Bolivia, respectivamente. Geográficamente, el territorio de la provincia Tahuamanu, se encuentra enmarcado entre los 09° 52´40" de latitud Sur y 72°10´44" longitud Oeste y cuenta con una extensión territorial estimada de 21 196,86 Km², que representa el 24,8% de la superficie departamental.

Corresponde al piso altitudinal de: Bosque Húmedo sub – tropical de terraza baja, coincidentemente, además se encuentra delimitado por la línea de frontera con la República de Brasil y la República de Bolivia. Destacan entre sus actividades más importantes la explotación, de la Shiringa, que se viene dando desde el año de 1932.

Una de las actividades importantes es la forestal, que ha iniciado un nuevo modelo de aprovechamiento forestal sostenible que busca desarrollar una industria forestal competitiva, ambiental, social y económicamente viable.

A continuación, se muestra en la tabla 2 la relación de empresas madereras quienes se encuentran realizando un modelo de aprovechamiento forestal y de donde se recolectarán las diferentes muestras de residuos maderables según su producción:

Tabla 2. *Relación de empresas madereras de la provincia de Tahuamanu*

NOMBRE Y APELLIDO	CARGO	EMPRESA QUE REPRESENTA	DIRECCION	OBSERVACIONES
NELSON KELSON KROLL	GERENTE GENERAL	MADERERA RIO ACRE SAC.	IÑAPARI	
LIANG LAMEI	GERENTE GENERAL	NATURE WOOD PERU SAC.	IÑAPARI	
XIAO DONG	GERENTE GENERAL	MADERERA RIO YAVERIJA SAC.	IÑAPARI	
BRIGIG BARRA BARDALES	GERENTE GENERAL	ASERRADERO SHUSTER E.IRL.	IÑAPARI	
RUTH MARIZA PRADA RAMOS	GERENTE GENERAL	FORESTAL GEMINIS E.I.R.L.	IÑAPARI	
JOSE GALLEGO CARDOZO MONZULLY	GERENTE GENERAL	CARDOZO Y CARDOZO SAC.	IÑAPARI	
CARLOS VINICIO RIGO NICO	GERENTE GENERAL	MADERERA CANALES TAHUAMANU SAC	IÑAPARI	
RUBENS SAMUEL CARDOZO MONZULLY	GERENTE GENERAL	PLANTA DE TRANSFORMACION DE PRODUCTOS MADERABLES	IÑAPARI	
SANDRO CARDOZO MONZULLY	GERENTE GENERAL	EMPRESA GRUPO CARDOZO SAC.	IÑAPARI	
MARIO DANIEL ALPACA CAMPOS	GERENTE GENERAL	MADERERA DE EXTRACION Y COMERCIALIZACION IBERIA SAC	IÑAPARI	
NILDA MADELEY ESPINOZA LOPEZ	GERENTE GENERAL	NILDA MADELEY ESPINOZA LOPEZ	IÑAPARI	
JONEL HUMBERTO CACHAY BLANCO	GERENTE GENERAL	INDUSTRIAL MADERERA BLANCO SAC	LA NOVIA	
CORIONE HUMBERTA MAURICO MUÑOZ	GERENTE GENERAL	INDUSTRIA DE MADERA Y AFINES MATISA E.I.R.L.	IBERIA	
JOSE DIEGO CARDOZO MORI	GERENTE GENERAL	CORPORACION FORESTAL IÑAPARI E.I.R.L.	IBERIA	KILOMETRO 06
GUANGHUI XU	GERENTE GENERAL	E Y T FORESTAL SAC.	IBERIA	KILOMETRO 04
VICTORIO DE DEA PEÑA	GERENTE GENERAL	FORESTAL OTORONGO SAC.	ALERTA	MARANGUAPE 02
YANELIT GUILIANA GRIFA SAHUARICO	GERENTE GENERAL	YANELIT GUILIANA GRIFA SAHUARICO	ALERTA	

GLEN SHIPPER GUERIVICH	GERENTE GENERAL	ALEMANIA SAC.	ALERTA	
HECTOR WILFREDO PILARES ALVARES	GERENTE GENERAL	FORESTAL RIO AZUL	ALERTA	
ALEJANDRO LOBO ASOYAC	GERENTE GENERAL	ALAMAC E.I.R.L	ALERTA	
VICTOR ESPINOZA PORRA	GERENTE GENERAL	ASERRADERO ESPINOZA SAC	ALERTA	
XIAOHU ZHAO(IRMO RORIGUEZ)	GERENTE GENERAL	SKY WOD PERU SAC.	ALERTA	
JUAN CARLOS AGUILAR MENDOZA	GERENTE GENERAL	JUAN CARLOS AGUILAR MENDOZA	IBERIA	
WILLIAM ROJAS VASQUEZ	GERENTE GENERAL	WILLIAM ROJAS VASQUEZ	IBERIA- MIRAFLORES	
ELENA VILLACORTA MAYTANO	GERENTE GENERAL	ELENA VILLACORTA MAYTANO	IBERIA	
BENIGNO OTÁROLA GAMBOA	GERENTE GENERAL	BENIGNO OTÁROLA GAMBOA	IBERIA	
GUEDY CARNEYRO HUAMAN	GERENTE GENERAL	GUEDY CARNEYRO HUAMAN	IBERIA	

Fuente: Control forestal y de fauna silvestre en el centro poblado de "El Triunfo", 2016

De esta relación se trabajó con la empresa **CARDOZO & CARDOZO SAC.**

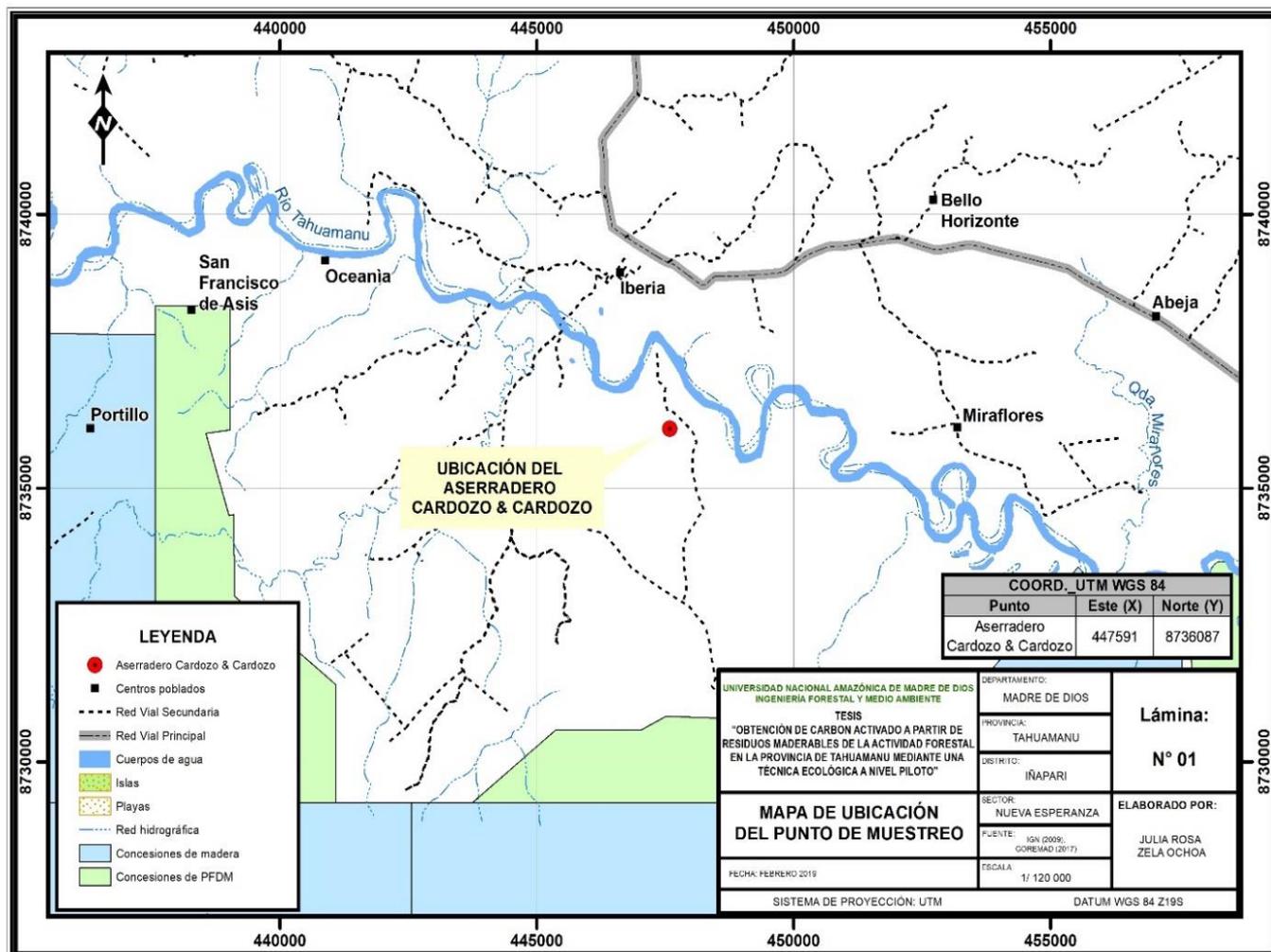


Figura 5. Ubicación del Aserradero Cardozo & Cardozo (punto de muestreo).

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Ocho carbones activados producidos, carbón activado granular CAG y carbón activado en polvo CAP, a partir de las especies: Ana caspi (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr), Azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.), Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) y Shihuhuaco (*Dipteryx micrantha* Harms).

Donde el tamaño de la población fue igual al tamaño de la muestra:

$$N = 8$$

3.3 Ubicación de los Puntos de Muestreo

El muestreo fue intencional donde se tomó una muestra representativa de la población. Según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), se muestrearán un kilo de cada muestra por el método del cuarteo.

3.4 Métodos y técnicas

La técnica de selección de muestra que se utilizó fue no probabilística, por conveniencia. Se colectaron residuos maderables de cuatro especies (*Dipteryx micrantha*, *Apuleia leiocarpa*, *Myroxylon balsamum* y *Hymenaea courbaril*). Se obtuvieron dos tipos de carbón activado (carbón activado granular y carbón activado en polvo).

Se realizaron 3 repeticiones para cada una de las pruebas fisicoquímicas de los carbones activados, tanto polvo como granular.

3.4.1 Métodos de análisis

El procedimiento para la producción de carbón activado se llevó a cabo en un reactor de lecho fijo (equipo de regeneración de carbón activado) a escala piloto, empleando como agente activante vapor de agua, a presión autogenerada y tiempos de activación de 30, 45 y 60 minutos a 800°C para obtener carbón activado en polvo y tiempos de activación de 45, 60 y 90 minutos para obtener carbón activado granular, para establecer el tiempo óptimo en que se obtiene el material con mayor capacidad de adsorción, en la caracterización también se determinarán los siguientes parámetros fisicoquímicos: densidad real, densidad aparente, pH del extracto acuoso, humedad, contenido de cenizas totales, materia volátil, porcentaje de porosidad, volumen de poro, determinación de grupos funcionales por espectroscopia infrarroja, índice de azul de metileno, tamaño de partícula y estado de cristalización por microscopia electrónica de rastreo.

3.4.2. Técnicas e Instrumentos

Preparación de la materia prima

Materiales e Instrumentos:

Estufa

Procedimiento:

El muestreo de los precursores se realizó según la norma ASTM C 702, por cuarteo. La primera tarea al recibir una muestra es cuartearla, es decir, dividirla en diferentes partes igualmente representativas. Para que los ensayos sean válidos, las diferentes proporciones de muestra que se tomaron para ensayar tuvieron los mismos rangos. Es importante realizar un cuarteo correcto para obtener resultados coherentes.

Limpieza y fragmentación

Previo al secado se realizó la limpieza y fragmentación de las muestras.

Secado

Materiales e Instrumentos:

- Estufa QUIMIS
- Bandejas de acero inoxidable.

Procedimiento:

El secado se realizó en el Laboratorio Ambiental Regional, donde se utilizó la estufa a una temperatura de 100°C durante un periodo de 24 horas.

Carbonización

Materiales e Instrumentos:

- Mufla QUIMIS
- 10 Crisoles de porcelana con tapa.

- Campana desecadora.

Procedimiento:

La carbonización se realizó en el Laboratorio Ambiental Regional de la UNAMAD, realizado en una mufla a una temperatura de 500°C y durante 15 minutos, para eliminar las sustancias volátiles y evitar la formación de cenizas.

Molienda y Tamizado

Materiales e Instrumentos:

- Mortero de porcelana
- Botellas de vidrio colectoras de muestra
- Tamiz malla N° 200 ASTM E11 LABORATORY TEST SIEVE
- Tamiz malla N°20 ASTM E11 LABORATORY TEST SIEVE

Procedimiento:

Se trituraron las diferentes muestras en morteros de porcelana.

El tamizado se realizó en el laboratorio Ambiental Regional de la UNAMAD, donde se utilizaron los tamices de malla N° 200 y N°20, para carbón activado en polvo CAP y carbón activado granular CAG, respectivamente.

El carbón vegetal así preparado se guardó en botellas de vidrio colectoras de muestra.

Activación

Materiales e Instrumentos:

- Equipo de regeneración de carbón activado (Reactor de lecho fijo, bomba peristáltica Baoding longer precisión pump modelo SK-BQ 50, termostato y manómetro).
- Balanza analítica de 0,1 mg de precisión AS 220.R2.
- Placas petri de vidrio.
- Estufa

Procedimiento

Se realizó en el laboratorio de Ambiental Regional de la UNAMAD, el proceso se inició colocando el controlador de temperatura a 800°C y los tiempos de activación fueron de 30, 45 y de 60 minutos para obtener carbón activado en polvo CAP y 45, 60 y 90 para la preparación del carbón activado granular CAG, y así conseguir el tiempo óptimo de activación.

La activación del carbón se inició al llegar a la temperatura de 800°C como se muestra en la Figura 6, durante el tiempo correspondiente se suministró vapor de agua, una vez que terminó el tiempo de activación se retiró el suministro de vapor de agua, y el carbón activado obtenido en cada corrida se secó en la estufa durante 4 horas a 105°C.

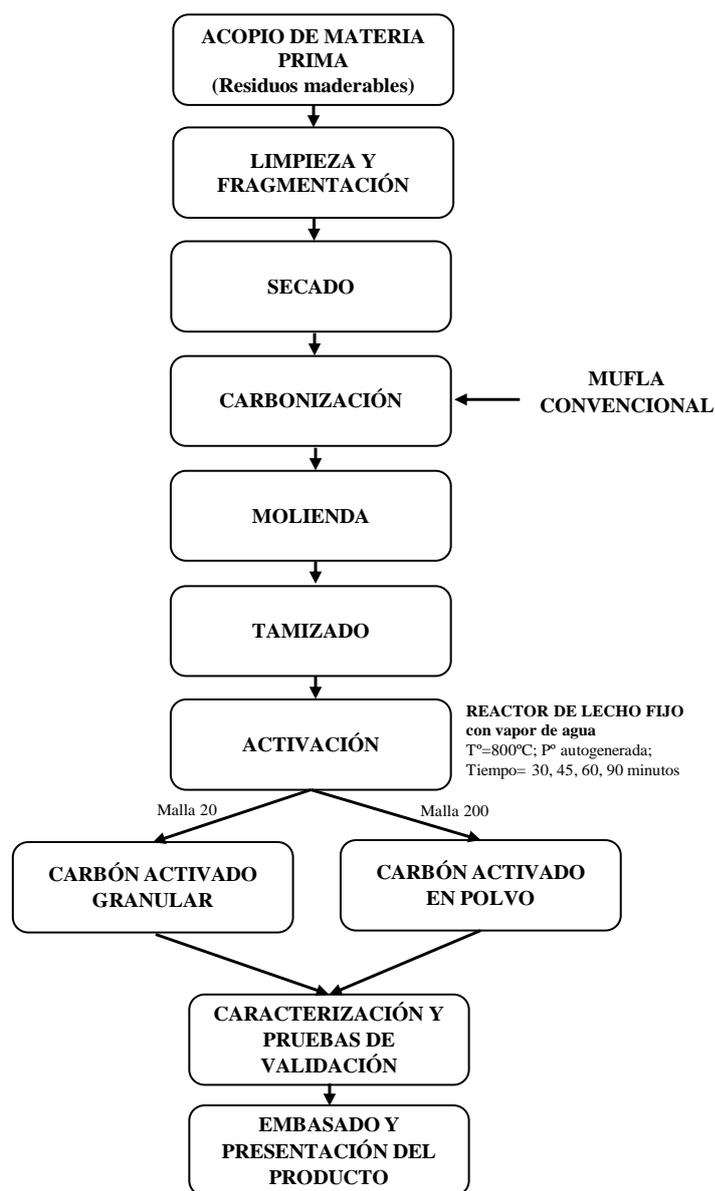


Figura 6. *Diagrama de flujo de obtención del carbón activado*

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los carbones activados obtenidos a partir de cuatro especies de residuos maderables Shihuahuaco, Ana caspi, Estoraque y Azúcar huayo, a diferentes tiempos de activación tanto para el carbón activado granular como para el carbón activado en polvo, como se detalla a continuación:

A. Determinación del rendimiento del carbón activado

Materiales e Instrumentos:

- Estufa QUIMIS.
- Mufla QUIMIS.
- Balanza analítica de 0,1 mg de precisión AS 220.R210
- Cápsulas de porcelana.
- Tamiz malla N° 200 ASTM E11 LABORATORY TEST SIEVE
- Tamiz malla N°20 ASTM E11 LABORATORY TEST SIEVE

Procedimiento:

Se pesó 500 g de precursor (Residuos maderables), se procedió a determinar la humedad del precursor por diferencia de pesos, después de obtener un peso constante una vez secado en la estufa. Se prosiguió con el proceso de carbonización a 500°C, seguido de la molienda y tamización, y finalmente la activación a 800°C. (Tabla 40 anexo 6)

El rendimiento se determinó utilizando la siguiente expresión:

$$Y_c = \frac{M_c}{M_w} \times 100$$

Donde:

Y_c = rendimiento de carbón activado en base seca

M_c = masa de carbón activado obtenido

M_w = masa del precursor utilizado

B. Determinación del pH del carbón activado.

Materiales e Instrumentos:

- Vaso de precipitados de 250 mL.
- Piceta con agua ultrapura.
- Balanza Analítica de 0,1 mg de precisión AS 220.R210

- Pipeta.
- Papel watman N°2.
- Embudo de vidrio
- Matraz erlen meyer de 250 mL.
- pH-metro Metrohm

Procedimiento:

- Se midió 100 mL de agua destilada en un matraz y se transfirió a un vaso de precipitados de 250 mL. Se pesaron 2,22 g de carbón con precisión de 0,1 mg. Se vertió el carbón pesado en el vaso de precipitados que contenía los 100 mL de agua destilada, se agitó suavemente para asegurar que todo el carbón se encuentre en contacto con el agua. Se hizo hervir la suspensión durante 2 min, se filtró por gravedad en papel de poro medio (Watman N° 2). Se enfrió la solución a temperatura ambiente. A continuación, “se verificó la calibración del medidor de pH, se enjuago el electrodo con agua destilada y se dio lectura del pH; Se registró el pH leído directamente del equipo. Adaptación de la NORMA ASTM D3838 – 05 (Reapproved 2017).

C. Determinación de humedad

Materiales e Instrumentos:

- Estufa QUIMIS.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210
- 4 Cápsulas de porcelana

Procedimiento:

Se determinó por medio de la norma DIN 51718 usando una estufa de convección. Se determinó la humedad analítica, con muestras de 1g de masa de CAG o CAP, pesadas con precisión de 0,1 mg. Las muestras se calentaron a una temperatura de $100 \pm 1^\circ\text{C}$, hasta no detectar variaciones de masa de la muestra.

El porcentaje de humedad se determinó según la siguiente expresión:

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

Donde:

P_i = peso inicial en gramos de CAP o CAG

P_f = peso final en gramos de CAP o CAG después del secado

Por ejemplo, a partir de los residuos de la especie Shihuahuaco se obtuvieron datos del porcentaje de humedad, como se detalla:

Carbón activado en Polvo

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1 \text{ g} - 0,9372 \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 6,28 \%$$

Carbón activado granular

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1 \text{ g} - 0,9739 \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 2,61 \%$$

D. Determinación del porcentaje de cenizas

Materiales e Instrumentos:

- Mufla QUIMIS.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210
- 4 crisoles de porcelana

Procedimiento:

Se prepararon muestras de $1 \pm 0,1$ g con precisión de 0,1 mg, con tamaño de grano menor a 0,2 mm según lo indica la norma DIN 57701-3. Para la prueba se establece un calentamiento con tasa constante hasta $500 \pm 10^\circ\text{C}$, en 1 hora. Luego se calentaron las muestras hasta $815 \pm 10^\circ\text{C}$ y se sostuvo por 1 hora. La norma DIN en 14775 establece un calentamiento inicial hasta 250°C en un tiempo de 30 a 50 minutos.

El porcentaje de cenizas se expresa:

$$\% \text{ de Cenizas} = \left[\frac{W_1 - W_2}{W} \right] \times 100$$

Donde:

W_1 = peso del crisol con muestra calcinada

W_2 = peso del crisol vacío

W = peso de la muestra

Por ejemplo, a partir del carbón activado de la especie de shihuahuaco se obtuvieron datos del porcentaje de cenizas, como se detalla:

Carbón activado en Polvo

$$\% \text{ de Cenizas} = \left[\frac{33,5043 \text{ g} - 33,4223 \text{ g}}{1 \text{ g}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ de Cenizas} = 8,20 \%$$

Carbón activado granular

$$\% \text{ de Cenizas} = \left[\frac{33,5043\text{g} - 33,4187}{1\text{g}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ de Cenizas} = 8,56 \%$$

E. Determinación del porcentaje de materia volátil

Materiales e Instrumentos:

- Mufla QUMIS.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210
- 4 crisoles de porcelana

Procedimiento:

Se realizó según el procedimiento indicado en la norma DIN 517250. Esta prueba sirve como un estándar de comparación de la disposición del combustible para ser gasificado. Para esta prueba se pesaron muestras de $1 \pm 0,1$ g con precisión de 0,1 mg y tamaño de grano menor a 0,2 mm. El horno se precalentó a 900°C y se dejó estabilizar la temperatura; luego se introdujo las muestras, después de 7 minutos se retiró del horno, se dejó enfriar por 3 minutos y se introdujo al desecador, hasta que llegó a la temperatura ambiente. Finalmente se volvió a pesar.

Para determinar el porcentaje de materia volátil se utilizan las expresiones:

$$\text{Pérdida de peso } \% = \left[\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \right] \times 100$$

Donde:

m_1 = peso del crisol

m_2 = peso del crisol + muestra

m_3 = peso del crisol + muestra después de calentar

Por ejemplo a partir del carbón activado de la especie shihuahuaco se obtuvieron datos del porcentaje de materia volátil, como se detalla:

Carbón activado en Polvo

$$\text{Pérdida de peso \%} = \left[\frac{34,3500 \text{ g} - 33,8913 \text{ g}}{34,3500 \text{ g} - 33,3500 \text{ g}} \right] \times 100$$

$$\text{Pérdida de peso \%} = 16,06\%$$

$$\% \text{ Materia volátil} = \% \text{ de pérdida de peso} - \% \text{ de Humedad}$$

$$\% \text{ Materia volátil} = (16,06 - 6,28)\%$$

$$\% \text{ Materia volátil} = 9,78\%$$

Carbón activado granular

$$\text{Pérdida de peso \%} = \left[\frac{34,3500 \text{ g} - 33,8913 \text{ g}}{34,3500 \text{ g} - 33,3500 \text{ g}} \right] \times 100$$

$$\text{Pérdida de peso \%} = 12,08 \%$$

$$\% \text{ Materia volátil} = \% \text{ de pérdida de peso} - \% \text{ de Humedad}$$

$$\% \text{ Materia volátil} = (12,08 - 2,61)\%$$

$$\% \text{ Materia volátil} = 9,47\%$$

F. Determinación de la densidad aparente.

Materiales e Instrumentos:

- Probeta de 25 mL
- Tapón de jebe.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210

Procedimiento:

Se pesó cuidadosamente (con aproximación a 0,01 g) aproximadamente 10 g del carbón activado. Se traspasó con cuidado una tercera parte de la muestra pesada a una probeta graduada de 10 mL, se apisonó suavemente con una almohadilla de caucho o un tapón y se agregó más carbón activado hasta que se transfirió toda la muestra. Se comprimió por 5 min más y a continuación por períodos de 2 min hasta que ya no hubo más asentamiento. Se observó el volumen del carbón activado asentado.

El cálculo de la densidad aparente se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm³): Adaptación de la NORMA ASTM D2854 – 09 (Reapproved 2014).

Los cálculos se realizaron utilizando la expresión:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{peso de la muestra en gramos} \times (100 - \% \text{ humedad})}{\text{volumen de la muestra en centímetros cúbicos} \times 100}$$

Por ejemplo, a partir de los residuos de la especie Shihuahuaco se obtuvieron datos de densidad aparente, como se detalla:

Carbón activado en Polvo

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{10,00 \text{ g} \times (100 - 6,28)}{16,06 \text{ cm}^3 \times 100}$$

$$\text{Densidad Aparente} = 0,58 \text{ g/cm}^3$$

Carbón activado granular

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{10,00 \text{ g} \times (100 - 2,61)}{34,41 \text{ cm}^3 \times 100}$$

$$\text{Densidad Aparente} = 0,28 \text{ g/cm}^3$$

G. Determinación de la densidad real

Materiales e Instrumentos:

- Fiola de 10 mL.
- Piceta con agua destilada.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210

Procedimiento:

Se pesó una fiola limpia y seca, se introdujo la muestra de Carbón Activado para ser pesado. Se agregó agua a la fiola hasta cubrir la muestra y se calentó lentamente en baño maría con agitación, durante 15 minutos. Se afora para pesarla nuevamente. (Paredes 1989).

La densidad real se expresa utilizando las siguientes expresiones:

$$V_R = \frac{m_s + M_p - M_q}{\rho_l}$$

Donde:

m_s = masa del sólido

M_p = masa del picnómetro + agua hasta enrase

M_q = masa del picnómetro + muestra + agua hasta enrase

ρ_l = volumen del picnómetro

Por ejemplo, a partir del carbón activado de la especie shihuahuaco se obtuvieron datos de densidad real, como se detalla:

Carbón activado en Polvo

$$V_R = \frac{1+(13,8574-13,8300)}{10}$$

$$V_R = 0,9933 \text{ cm}^3$$

$$D_R = \frac{m_s}{V_R}$$

Donde:

D_R = densidad real

m_s = masa del sólido

V_R = volumen real

$$D_R = \frac{1 \text{ g}}{0,9933 \text{ cm}^3}$$

$$D_R = 1,0067 \text{ g/cm}^3$$

Carbón activado granular

$$V_R = \frac{1+(13,8574-13,8300)}{10}$$

$$V_R = 1,0274 \text{ cm}^3$$

$$D_R = \frac{m_s}{V_R}$$

Donde:

D_R = densidad real

m_s = masa del sólido

V_R = volumen real

$$D_R = \frac{1 \text{ g}}{1,0274 \text{ cm}^3}$$

$$D_R = 1,0021 \text{ g/cm}^3$$

H. Determinación de Capacidad de adsorción - Índice de azul de metileno

Materiales e Instrumentos:

- 5 Fiolas de 10 mL.
- Piceta con agua destilada.
- Balanza Analítica con precisión de 0,1 mg AS 220.R210
- Probeta de 10 mL
- Espectrofotómetro DR5000.
- Papel Watman
- Embudo
- Agitador magnético

Reactivos:

- Solución patrón de 100 ppm de Azul de metileno

Procedimiento:

Se preparó la solución madre pesando 0,85 g de azul de metileno, el que se disolvió con 100 mL de ácido acético y luego se aforo con agua destilada hasta completar 1 litro, se dejó reposar toda la noche, de esta solución madre se tomaron 10 mL que diluyeron con agua destilada en una fiola de 100 mL a esta solución se le denominó "Solución A". De la solución A se tomaron 10 mL y se diluyeron con agua destilada en una fiola de 100 mL, a la que se le denominó "Solución B". Esta solución B sirvió para preparar las diluciones de 10, 15, 20, 25 y 30 ppm y realizar la curva patrón de la que se dio lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 665 nm en el espectrofotómetro DR5000. Se añadió 0,03 g de carbón activado a cada una de las soluciones de azul de metileno (cada tubo de ensayo se cubrió con tapón de goma para su respectiva agitación), se colocaron los tubos de ensayo en la gradilla para que finalmente se ponga sobre el agitador magnético durante 30 minutos, después de este tiempo se filtró y se dio lectura de la absorbancia final en el espectrofotómetro DR5000, Adaptación de la NORMA D3860 – 98 (Reapproved 2014).

I. Medición del tamaño de poros por microscopía electrónica de rastreo

El análisis por “Microscopía Electrónica de Rastreo SEM”, se realizó en el Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se utilizó un microscopio Scanning Microscope llamado AutoSputter Coater marca Pelco SC-7. Se tomarán en consideración algunos aspectos importantes:

Para obtener una imagen clara en el MEB, la muestra deshidratada (por liofilización) se colocó en una placa de Carbón, se dispersó con ultrasonido y fue recubierta con una capa de Au.

J. Determinación de grupos funcionales por Espectroscopia Infrarroja

Esta determinación se realizó en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se utilizó el Espectroscopio Infrarrojo de marca Thermo electron corporation Modelo Nicolet 380.

3.5 Procedimiento de análisis de datos

3.5.1 Fase Gabinete

Se determinó el área de trabajo utilizando cartografía actualizada, para ubicar las empresas madereras en la provincia del Tahuamanu, datos proporcionados por instituciones gubernamentales y no gubernamentales. Se realizó una revisión investigaciones sobre obtención de carbón activado, su caracterización e información sobre el mercado nacional e internacional. Se recopiló la información existente sobre el área de estudio. Se estableció los puntos y frecuencia de muestreo, de acuerdo al cronograma establecido en este estudio.

3.5.2. Fase Campo

Después de conocer el área en base a la investigación bibliográfica y cartográfica se realizó un recorrido para actualizar la información obtenida, de acuerdo al perfil de investigación y luego se procedió a la recolección de las muestras de residuos maderables de mayor procesamiento.

3.5.3. Diseño Experimental

La investigación tuvo un diseño experimental cuantitativo, con análisis de varianza de un solo factor (activación física con vapor de agua) con varios niveles (Tiempo de activación). Se realizó la comparación de las características fisicoquímicas, texturales de los carbones obtenidos a diferentes niveles, carbón activado en polvo (CAP) 30, 45, 60 minutos y carbón activado granular (CAG) 45, 60, 90 minutos, encontrándose características óptimas de calidad del producto.

Para el estudio se realizó una investigación de tipo experimental, cada tratamiento es de tres repeticiones en condiciones idénticas para determinar la optimización de las variables e indicadores.

3.5.4. Análisis Estadístico

Se utilizó estadística descriptiva, se calcularon máximos, mínimos, media, desviación estándar, para cada parámetro fisicoquímico; que tuvo 3 repeticiones.

El diseño experimental se realizó con análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor (Activación física con vapor de agua) con 3 niveles (tiempo de activación) para cada especie, a partir del software R, donde se estimó los efectos de los tratamientos en las propiedades de los carbones activados y se utilizó para contrastar las hipótesis:

- 1) Todos los tratamientos producen el mismo efecto:

$$H_0: \tau_i=0, \forall_i$$

2) Frente a la alternativa: Al menos dos difieren significativamente entre sí:

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ por lo menos para algún } i$$

Tabla 3. Codificación de los carbones activados con vapor de agua.

Tamaño de la partícula de carbón	Especie	Tiempo de activación (min)	Temperatura de activación	Codificación
Carbón activado granular (CAG)	Shihuahuaco	45	800°C	CAGSH1
		60	800°C	CAGSH2
		90	800°C	CAGSH3
	Ana Caspi	45	800°C	CAGAC1
		60	800°C	CAGAC2
		90	800°C	CAGAC3
	Estoraque	45	800°C	CAGE1
		60	800°C	CAGE2
		90	800°C	CAGE3
	Azúcar huayo	45	800°C	CAGAH1
		60	800°C	CAGAH2
		90	800°C	CAGAH3
Carbón activado en polvo (CAP)	Shihuahuaco	30	800°C	CAPSH1
		45	800°C	CAPSH2
		60	800°C	CAPSH3
	Ana Caspi	30	800°C	CAPAC1
		45	800°C	CAPAC2
		60	800°C	CAPAC3
	Estoraque	30	800°C	CAPE1
		45	800°C	CAPE2
		60	800°C	CAPE3
	Azúcar huayo	30	800°C	CAPAH1
		45	800°C	CAPAH2
		60	800°C	CAPAH3

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Resultados del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado

Los resultados del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón tanto granular como en polvo se describen a continuación:

4.1.1 Porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular

El porcentaje de rendimiento de carbón activado granular (*Tabla 41* en anexo 6) en las muestras fue, ANAC-90-20 mínimo 69,30%, máximo 69,40% y en promedio 69,36%; AZH-60-20 mínimo 63,25%, máximo 63,29% y en promedio 63,27%; SHI-45-20 mínimo 56,31%, máximo 56,43% y en promedio 56,36%; y finalmente, EST-45-20 mínimo 28,79%, máximo 28,89% y en promedio 28,87%.

Tabla 4. ANOVA del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2875,78	3	958,60	364023,83	0,00
Dentro de grupos	0,02	8	0,00		
Total	2875,809	11			

En la tabla 4 se observa que el valor-P es menor que 0,05; de modo que, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de rendimiento entre las muestras de carbón activado granular y otro.

Las muestras de carbón activado granular (Tabla 5) utilizadas para medir el porcentaje de rendimiento del carbón activado granular de cuatro especies, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; siendo la muestra ANAC-90-20 de más alto porcentaje de rendimiento, seguidamente por las muestras AZH-60-20, SHI-45-20 y EST-45-20.

Tabla 5. Prueba Tukey para el porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	EST-45-20	3	28,86			
	SHI-45-20	3		56,36		
	AZH-60-20	3			63,27	
	ANAC-90-20	3				69,36
	Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

4.1.2 Porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo

El carbón activado en polvo (Tabla 43 en anexo 6) de la muestra EST-30-200 tuvo un porcentaje mínimo de 68,29%, máximo 68,45% y en promedio 68,38% de rendimiento; muestra AZH-30-200 tuvo un porcentaje mínimo de 62,93%, máximo 63,03% y en promedio 62,97%; muestra SHI-45-200 tuvo un porcentaje mínimo de 60,55%, máximo 60,62% y en promedio 60,60%; y finalmente, muestra ANAC-30-200 tuvo un porcentaje mínimo de 57,20%, máximo 57,32% y en promedio 57,25%.

Tabla 6. ANOVA del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	197,34	3	65,78	17698,28	0,00
Dentro de grupos	0,03	8	0,00		
Total	197,37	11			

En la tabla 6 se observa que el valor-P es menor que 0,05; por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de rendimiento entre las muestras de carbón activado en polvo y otro

Las muestras de carbón activado en polvo (Tabla 7) utilizadas para medir el porcentaje de rendimiento de cuatro especies, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; siendo la muestra EST-30-200 de más alto porcentaje de rendimiento, seguidamente por las muestras AZH-30-200, SHI-45-200 y ANAC-30-200.

Tabla 7. Prueba Tukey para el porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Prueba	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	ANAC-30-200	3	57,25			
	SHI-45-200	3		60,60		
	AZH-30-200	3			62,97	
	EST-30-200	3				68,38
	Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

4.2 Resultados de la densidad real de las muestras de carbón activado

4.2.1 Densidad real de las muestras de carbón activado granular

La densidad real del carbón activado granular (*Tabla 45* en anexo 6) de la muestra SHI-45-20 mínima fue 1,002 g/ cm³, máxima 1,014 g/ cm³ y en promedio 1,007 g/ cm³; muestra AZH-60-20 tuvo como mínima 1,0001 g/ cm³, máxima 1,011 g/ cm³ y en promedio 1,005 g/ cm³; muestra ANAC-90-20 tuvo como mínima 0,999 g/ cm³, máxima 1,009 g/ cm³ y en promedio 1,004 g/ cm³; y finalmente, muestra EST-45-20 tuvo como mínima 1,000 g/ cm³, máxima 0,962 g/ cm³ y en promedio 1,004 g/ cm³.

Tabla 8. ANOVA para densidad real de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,001	3	0,000	1,901	0,208
Dentro de grupos	0,001	8	0,000		
Total	0,002	11			

En la tabla 08 se observa que el valor-P es mayor que 0,05; es decir, no existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de densidad real entre las muestras de carbón activado granular y otro, con un nivel del 5% de significancia.

4.2.2 Densidad real de las muestras de carbón activado en polvo

La densidad real del carbón activado en polvo (*Tabla 47* en anexo 6) de la muestra AZH-30-200 mínima fue 1,007 g/ cm³, máxima 1,019 g/ cm³ y en promedio 1,013 g/ cm³; muestra SHI-45-200 tuvo como mínima 1,0001 g/ cm³, máxima 1,015 g/ cm³ y en promedio 1,008 g/ cm³; muestra ANAC-30-200 tuvo como mínima 1,001 g/ cm³, máxima 1,009 g/ cm³ y en promedio 1,005 g/ cm³; y finalmente, muestra EST-30-200 tuvo como mínima 0,990 g/ cm³, máxima 1,003 g/ cm³ y en promedio 0,997 g/ cm³.

Tabla 09. ANOVA para densidad real de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,000	3	0,000	3,554	0,067
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	0,001	11			

En la tabla 09 se observa que el valor-P es mayor que 0,05; es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de densidad real entre las muestras de carbón activado en polvo y otro, con un nivel del 5% de significación.

4.3 Resultados de la densidad aparente de las muestras de carbón activado

Los resultados de densidad aparente de las muestras de carbón se muestran a continuación:

4.3.1 Densidad aparente de las muestras de carbón activado granular

La densidad aparente del carbón activado granular (*Tabla 49* en anexo 6) de la muestra AZH-60-20 mínima fue 0,32 g/cm³, máxima 0,35 g/cm³ y en promedio 0,33 g/cm³; muestra SHI-45-20 tuvo como mínima 0,27 g/cm³, máxima 0,30 g/cm³ y en promedio 0,28 g/cm³; muestra EST-45-20 tuvo como mínima 0,26 g/cm³, máxima 0,30 g/cm³ y en promedio 0,28 g/cm³; y finalmente, muestra ANAC-90-20 tuvo como mínima 0,19 g/cm³, máxima 0,23 g/cm³ y en promedio 0,21 g/cm³.

Tabla 10. ANOVA para densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,023	3	0,008	22,183	0,000
Dentro de grupos	0,003	8	0,000		
Total	0,026	11			

En la tabla 10 se observa que el valor-P es menor que 0,05; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la densidad aparente de las muestras de carbón activado granular y otro.

Las muestras de carbón activado granular (*Tabla 11*) utilizadas para determinar la densidad aparente de cuatro especies, nos indican que la muestra AZH-60-20 tiene la más alta densidad aparente; así mismo, su densidad aparente es igual al de la muestra SHI-45-20. No obstante, las muestras SHI-45-20 y EST-45-20 son significativamente iguales y fue mayor a 0,26 g/cm³ y menor a 0,65 g/cm³; por lo que, la densidad aparente de estas muestras es óptima para carbón activado granular según la norma ASTM D2854-09 (2014). Por último, la densidad aparente de la muestra ANAC-90-20 es diferente de todas las muestras.

Tabla 11. Prueba Tukey para la densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD Tukey	ANAC-90-20	3	0,21		
	EST-45-20	3		0,28	
	SHI-45-20	3		0,28	0,28
	AZH-60-20	3			0,33
	Sig.		1,00	0,97	0,06

4.3.2 Densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo

La densidad aparente del carbón activado en polvo (Tabla 51 en anexo 6) de la muestra SHI-45-200 mínima fue 0,43 g/cm³, máxima 0,70 g/cm³ y en promedio 0,58 g/cm³; muestra ANAC-30-200 mínima 0,51 g/cm³, máxima 0,58 g/cm³ y en promedio 0,55 g/cm³; muestra AZH-30-200 mínima 0,49 g/cm³, máxima 0,59 g/cm³ y en promedio 0,54 g/cm³; y finalmente, muestra EST-30-200 mínima fue 0,51 g/cm³, máxima 0,58 g/cm³ y en promedio 0,55 g/cm³.

Tabla 12. ANOVA para densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,005	3	0,002	0,267	0,847
Dentro de grupos	0,049	8	0,006		
Total	0,053	11			

En la tabla 12 se observa que el valor-P es mayor que 0,05; es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo y otro, son iguales.

Se observa que la densidad aparente de las cuatro muestras de carbón activado en polvo en promedio fue mayor a $0,49 \text{ g/cm}^3$; por lo tanto, la densidad aparente de estas muestras es óptima para carbón activado en polvo según la norma ASTM D2854-09 (2014).

4.4 Resultados de pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado

Los resultados de pH de las muestras de carbón se muestran a continuación:

4.4.1 pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular

El pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular (*Tabla 53* en anexo 6) fue, EST-45-20 mínimo 10,78, máximo 10,86 y en promedio 10,83; ANAC-90-20 mínimo 10,72, máximo 10,78 y en promedio 10,75; AZH-60-20 mínimo 10,05, máximo 10,13 y en promedio 10,09; por último, SHI-45-20 tuvo como pH mínimo 9,90, máximo 10,02 y en promedio 9,95.

Tabla 13. ANOVA para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,820	3	0,607	283,258	0,000
Dentro de grupos	0,017	8	0,002		
Total	1,837	11			

En la tabla 13 se observa que el valor-P es menor que alfa; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular y otro.

Las muestras de carbón activado granular (Tabla 14) utilizadas para determinar el pH de cuatro especies, nos indican que la muestra EST-45-20 tiene el más alto pH; así mismo, su valor de pH es igual al de la muestra ANAC-90-20. No obstante, el pH de la muestra AZH-60-20 es diferente a todos; del mismo modo, la muestra SHI-45-20 fue diferente y tuvo el menor valor de pH.

Tabla 14. Prueba Tukey para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD Tukey	SHI-45-20	3	9,95		
	AZH-60-20	3		10,09	
	ANAC-90-20	3			10,75
	EST-45-20	3			10,83
	Sig.		1,00	1,00	0,20

Se observa que el pH de las cuatro muestras de carbón activado en polvo se encuentra dentro del rango de valores típicos; por lo tanto, el pH de las muestras cumple con la norma ASTM D3838-05 (2017), la cual especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua. Igualmente, Hernández *et al.* (2017).

4.4.2 pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo

El pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo (Tabla 55 en anexo 6) fue, ANAC-30-200 mínimo 10,35, máximo 10,44 y en promedio 10,39; EST-30-200 mínimo 10,13, máximo 10,19 y en promedio 10,15; AZH-30-200 mínimo 9,97, máximo 10,00 y en promedio 9,98; por último, SHI-45-200 tuvo como pH mínimo 8,93, máximo 9,10 y en promedio 9,03.

En la Figura 14 se observa que el pH de las cuatro muestras de carbón activado en polvo no se encuentra dentro del rango de valores típicos; por lo tanto, el pH de las muestras no cumple con la norma ASTM D3838-05 (2017), la cual especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua.

Tabla 15. ANOVA para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,193	3	1,064	373,446	0,000
Dentro de grupos	0,023	8	0,003		
Total	3,216	11			

En la tabla 15 se observa que el valor-P es menor que alfa; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado en polvo (Tabla 16) utilizadas para medir el pH del carbón activado en polvo de cuatro especies, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; teniendo la muestra ANAC-30-200 el más alto valor de pH, seguidamente por las muestras EST-30-200, AZH-30-200 y SHI-45-200.

Tabla 46. Prueba Tukey para el pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Prueba	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	SHI-45-200	3	9,03			
	AZH-30-200	3		9,98		
	EST-30-200	3			10,15	
	ANAC-30-200	3				10,39
	Sig.			1,00	1,00	1,00

4.5 Resultados del porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado

Los resultados del porcentaje de humedad del carbón activado de cuatro especies forestales se muestran a continuación:

4.5.1 Porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular

El contenido de humedad del carbón activado granular (*Tabla 57* en anexo 6) en las muestras fue, AZH-60-20 mínimo 4,24%, máximo 4,29% y en promedio 4,26%; ANAC-90-20 mínimo 3,87%, máximo 3,99% y en promedio 3,94%; EST-45-20 mínimo 3,18%, máximo 3,24% y en promedio 3,21%; y finalmente, SHI-45-20 mínimo 2,60%, máximo 2,63% y en promedio 2,61%.

Tabla 17. ANOVA para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,930	3	1,643	1195,271	0,000
Dentro de grupos	0,011	8	0,001		
Total	4,941	11			

En la tabla 17 se observa que el valor-P es menor que alfa; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular de las cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado granular (*Tabla 18*) utilizadas para medir el porcentaje de humedad del carbón activado granular de cuatro especies forestales maderables, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; siendo la muestra SHI-45-20 del más

bajo porcentaje de humedad, seguidamente por las muestras EST-45-20, ANAC-90-20 y AZH-60-20.

Tabla 58. Prueba Tukey para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	SHI-45-20	3	2,61			
	EST-45-20	3		3,21		
	ANAC-90-20	3			3,94	
	AZH-60-20	3				4,26
	Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

Se observa que el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular se encuentran dentro del rango de valores típicos según la norma ASTM D2867-09 (2009), 2 a 15%; por lo que, el porcentaje de humedad de las muestras es óptima para carbón activado granular destinado al tratamiento de agua. Sin embargo, Hernández *et al.* (2017), en su investigación obtuvieron un porcentaje más alto de humedad, el cual fue 16,96% de CAG de conchas de coco tratado con soluciones de ácido nítrico HNO₃ de 0,55 mol/L; también, evidenciaron el aumento de humedad de los carbones activados a medida que fueron sometidos a tratamientos con soluciones de ácido nítrico.

4.5.2 Porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo

El contenido de humedad del carbón activado en polvo (*Tabla 59* en anexo 6) de las muestras fue, SHI-45-200 mínimo 6,12%, máximo 6,53% y en promedio 6,28%; ANAC-30-200 mínimo 3,80%, máximo 3,85% y en promedio 3,82%; AZH-30-200 mínimo 3,50%, máximo 3,57% y en promedio 3,54%; y finalmente, EST-30-200 tuvo como contenido mínimo 1,85%, máximo 1,99% y en promedio 1,91%.

Tabla 19. ANOVA para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	29,294	3	9,765	721,518	0,000
Dentro de grupos	0,108	8	0,014		
Total	29,402	11			

En la tabla 19 se observa que el valor-P es menor que alfa; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado en polvo (tabla 20) utilizadas para medir el porcentaje de humedad del carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables, nos indican que la muestra EST-30-200 presentó el menor porcentaje; además, es diferente de todas. El porcentaje de humedad de las muestras AZH-30-200 y ANAC-30-200 es estadísticamente no diferente entre sí. Por último, la muestra SHI-45-200 presentó el más alto porcentaje y es diferente de todos.

Tabla 20. Prueba Tukey para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD Tukey	EST-30-200	3	1,91		
	AZH-30-200	3		3,54	
	ANAC-30-200	3		3,82	
	SHI-45-200	3			6,28
	Sig.		1,00	0,07	1,00

Se observa que el porcentaje de humedad de las muestras de ANAC-30-200, AZH-30-200 y SHI-45-200 de carbón activado en polvo se encuentran por encima del rango de calidad requerido según la norma

ASTM D2867-09 (2009), la cual indica que el máximo es 3%. Sin embargo, la muestra EST-30-200 se encuentra por debajo del 3 %, cumpliendo así con la calidad internacional requerida.

4.6 Resultados del porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado

Los resultados del porcentaje de ceniza total del carbón activado de cuatro especies forestales se muestran a continuación:

4.6.1 Porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular

El contenido de ceniza total del carbón activado granular (*Tabla 62* en anexo 6) de las muestras fue, EST-45-20 mínimo 23,13%, máximo 23,18% y en promedio 23,15%; ANAC-90-20 mínimo 8,53%, máximo 8,60% y en promedio 8,56%; SHI-45-20 mínimo 8,01%, máximo 8,05% y en promedio 8,03%; y finalmente, AZH-60-20 tuvo como contenido mínimo 7,19%, máximo 7,23% y en promedio 7,21%.

Tabla 21. ANOVA para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	524,065	3	174,688	238211,254	0,000
Dentro de grupos	0,006	8	0,001		
Total	524,071	11			

En la tabla 21 se observa que el valor-P es menor que 0,05; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado granular (Tabla 22) utilizadas para medir el porcentaje de ceniza total del carbón activado granular de cuatro especies forestales maderables, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; teniendo la muestra AZH-60-20 el más bajo porcentaje, seguidamente de forma descendente por las muestras SHI-45-20, ANAC-90-20 y EST-45-20.

Tabla 22. Prueba Tukey para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	AZH-60-20	3	7,21			
	SHI-45-20	3		8,03		
	ANAC-90-20	3			8,56	
	EST-45-20	3				23,15
	Sig.			1,00	1,00	1,00

Se observa que el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular de AZH-60-20, EST-45-20 y SHI-45-20 se encuentran dentro del rango de valores típicos determinado por la norma ASTM D2866-94 (2004), de 3 a 15%; por lo que, el porcentaje de humedad de las muestras es óptima para carbón activado granular destinado al tratamiento de agua. Mientras que, la muestra ANAC-90-20 estuvo por encima del rango de calidad. Del mismo modo, Hernández *et al.* (2017), obtuvieron un porcentaje de ceniza superior a lo indicado por la norma ASTM D2866-94, siendo 19,24% para carbón activado de conchas de coco sin modificar; no obstante, presentaron como mínimo 0,44% de ceniza para CAG de conchas de coco tratado con soluciones de HNO₃ de 1 mol/L.

Por otra parte, Lazo Camposano (2015) en su estudio indicó, 5% de ceniza de carbón activado granular de cáscara de coco, lo cual muestra que se encuentra dentro del rango óptimo.

4.6.2 Porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo

El contenido de ceniza total del carbón activado en polvo (*Tabla 64* en anexo 6) de las muestras fue, EST-30-200 mínimo 15,11%, máximo 15,17% y en promedio 15,14%; SHI-45-200 mínimo 9,41%, máximo 9,45% y en promedio 9,43%; ANAC-30-200 mínimo 8,18%, máximo 8,22% y en promedio 8,20%; y finalmente, AZH-30-200 tuvo como contenido mínimo 5,17%, máximo 5,26% y en promedio 5,22%.

Tabla 23. ANOVA para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	155,296	3	51,765	51765,422	0,000
Dentro de grupos	0,008	8	0,001		
Total	155,304	11			

En la Tabla 23 se observa que el valor-P es menor que 0,05; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado en polvo (Tabla 24) utilizadas para medir el porcentaje de ceniza total del carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables, nos indican que las cuatro muestras son significativamente diferentes; teniendo la muestra AZH-30-200 el más bajo porcentaje, seguidamente de forma descendente

por las muestras ANAC-30-200, SHI-45-200 y EST-30-200.

Tabla 24. Prueba Tukey para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	AZH-30-200	3	5,22			
	ANAC-30-200	3		8,20		
	SHI-45-200	3			9,43	
	EST-30-200	3				15,14
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se observa que el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo se encuentra por encima del rango de calidad requerido según la norma ASTM D2866-94 (2004), la cual indica que el máximo es 3%. De la misma manera, Lazo Camposano (2015) en su estudio indicó, 5% de ceniza de carbón activado en polvo a partir de la madera, de modo que no cumple con la norma ASTM D2866-94.

4.7 Resultados del porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado

Los resultados del porcentaje de materia volátil del carbón activado de cuatro especies forestales se muestran a continuación:

4.7.1 Porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular

El contenido de materia volátil del carbón activado de las muestras fue, ANAC-90-20 mínimo 14,78%, máximo 15,34% y en promedio 15,08%; AZH-60-20 mínimo 10,17%, máximo 10,40% y en promedio 10,27%; SHI-45-20 mínimo 9,56%, máximo 10,12% y en promedio 9,78%; y finalmente, EST-45-20 tuvo como contenido mínimo 6,26%, máximo 6,38% y en promedio 6,32%. Así mismo, Hernández et al. (2017), en su estudio presentaron como máximo porcentaje de materia volátil

10,54% de CAG de conchas de coco tratado con soluciones de HNO_3 de 0,55 mol/L.

Tabla 25. ANOVA para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	116,918	3	38,973	838,573	0,000
Dentro de grupos	0,372	8	0,046		
Total	117,290	11			

En la Tabla 25 se observa que el valor-P es menor que 0,05; es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado granular (Tabla 26) utilizadas para medir el porcentaje de materia volátil del carbón activado granular de cuatro especies forestales maderables, nos indican que la muestra EST-45-20 presento el más bajo porcentaje y es diferente de todos; entre tanto, las muestras SHI-45-20 y AZH-60-20 estadísticamente son iguales y; por último, ANAC-90-20 presento el más alto porcentaje entre las cuatro muestras y es diferente de todos.

Tabla 26. Prueba Tukey para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD Tukey	EST-45-20	3	6,32		
	SHI-45-20	3		9,78	
	AZH-60-20	3		10,27	
	ANAC-90-20	3			15,08
	Sig.			1,00	0,10

4.7.2 Porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo

El contenido de materia volátil del carbón activado en polvo (*Tabla 67* en anexo 6) de las muestras fue, ANAC-30-200 mínimo 12,01%, máximo 12,76% y en promedio 12,46%; SHI-45-200 mínimo 9,37%, máximo 9,56% y en promedio 9,47%; AZH-30-200 mínimo 8,02%, máximo 8,50% y en promedio 8,21%; y finalmente, EST-30-200 tuvo como contenido mínimo 6,12%, máximo 6,45% y en promedio 6,25%.

Tabla 27. ANOVA para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	60,907	3	20,302	311,622	0,000
Dentro de grupos	0,521	8	0,065		
Total	61,428	11			

En la Tabla 27 se observa que el valor-P es menor que 0,05; por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales.

Las muestras de carbón activado en polvo (*Tabla 28*) utilizadas para medir el porcentaje de materia volátil del carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables, nos indican que el porcentaje de las muestra son estadísticamente diferentes entre sí, presentando la muestra EST-30-200 el más bajo porcentaje, seguidamente por las AZH-30-200 y SHI-45-200 y; finalmente, la muestra ANAC-30-200 presento el más alto porcentaje.

Tabla 28. Prueba Tukey para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Prueba	Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD Tukey	EST-30-200	3	6,25			
	AZH-30-200	3		8,21		
	SHI-45-200	3			9,47	
	ANAC-30-200	3				12,46
	Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

4.8 Resultados de la capacidad de adsorción: Índice de azul de metileno

Para esta determinación previamente se determinó el tiempo óptimo de decoloración del azul de metileno con cada una de las muestras de carbón activado tanto granular como en polvo y de esta forma se obtuvo el mejor tiempo de activación como se detalla:

Tabla 29. Tiempo óptimo de decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado granular CAG (malla 20)

Especie	Tiempo óptimo de activación
Estoraque	45 Minutos
Azúcar huayo	60 Minutos
Ana caspi	90 Minutos
Shihuahuaco	45 Minutos

Tabla 30. *Tiempo óptimo de decoloración del azul de metileno de las muestras de carbón activado en polvo CAP (malla 200)*

Especie	Tiempo óptimo de activación
Estoraque	30 Minutos
Azúcar huayo	30 Minutos
Ana caspi	30 Minutos
Shihuahuaco	45 Minutos

La capacidad de adsorción de las muestras de carbón activado tanto granular como en polvo de especies forestales maderables se muestra a continuación:

4.8.1 Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Ana caspi

La capacidad de adsorción de las muestras de carbón activado tanto granular como en polvo de la especie forestal Ana caspi se muestra a continuación:

- Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Ana caspi

La Tabla 31 muestra los resultados de la prueba de capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la muestra Ana caspi con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Se tuvo un resultado de capacidad máxima de adsorción de 1 156,1228 mg C₁₆H₁₈ClN₃S/g de carbón activado.

Tabla 31. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie *Ana caspi*

Ci ppm	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/ adsorbente	Ce	Ce / qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1090	0,0090	0,0092	9,9312	0,0092	1156,1228
15	0,2130	0,0240	0,0133	14,7124	0,0133	
20	0,4210	0,0420	0,0180	20,1403	0,0180	
25	0,6220	0,0510	0,0230	25,8578	0,0230	
30	0,8280	0,1110	0,0260	29,3587	0,0260	

En la figura 7 se observa una dependencia lineal de $r= 0,9950$ al inicio, la cual indica que existe una relación proporcional entre la concentración inicial (Ci) y la capacidad de Adsorbato /adsorbente. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); en esa misma línea, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado granular de la especie *Ana caspi* se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

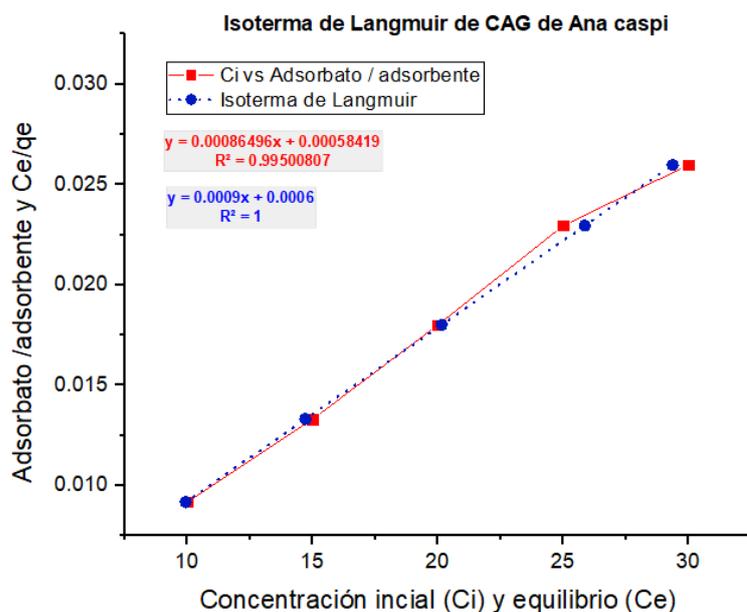


Figura 7. Carbón activado granular CAG de la especie Ana caspi, ajuste a la isoterma de Langmuir.

- Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Ana caspi

La tabla 32 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado en polvo de la muestra Ana caspi con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Se determinó que la capacidad máxima de adsorción del CAP de Ana caspi que resultó 1 108,9056 mg $C_{16}H_{18}ClN_3S$ /g de carbón activado.

Tabla 32. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie *Ana caspi*

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/adsorbente	Ce	Ce / qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,0920	0,0020	0,0098	10,1554	0,0098	1108,9056
15	0,2050	0,0150	0,0139	14,7239	0,0139	
20	0,4130	0,0300	0,0185	19,8746	0,0185	
25	0,6170	0,0350	0,0236	25,4575	0,0236	
30	0,8120	0,0680	0,0275	29,7887	0,0275	

En la Figura 8 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9986$ al inicio, por lo cual, la velocidad del Adsorbato /adsorbente está definida por la concentración inicial (Ci) del azul de metileno. Seguidamente, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); por consiguiente, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado en polvo de la especie *Ana caspi* se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

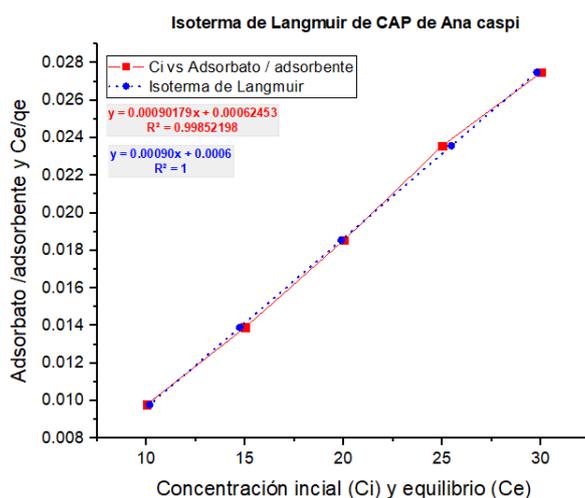


Figura 8. Carbón activado en polvo CAP de la especie *Ana caspi*, ajuste a la isoterma de Langmuir.

4.8.2 Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Azúcar huayo

La capacidad de adsorción de las muestras de carbón activado de la especie forestal Azúcar huayo se muestra a continuación:

- Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Azúcar huayo

La Tabla 33 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado granular de la muestra Azúcar huayo con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Además, se determinó que su capacidad máxima de adsorción fue 1111,9513 mg C₁₆H₁₈ClN₃S /g de carbón activado.

Tabla 33. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Azúcar huayo

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/adsorbente	Ce	Ce / qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1550	0,0170	0,0089	9,7000	0,0089	1111,9513
15	0,3830	0,0340	0,0137	14,9987	0,0137	
20	0,7840	0,0650	0,0183	20,1953	0,0183	
25	1,1050	0,0710	0,0234	25,8127	0,0234	
30	1,4670	0,1700	0,0265	29,2929	0,0265	

En la Figura 9 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9949$ al inicio, la cual indica que existe una relación directamente proporcional entre la concentración inicial (Ci) y la capacidad de Adsorbato /adsorbente. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); en esa misma línea, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre

la muestra de carbón activado granular de la especie Azúcar huayo se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

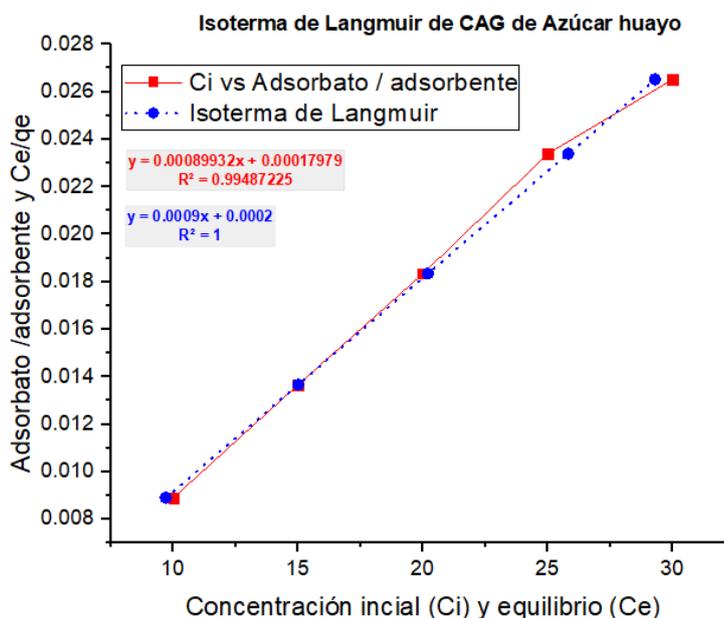


Figura 9. Carbón activado granular CAG de la especie Azúcar huayo, ajuste a la isoterma de Langmuir.

- Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Azúcar Huayo

La Tabla 34 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado en polvo de la muestra Azúcar huayo con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Además, se determinó que su capacidad máxima de adsorción fue 1117,5057 mg C₁₆H₁₈ClN₃S /g de carbón activado.

Tabla 34. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Azúcar Huayo

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/ adsorbente	Ce	Ce / qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1630	0,0110	0,0093	9,6220	0,0093	1117,5057
15	0,3910	0,0200	0,0142	15,1063	0,0142	
20	0,7920	0,0450	0,0189	20,2813	0,0189	
25	1,1110	0,0600	0,0236	25,6300	0,0236	
30	1,4740	0,1680	0,0270	29,3601	0,0270	

En la Figura 10 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9959$ al inicio, la concentración inicial (Ci) explica en un 99,30 % la variable Adsorbato / adsorbente, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); por lo cual, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado en polvo de la especie Azúcar huayo se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

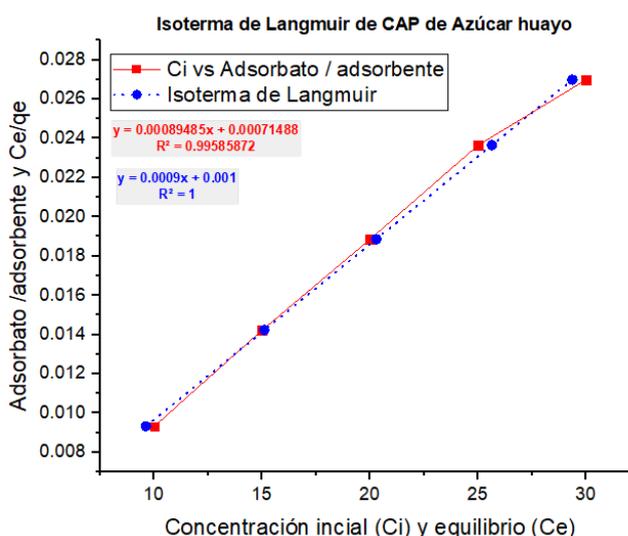


Figura 10.

Carbón

activado en polvo CAP de la especie Azúcar huayo, ajuste a la isoterma de Langmuir.

4.8.3 Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Estoraque

La capacidad de adsorción de las muestras de carbón activado de la especie forestal Estoraque se muestra a continuación:

- Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Estoraque

La Tabla 35 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado granular de la muestra Estoraque con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Además, se determinó que su capacidad máxima de adsorción fue 1223,6907 mg C₁₆H₁₈ClN₃S /g de carbón activado.

Tabla 35. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Estoraque

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/adsorbente	Ce	Ce/qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1410	0,0240	0,0083	9,3742	0,0083	1223,6907
15	0,3730	0,0300	0,0138	16,0992	0,0138	
20	0,7640	0,1220	0,0168	19,7858	0,0168	
25	0,7740	0,1310	0,0208	24,6347	0,0208	
30	1,4560	0,2310	0,0252	30,1066	0,0252	

En la Figura 11 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9929$ al inicio, la cual indica que existe una relación directamente proporcional entre la concentración inicial (Ci) y la capacidad de Adsorbato /adsorbente. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); en esa misma línea, se determinó que la adsorción de azul de

metileno sobre la muestra de carbón activado granular de la especie Estoraque se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

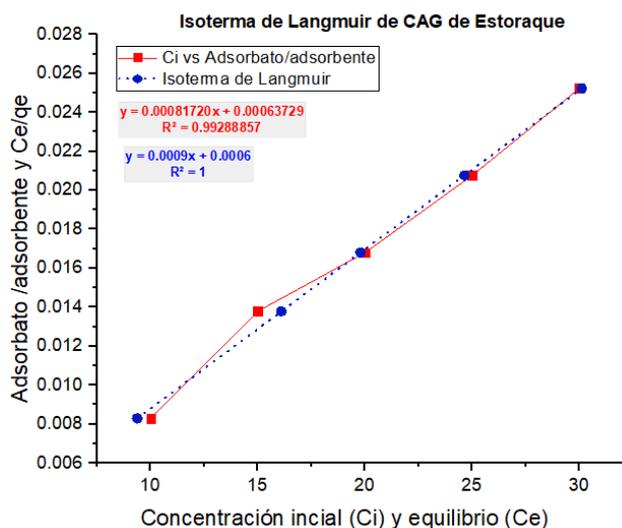


Figura 11. Carbón activado granular CAG de la especie Estoraque, ajuste a la isoterma de Langmuir.

- Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Estoraque

La Tabla 36 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado en polvo de la muestra Estoraque con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Así mismo, se determinó que la capacidad máxima de adsorción del CAP de Estoraque fue 1098,0926 mg $C_{16}H_{18}N_3S$ /g de carbón activado.

Tabla 36. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Estoraque

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/adsorbente	Ce	Ce/qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1280	0,0070	0,0095	9,8872	0,0095	1098,0926
15	0,3200	0,0230	0,0139	14,7943	0,0139	
20	0,6570	0,0340	0,0190	20,3321	0,0190	
25	0,8300	0,0470	0,0236	25,4045	0,0236	
30	1,9760	0,1720	0,0274	29,5820	0,0274	

En la Figura 12 se observa una dependencia lineal de $r=0,9980$ al inicio, por lo cual, la velocidad del Adsorbato /adsorbente está definida por la concentración inicial (Ci) del azul de metileno. Seguidamente, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); por consiguiente, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado en polvo de la especie Estoraque se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

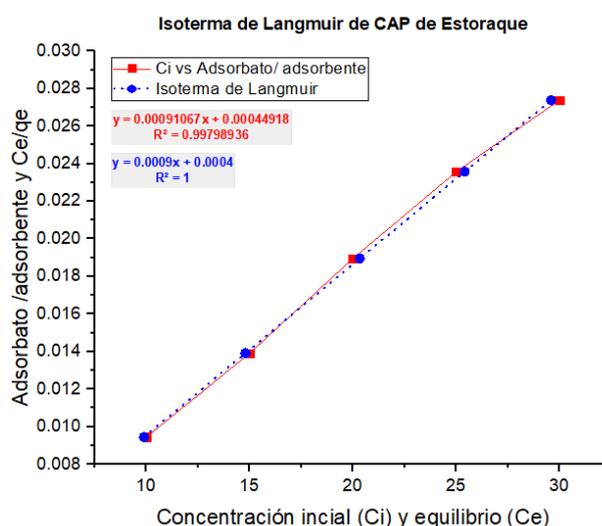


Figura 12. Carbón activado en polvo CAP de la especie Estoraque, ajuste a la isoterma de Langmuir.

4.8.4 Capacidad de adsorción del carbón activado de la especie Shihuahuaco

La capacidad de adsorción de las muestras de carbón activado de la especie forestal Shihuahuaco se muestra a continuación:

- Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Shihuahuaco

La Tabla 37 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado granular de la muestra Shihuahuaco con respecto a las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Además, se determinó que su capacidad máxima de adsorción fue 1604,1065 mg C₁₆H₁₈ClN₃S /g de carbón activado.

Tabla 37. Capacidad de adsorción del carbón activado granular CAG de la especie Shihuahuaco

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/ adsorbente	Ce	Ce/qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1310	0,0100	0,0092	9,8875	0,0092	1604,1065
15	0,3620	0,0600	0,0125	15,1444	0,0125	
20	0,7620	0,1640	0,0157	20,2482	0,0157	
25	1,1180	0,2970	0,0184	24,5202	0,0184	
30	1,4480	0,3910	0,0219	30,1995	0,0219	

En la Figura 13 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9985$ al inicio, la cual indica que existe una relación directamente proporcional entre la concentración inicial (C_i) y la capacidad de Adsorbato /adsorbente. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (C_e) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (q_e); en esa misma línea, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado granular de la especie Shihuahuaco se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

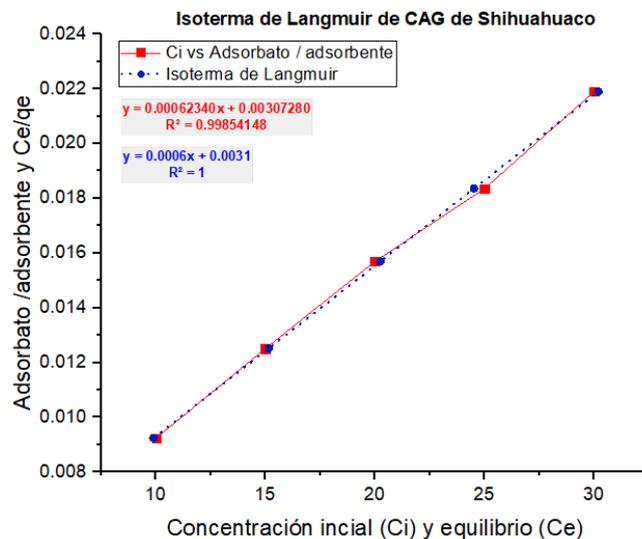


Figura 13. Carbón activado granular CAG de la especie Shihuahuaco, ajuste a la isoterma de Langmuir.

- Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie Shihuahuaco

La Tabla 38 muestra los resultados de la capacidad de adsorción del carbón activado en polvo de la muestra Shihuahuaco con respecto a

las diferentes concentraciones de la solución de azul de metileno. Además, se determinó que su capacidad máxima de adsorción fue 988,1521 mg C₁₆H₁₈ClN₃S /g de carbón activado.

Tabla 38. Capacidad de adsorción del carbón activado en polvo CAP de la especie *Shihuahuaco*

Ci (ppm)	Adsorb. inicial	Adsorb. final	Adsorbato/adsorbente	Ce	Ce/qe	Capacidad máx. de adsorción (mg/g)
10	0,1420	0,0100	0,0093	9,8977	0,0093	988,1521
15	0,3760	0,0120	0,0145	15,0613	0,0145	
20	0,7630	0,0140	0,0196	20,1125	0,0196	
25	1,1300	0,0190	0,0246	25,0005	0,0246	
30	1,4530	0,0210	0,0296	29,9282	0,0296	

En la Figura 14 se observa una dependencia lineal de $r = 0,9999$ al inicio, la concentración inicial (Ci) explica en un 99,99 % la variable Adsorbato / adsorbente, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Por otro lado, se observó en el ajuste de la isoterma de Langmuir, que el estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica 100,00 % la concentración de equilibrio del adsorbato (Ce) entre la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbato (qe); por lo cual, se determinó que la adsorción de azul de metileno sobre la muestra de carbón activado en polvo de la especie *Shihuahuaco* se ajusta al comportamiento de isoterma de Langmuir.

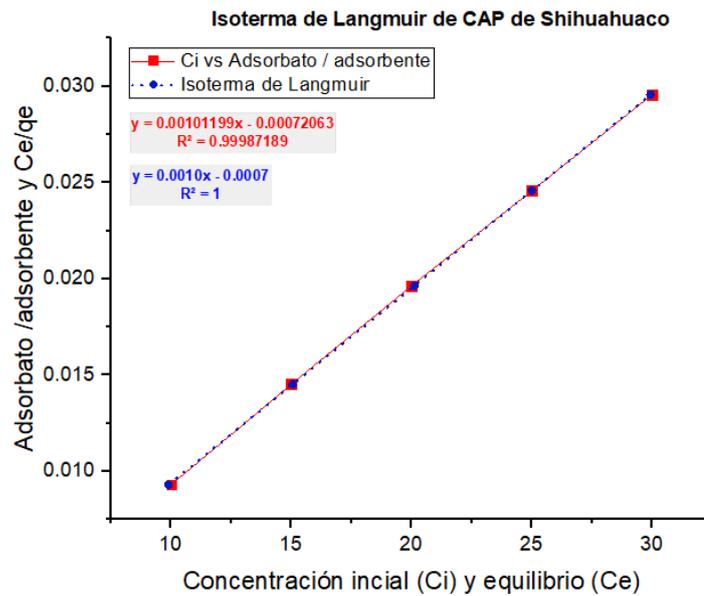


Figura 14. Carbón activado en polvo CAP de la especie Shihuahuaco, ajuste a la isoterma de Langmuir.

4.9 Resultado de las micrografías

Las dimensiones de los diámetros de los poros de las maderas se muestran a continuación:

4.9.1 Resultados de las micrografías de los poros de la madera de cuatro especies forestales maderables

Las dimensiones de los poros de la madera de Ana caspi (Figura 15A) en promedio tienen un diámetro de 7,63 μm , siendo el máximo diámetro de esta especie 9,56 μm y el mínimo 4,86 μm . Seguidamente, la dimensión de los poros de la madera de Azúcar huayo (Figura 15B) en promedio tienen un diámetro de 17,97 μm , siendo el máximo diámetro de esta especie 21,62 μm y el mínimo 13,49 μm . Posteriormente, los poros de la madera de Estoraque (Figura 15C) en promedio tienen un diámetro de 13,50 μm , siendo el máximo diámetro de esta especie 17,03 μm y el mínimo 11,27 μm . Por último, los poros de la madera de Shihuahuaco (Figura 15D) en promedio tienen un diámetro de 14,24

μm , siendo el máximo diámetro de esta especie $15,66 \mu\text{m}$ y el mínimo $12,53 \mu\text{m}$.

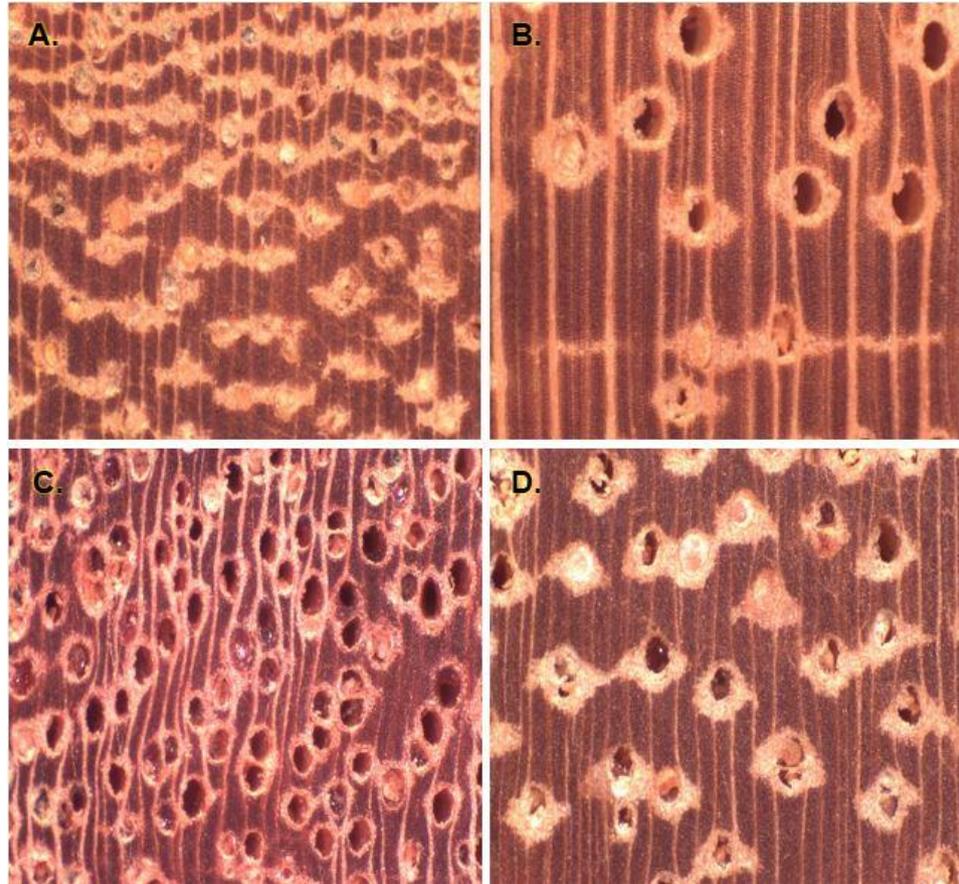


Figura 15. A. Micrografía 35X de los poros de la madera de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).

4.9.2 Resultados de las micrografías de las muestras de carbón activado granular (CAG) de cuatro especies forestales maderables

Los resultados de la medición de los poros de las muestras de carbón activado granular de cuatro especies forestales maderables nos indican que, la especie Estoraque (Figura 16C) presento el mayor diámetro de los poros, siendo en promedio $117,39 \mu\text{m}$, máximo $175,20 \mu\text{m}$ y el

mínimo 77,37 μm . Seguidamente, Ana caspi (Figura 16A) tuvo un diámetro en promedio 76,76 μm , siendo el máximo 91,53 μm y el mínimo 54,33 μm . Sin embargo, Azúcar huayo y Shihuahuaco presentaron diámetros menores; Azúcar huayo (Figura 16B) tuvo en promedio un diámetro 9,97 μm , máximo 16,50 μm y el mínimo 5,00 μm ; y Shihuahuaco (Figura 16D) tuvo en promedio un diámetro de 13,84 μm , siendo el máximo diámetro 16,38 μm y el mínimo 12,41 μm .

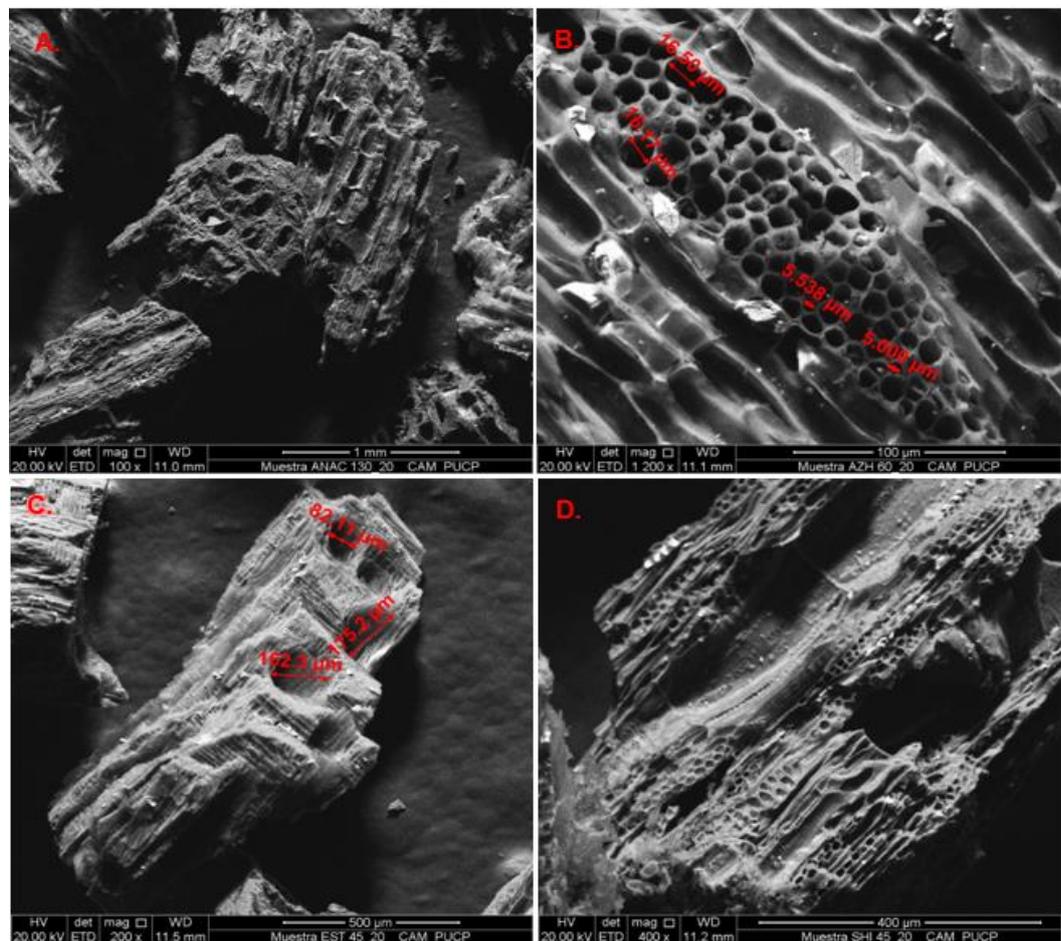


Figura 16. A. Micrografías de las muestras de carbón activado granulado CAG de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).

4.9.3 Resultados de las micrografías de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables

Los resultados de la medición de los poros de las muestras de carbón activado en polvo de cuatro especies forestales maderables nos indican que, la especie Shihuahuaco (Figura 17D) presentó el mayor diámetro de los poros, siendo en promedio $9,69 \mu\text{m}$, máximo $13,30 \mu\text{m}$ y el mínimo $5,51 \mu\text{m}$. Posteriormente, Azúcar huayo (Figura 17B) tuvo un diámetro en promedio $7,57 \mu\text{m}$, siendo el máximo $12,16 \mu\text{m}$ y el mínimo $2,94 \mu\text{m}$. En cambio, Estoraque y Ana caspi presentaron diámetros menores; Estoraque (Figura 17C) tuvo en promedio un diámetro $3,98 \mu\text{m}$, máximo $4,57 \mu\text{m}$ y el mínimo $2,65 \mu\text{m}$; y Ana caspi (Figura 17A) tuvo en promedio un diámetro de $4,45 \mu\text{m}$, siendo el máximo diámetro $5,57 \mu\text{m}$ y el mínimo $3,18 \mu\text{m}$.

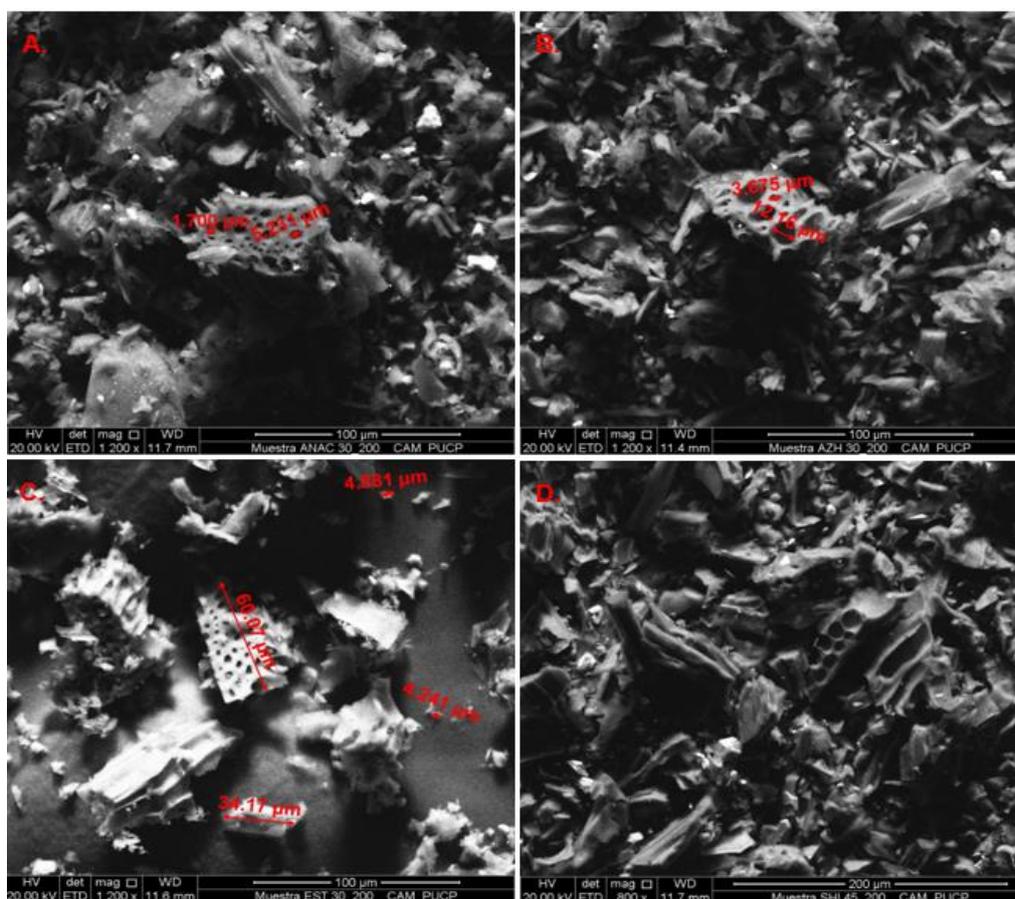


Figura 17. Micrografías de las muestras de carbón activado en polvo CAP de las especies forestales maderables Ana caspi (A), Azúcar huayo (B), Estoraque (C) y Shihuahuaco (D).

4.10 Resultados de la espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado

4.10.1 Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado granular

Los espectros de infrarrojo del carbón activado granular de la especie Ana caspi (Figura 18), siendo sus grupos funcionales de la superficie del carbón activado un rango de números de onda 3 698,80- 401,12 cm^{-1} . Por lo tanto, sobre la banda 1 650 cm^{-1} está presente enlaces de carbono-carbono (C-C), en la banda 1 567 cm^{-1} está presente enlaces de nitrógeno-hidrógeno (N-H), en la banda 1 436 cm^{-1} está presente enlaces de carbono-hidrógeno (C-H) y nitrógeno-oxígeno (N-O), en la banda 877 cm^{-1} está presente enlaces de carbono-hidrógeno (C-H).

Así mismo, los espectros de infrarrojo del carbón activado granular de la especie Azúcar Huayo, presento grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda 3 980,92- 405,31 cm^{-1} . Además, sobre la banda 1 448 cm^{-1} estuvo presente grupos metilos (-CH₃) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO₂); y en la banda 875 cm^{-1} estuvo presente enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), siendo un hidrocarburo aromático.

Por otro lado, la especie Estoraque, tuvo grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda 3 993,91- 400,40 cm^{-1} . En la banda 2 881 cm^{-1} se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), encontrándose en esta banda alcanos y

aldehídos; en la banda $1\ 430\ \text{cm}^{-1}$ se observó grupos metilos (-CH₃) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO₂); y en la banda $875\ \text{cm}^{-1}$ se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), encontrándose alquenos e hidrocarburos aromáticos.

Finalmente, la especie Shihuahuaco, presentó grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda $3\ 990,56\text{-}399,45\ \text{cm}^{-1}$. En la banda $1\ 580\ \text{cm}^{-1}$ se observó dobles enlaces de carbono-carbono (C=C), siendo hidrocarburo aromático y también, se tiene en esta banda enlaces de nitrógeno-hidrógeno (N-H); del mismo modo, Martínez De Yuso (2012) en la banda $1\ 600\ \text{cm}^{-1}$ “determinó anillos aromáticos o vibraciones de tensión de los enlaces C=C, lo que indico formación de grupos carbonilos”. Por otra parte, en la banda $1\ 432\ \text{cm}^{-1}$ se observó grupos metilos (-CH₃) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO₂); y en la banda $875\ \text{cm}^{-1}$ se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), siendo alquenos e hidrocarburos aromáticos.

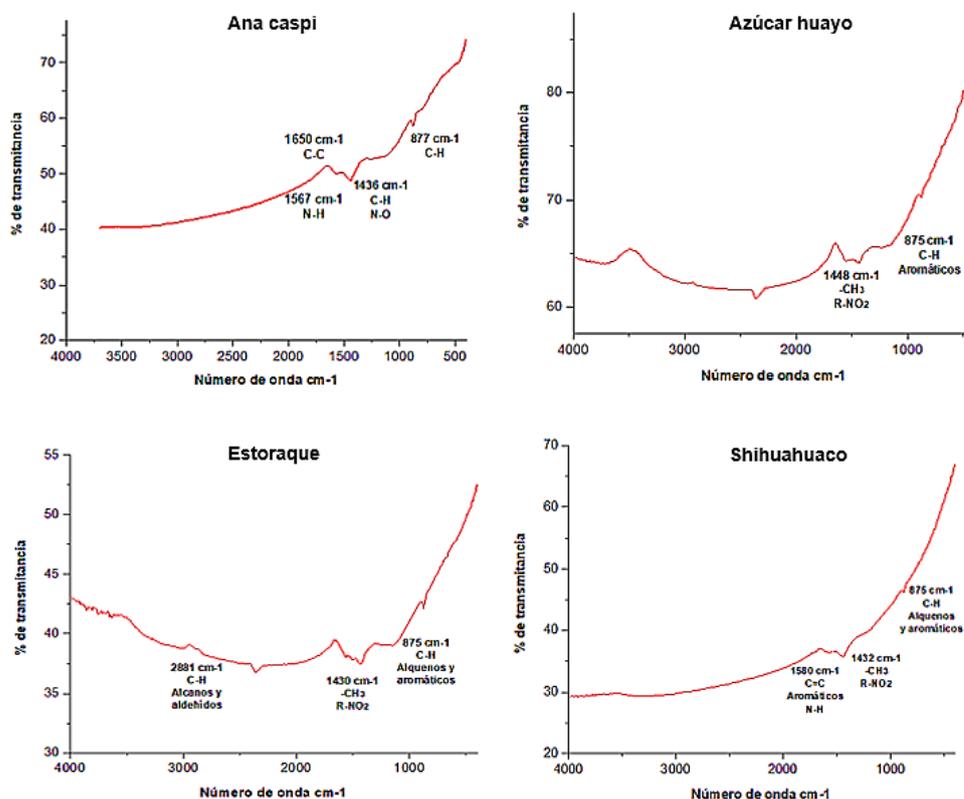


Figura 18. Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado granular CAG de cuatro especies forestales maderables.

4.10.2 Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado en polvo

En la Figura 19 se observa los espectros de infrarrojo del carbón activado en polvo de la especie Ana caspi, encontrándose sus grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda 3 990,56- 404,76 cm^{-1} . Por consiguiente, en la banda 3 635 cm^{-1} estuvo presente enlaces de oxígeno-hidrógeno (O-H); no obstante, Martínez De Yuso (2012) en la banda 1 400 cm^{-1} atribuyo enlaces O-H de lactonas y carboxilos, y también, la existencia de fenoles. En la banda 1 440 cm^{-1} estuvo presente grupos metilos (-CH₃) y enlaces dobles de nitrógeno-oxígeno (N=O), en la banda 1 066 cm^{-1} estuvo presente enlaces de carbono-carbono (C-C), carbono-nitrógeno (C-N) y carbono-flúor (C-F), y en la banda 875 cm^{-1} estuvo presente enlaces de carbono-hidrógeno (C-H).

Los espectros de infrarrojo del carbón activado en polvo de la especie Azúcar Huayo, encontrándose sus grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda 3 976,40- 409,01 cm^{-1} . En la banda 1 422 cm^{-1} se observó grupos metilos (-CH₃) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO₂); y en la banda 875 cm^{-1} se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), siendo hidrocarburo aromático.

Los espectros de infrarrojo del carbón activado en polvo de la especie Estoraque, siendo sus grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda 3 992,14- 399,56 cm^{-1} . Por otra parte, en la banda 2 882 cm^{-1} se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H) y formilo (-CHO), siendo

aldehídos; de la misma manera, Martínez De Yuso (2012) en la banda $1\ 000\text{ cm}^{-1}$ determinó enlaces C-H lo que indicó formación de anillos aromáticos. En la banda $1\ 430\text{ cm}^{-1}$ se vio grupos metilos ($-\text{CH}_3$) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO_2); y en la banda 874 cm^{-1} se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), siendo hidrocarburos aromáticos.

Los espectros de infrarrojo del carbón activado en polvo de la especie Shihuahuaco, encontrándose sus grupos funcionales de la superficie del carbón activado en un rango de números de onda $3\ 991,63\text{--}412,91\text{ cm}^{-1}$. En la banda $1\ 580\text{ cm}^{-1}$ se observó dobles enlaces de carbono-carbono ($\text{C}=\text{C}$), siendo hidrocarburo aromático y también, se observó en esta banda enlaces de nitrógeno-hidrógeno (N-H); igualmente, Martínez De Yuso (2012) en la banda $1\ 600\text{ cm}^{-1}$ determinó enlaces $\text{C}=\text{C}$, lo que indicó formación de grupos carbonilos. Por otra parte, en la banda $1\ 442\text{ cm}^{-1}$ correspondió a grupos metilos ($-\text{CH}_3$) y grupos nitro siendo nitrocompuesto (R-NO_2); y en la banda 875 cm^{-1} se observó enlaces de carbono-hidrógeno (C-H), siendo alquenos e hidrocarburos aromáticos.

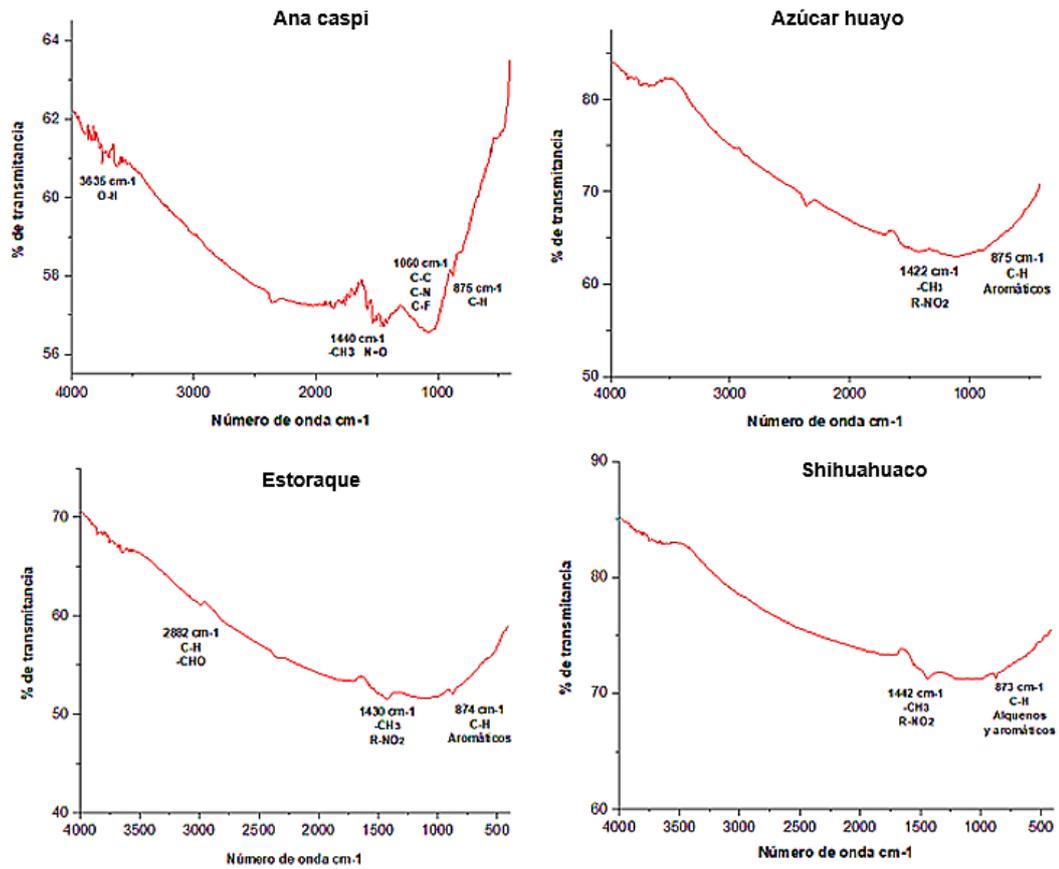


Figura 19. Espectroscopia infrarroja de las muestras de carbón activado en polvo CAP de cuatro especies forestales maderables.

CONCLUSIONES

Se obtuvo carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de 4 especies provenientes de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu, a partir de activación física con vapor de agua con características para cada especie y presentando propiedades óptimas de eficiencia y calidad.

Los carbones activos granulares de estoraque y ana caspi se caracterizaron por la presencia de macroporos, mientras que microporos fueron característicos en shihuahuaco y azúcar huayo. Sin embargo, en el carbon activo en polvo shihuahuaco y azúcar huayo presentaron macroporos; mientras microporos fueron característicos en estoraque y ana caspi. Los espectros de infrarrojo mostraron que el carbón activado en polvo de las cuatro especies mostró mayor polaridad (más hidrofílicos) que el carbón activado granular.

La capacidad máxima de adsorción para el carbón activado en polvo se obtuvo de la especie azúcar huayo (1117,5 mg/g), y para el carbón activado granular de la especie shihuahuaco (1604,1 mg/g).

Los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de la actividad forestal de la provincia del Tahuamanu presentaron buenas características físicas y químicas, cumpliendo en la mayoría de las muestras con las normas ASTM de calidad a nivel internacional.

SUGERENCIAS

1. Se sugiere desarrollar estudios de área superficial, caracterización fisicoquímica mediante análisis termogravimétrico para mejorar la interpretación de las interacciones adsorbato-adsorbente.
2. En función a los resultados del porcentaje de rendimiento e identificando las mejores características del carbón activado más óptimo ya sea granular o en polvo, se podría calcular la inversión máxima, producción y costos de venta. Al mismo tiempo se podría considerar estudios en la regeneración para minimizar los costos y la contaminación como residuo después del uso del producto.
3. Encontrar un uso adecuado para el carbón activo optimizado producido a partir de los residuos maderables estudiados en esta investigación.
4. Proyectar un estudio de factibilidad para la producción de carbón activo en la Región de Madre de Dios, para generar valor agregado a los residuos producidos por la industria forestal y minimizar biomasa residual producida por esta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE VALERA, Diego Xavier, 2016. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CAÑA GUADUA (*Guadua angustifolia* K.) MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA CON HIDRÓXIDO DE POTASIO. S.I.: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. 170.
- ARIZA, Alicia Martínez de Yuso, 2012. DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO. S.I.: UNIVERSIDAD SAN JORGE.
- ASIMBAYA, C., ROSAS, N., ENDARA, D. y GUERRERO, V.H., 2015. Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto. *Revista Politecnica*, vol. 36, no. 3, pp. 11.
- ASTM D2854-09. Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014.
- ASTM D2866-94. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004.
- ASTM D2867-09. Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2009.
- ASTM D3838-05. Standard Test Method for pH of Activated Carbon. S.I.: West Conshohocken, PA, 2017.
- BASTIDAS, Marlon, BUELVAS, Lina M., MÁRQUEZ, Maria I. y RODRÍGUEZ, Kellys, 2010. Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, vol. 21, no. 3, pp. 87-96. ISSN 07168756. DOI 10.1612/inf.tecnol.4289it.09.
- CORTÉS, Juan, GIRALDO, Liliana, GARCÍA, Andrés, GARCÍA, César y MORENO, Juan, 2008. Oxidación De Un Carbón Activado Comercial Y Caracterización Del Contenido De Grupo Ácidos Superficiales. *Revista*

Colombia de Química, vol. 37, pp. 55-65.

DUEÑAS, Linares Hugo y NIETO, Ramos Carlos. DENDROLOGÍA TROPICAL : «ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DENDROLÓGICA DE LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES DE LA AMAZONÍA PERUANA». Priemera e. Puerto Maldonado: Alfa servicios gráficos SRL, 2010. 1-244. ISBN 9786120005149

FERRADAS, Alberto y TRUJILLO, Hugo, 2013. «Estudio De Un Sistema De Tratamiento Para La Remoción De Fenoles Del Efluente Industrial De La Refineria De Iquitos Con Carbón Activado Granular». , no. crecimiento economico en la region de puno, pp. 2071.

HERNANDEZ AVILES, Joe Ralph, 2012. ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE FACIL ENCENDIDO A PARTIR DE CARBÓN DE LA CASCARILLA DE PALMA AFRICANA Y SU PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA TYSAI S.A. S.I.: Escuela superior politécnica de Chimborazo. 144.

HERNÁNDEZ, Mónica, OTERO, Alexis, FALCÓN, José y YPERMAN III, Yan, 2017. Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO 3 Physiochemical Characteristic of Activated Carbon of Coconut Shell Modified with HNO 3. *Rev. Cubana Quím*, vol. 29, no. 1, pp. 2224-5421.

HERNANDEZ, Roberto, MENDEZ, Sergio, MENDOZA, Christian y CUEVAS, Ana. Fundamentos de investigación. México: s.n., 2017. 265.

LAZO CAMPOSANO, Roberto, 2015. Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. S.I.: Universidad Nacional del Callao. 126.

MARTÍNEZ DE YUSO, Alicia, 2012. Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de Tolueno y N-Hexano. S.I.: Universidad de San Jorge. 183.

MARTÍNEZ FIERRO, Maria Cristina, 2012. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias Sección de Ingeniería Química. S.I.: Universidad Autónoma de Madrid. 280.

- MATOS, Juan, 2010. EFECTO CATALÍTICO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BIOMASA SOBRE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS ASOCIADOS A LA SÍNTESIS DE CARBÓN ACTIVADO. *Interciencia*, vol. 35, no. 1, pp. 41-46.
- MCCABE, WL, SMITH, JC y HARRIOTT, Peter. Unit operations of chemical engineering. S.l.: s.n., 1991. 1112. ISBN 8448119185
- MINAGRI, 2015. *2 Ley Forestal y de Fauna Silvestre Ley N° 29763 y sus Reglamentos - 2015*. 2015. PERÚ: s.n. 2.
- OSPINA-GUARÍN, Viviana M, BUITRAGO-SIERRA, Robison, LÓPEZ-LÓPEZ, Diana P, OSPINA-GUARÍN, V M, BUITRAGO-SIERRA, R y LÓPEZ-LÓPEZ, D P, 2014. Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera Preparation and characterization of activated carbon from castor de-oiled cake. , vol. 17, no. 32, pp. 75-84.
- PAREDES DOIG, Ana L., 2011. Estudio De La Adsorción De Compuestos Aromáticos Mediante Carbono Activado Preparado a Partir De Cascara De Castaña. *Test*, pp. 1-125. ISSN 03038300. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
- PRÍAS BARRAGÁN, Jhon, ROJAS GONZÁLEZ, Carlos, ECHEVERRY MONTOYA, Narly, FONTHAL, Gerardo y ARIZA CALDERÓN, Hernando, 2011. Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 35, no. 136, pp. 381-385. ISSN 0370-3908.
- R, Evaluación DE y BENJAMÍN GUARDADO GÓMEZ JOSÉ ALBERTO RODRÍGUEZ RIVERA LUIS ERNESTO MONGE HERNÁNDEZ, Melvin, 2010. Evaluación de La Calidad Del Carbón Vegetal Producido En Hornos De Retorta Y Hornos Metálicos Portátiles En El Salvador. S.l.: s.n. 20-36.
- REBECA ALEJANDRA GARCÍA LÓPEZ BR YASSER ANTONIO GRANILLO OPORTA TUTOR, Br y LÓPEZ VALERIO, Danilo, 2017. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN-MANAGUA RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO FACULTAD DE CIENCIAS E

INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE QUÍMICA MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACION. ,

RECOBERT, Minerva Plaza, 2015. Carbón activado evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono. ,

RENDON, Garcia, KATHERINE, Vanessa, RIVAS, Machado, ANDREINA, Ruth, PARCIAL, Requisito, AL, Optar y DE:, Título, 2011. UNIVERSIDAD DE ORIENTE. S.I.: UNIVERSIDAD DE OREIBTE. 18.

RINCON SILVA NELSON, 2016. OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE DIFERENTES PRECURSORES LIGNOCELULÓSICOS: CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES FENÓLICOS. *Ingenium*, vol. 10, no. 27, pp. 19-28.

SALAZAR, Delia y RODRIGUEZ, Lisethe, 2017. Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu+2 en soluciones sintéticas [en línea]. S.I.: Universidad Nacional de San Agustín. 137. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3442/Mtsacad.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3214/IMzufedm.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1784/AGviquafr.pdf?sequence>.

SEVILLANO, Ángel y TORRES, Paola, 2013. Obtención de carbón activado a partir de madera: Estudio de Prefactibilidad. S.I.: Universidad Nacional del Cuyo, Mendoza Argentina). 245.

SOTO-PAREDES, Francisco, 2007. Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado. S.I.: Universidad de Chile. 140.

SUN-KOU, Ma. Rosario, OBREGÓN, Daniel, PINEDO, Ángela, PAREDES, Ana Lucia y AYLAS, Javier, 2014. ADSORCIÓN DE METALES PESADOS EMPLEANDO CARBONES ACTIVADOS PREPARADOS A PARTIR DE SEMILLAS DE AGUAJE. *Revista Sociedad Química de Peru*, vol. 80, no. 4, pp. 225-236.

VELÁZQUEZ-TRUJILLO, A., BOLAÑOS-REYNOSO, E. y PLIEGO-BRAVO, Y.S., 2010. Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, ISSN 16652738.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz consistencia

Tabla 39. Matriz consistencia de lógica del trabajo de investigación “Obtención de carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto”

Problema General :	Objetivos:	Marco Teórico Conceptual.	Hipótesis.	Variables Indicadores ^e	Metodología
<p>¿De los residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto se podrá obtener carbones activados con buenas características adsorbentes?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>P-1: ¿Se podrá obtener carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu a partir de</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Obtener carbón activado a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu mediante una técnica ecológica a nivel piloto.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener carbón activado granular y en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu a partir 	<p>Antecedentes de la Investigación</p> <p><i>Fuente especificada no válida.</i>, realizaron la preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera, donde los residuos de biomasa usaron para la producción de carbones activados. Vieron que tras la extracción del aceite de higuera se genera un subproducto sólido (torta) de difícil salida, el que utilizaron en la producción de carbón activado, en busca de la valorización de este residuo sólido. Utilizaron activación física con vapor de agua, dióxido de carbono CO₂ y una mezcla de estos gases,</p>	<p>La obtención de carbones activados mediante una técnica ecológica a partir de residuos maderables de la actividad forestal de la provincia del Tahuamanu presenta buenas características adsorbentes dentro de las normas de calidad de este producto.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>H-1: Es posible obtener carbón activado granular y carbón activado en polvo a partir de residuos maderables de la actividad forestal en la provincia de Tahuamanu</p>	<p><u>Variable dependiente</u></p> <p>Carbón activado</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades fisicoquímicas. • Propiedades morfológicas • Propiedades térmicas <p><u>Variable independiente</u></p> <p>Residuos Maderables</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades morfológicas. 	<p>El procedimiento para la obtención de carbón activado se llevará a cabo en un reactor de lecho fijo (equipo de regeneración de carbón activado) a escala piloto, empleando como agente activante vapor de agua, a presión autogenerada y tiempos de activación de 45, 60 y 90 minutos a 800°C para obtener carbón activado en polvo y tiempos de activación de 60, 90 y 120 minutos para obtener carbón activado granular, para establecer el tiempo óptimo en el que se obtiene el material con mayor capacidad de adsorción, en la caracterización también se determinarán los siguientes</p>

<p>activación física con vapor de agua?</p> <p>P-2: ¿existen diferencias en las propiedades fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales de carbón activado granular y en polvo, obtenido de residuos maderables de las 4 especies?</p> <p>P-3: ¿Existirá diferencias entre la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies?</p> <p>P-4: ¿Cuál será la calidad de los carbones activados obtenidos comparando con las normas técnicas ASTM (American Society for Testing and Materials)?</p>	<p>de activación física con vapor de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar los carbones activados obtenidos mediante técnicas fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales. • Comparar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies. • Evaluar la calidad de los carbones activados obtenidos comparando con las normas técnicas ASTM (American Society for Testing and Materials). 	<p>adicionalmente activación química con vapores de carbonato de potasio K_2CO_3 como agente activante. Caracterizaron los carbones obtenidos usando isotermas de adsorción/desorción de N_2 donde lograron áreas superficiales BET entre 255,98 (m^2/g) y 1218,43 (m^2/g), en el análisis por microscopía electrónica de barrido SEM y energía de dispersión EDS encontraron que los materiales obtenidos por ambos tipos de activación son principalmente amorfos y que las características morfológicas de los carbones obtenidos mediante activación física son muy diferentes de los obtenidos por activación química. Realizaron impregnación con sales de níquel Ni y molibdeno Mo evidenciaron que por características como la alta dispersión obtenida, estos materiales carbonosos presentan un potencial para ser usados como soporte catalítico.</p>	<p>a partir de activación física con vapor de agua</p> <p>H-2: Los carbones activados granular y en polvo obtenido a partir de residuos maderables de 4 especies presentan características fisicoquímicas, espectroscópicas y texturales similares.</p> <p>H-3: Las capacidades de adsorción de los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de 4 especies son similares.</p> <p>H-4: Los carbones activados obtenidos presentan características similares a las establecidas por las normas técnicas ASTM (American Society for Testing and Materials).</p>		<p>parámetros fisicoquímicos: densidad real, densidad aparente, pH del extracto acuoso, Humedad, contenido de cenizas totales, materia volátil, porcentaje de porosidad, volumen de poro, determinación de grupos funcionales por espectroscopia infrarroja, índice de azul de metileno, tamaño de partícula y estado de cristalización por microscopia electrónica de rastreo. Estas propiedades específicas nos permitirán definir un potencial uso en adsorción de determinadas moléculas o contaminantes en el agua, aire, o como soporte de nanopartículas.</p>
---	--	--	--	--	--

Anexo 2: Solicitud de autorización para realización de estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Puerto Maldonado, 10 de Noviembre de 2016

Señor:

Antonio Cardozo Mouzully
 GERENTE GENERAL DE LA EMPRESA CARDOZO & CARDOZO S.A.C.

Presente. -

ASUNTO: Permiso para recolectar muestras de especies maderables con fines de estudio de tesis.

Yo, **Julia Rosa Zela Ochoa**, identificada con DNI N° 44887916, bachiller de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios de la ciudad de Puerto Maldonado, con el debido respeto me presento y digo:

Por medio de la presente me es grato saludarlo y a la vez solicitarle su permiso para la recolección de muestras maderables de Shihuahuaco, Azúcar Huayo, Ana caspi y Estoraque con el fin de realizar la investigación de tesis denominado **"OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES DE LA ACTIVIDAD FORESTAL EN LA PROVINCIA DE TAHUAMANU MEDIANTE UNA TÉCNICA ECOLÓGICA A NIVEL PILOTO"** en tal sentido las muestras servirán para darle un uso alternativo a los desperdicios de la transformación de la madera y poder generar nuevas alternativas de usos, es por ello que se solicita el acceso a su empresa con fines solo de estudio ya que al finalizar dicha investigación se le hará llegar un ejemplar de la evaluación de los resultados.

Al mismo tiempo solicito la carta de autorización y consentimiento para la realización del proyecto de investigación antes mencionado.

Sin otro particular, uso la ocasión para expresarle las muestras de mi estima personal, y agradecer por anticipado su apoyo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
 Msc. Liset Rodríguez Achata
 RESPONSABLE LABORATORIO AMBIENTAL REGIONAL "AR UNAMAD"

M.Sc. Liset Rodríguez Achata.
 ASESORA – UNAMAD

Atentamente,



Bach. Ing. Julia Rosa Zela Ochoa
 TESISISTA - UNAMAD



RECIBIDO
 Fecha: 11/11/2016

Figura 20. Solicitud de permiso para el acceso a la empresa Cardozo & Cardozo S.A.C.

Fuente: Documentación propia, 2016.



CARDOZO & CARDOZO S.A.C
R.U.C. 20450613534

Iñapari, 12 de noviembre de 2016

Señorita:
 JULIA ROSA ZELA OCHOA

Bach. Ing. Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios

Presente.

Yo, Antonio CARDOZO MOUZULLY con documento e Identidad personal N° 05060007, en pleno uso de mis facultades legales e institucionales, como Gerente General de la Empresa CARDOZO & CARDOZO S.A.C. Ubicado en la Ciudad de Iñapari - Provincia Tahuamanu, del Departamento de Madre de Dios, **AUTORIZO A PARTIR DE LA FECHA Y HASTA FINALIZAR LA RECOLECCION DE MUESTRAS MADERABLES O LAS VECES QUE REQUIERA OBTENER MAS INFORCION.** a la Bach. Ing. Forestal, de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, para la investigación de su Tesis denominado "Carbón Activado" de las siguientes especies:

- SHIHUAHUACO
- ESTORAQUE
- ANA CASPI
- AZÚCAR HUAYO

Aprovecho la oportunidad para expresarle que esta Empresa Forestal, brinda apoyo a los estudiantes y bachilleres de las diferentes Universidades Nacionales del Perú, para que realicen trabajos de investigación en las diferentes especies maderables que existen en esta Provincia del Tahuamanu. Así mismo le solicitamos a usted se nos brinde un ejemplar de los estudios realizados que nos servirá para mejorar nuestro manejo dentro de la empresa

Atentamente.



CARDOSO & CARDOSO S.A.C
 R.U.C. 20450613534
Antonio Alberto Cardozo Mouzully
GERENTE GENERAL

Av. León Velarde Mza. G Lote 2 - Iñapari - Tahuamanu - Madre de Dios
 Celulares : Cl. : 982 726824 / Mov. : 944 413351
 E-mail : cardozocardozosac@gmail.com

Figura 21. Autorización de Empresa para la recolección de muestras.

Fuente: Documentación propia, 2016.

"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA
DE ESPECIMENES VEGETALES

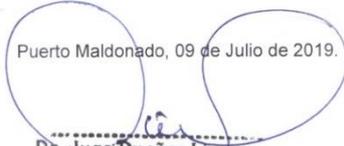
El que suscribe, **Dr. HERNANDO HUGO DUEÑAS LINARES**, Especialista Forestal en Identificación Taxonómica de especies de flora silvestre, mediante Resolución Directoral N° 054-2017-SERFOR/DGGSPFFS-DGSPF, con Código de Licencia LC-ES-2017-009; del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-SERFOR.

CERTIFICA, que los ejemplares (04) presentados por el la Srta. **BACHILLER JULIA ROSA ZELA OCHOA**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios para su identificación y/o determinación, para efectos del proyecto de tesis de investigación intitulado: **"OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES DE LA ACTIVIDAD FORESTAL EN LA PROVINCIA DE TAHUAMANIU MEDIANTE UNA TECNICA ECOLOGICA A NIVEL PILOTO"**. Corresponden a los siguientes taxa aceptados oficialmente:

N°	FAMILIA	GENERO	EPÍTETO ESPECIFICO	NOMBRE COMUN
01	FABACEAE	Dipteryx	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms	Shihuahuaco
02	FABACEAE	Apuleia	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Ana caspi
03	FABACEAE	Myroxylon	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	Estoraque
04	FABACEAE	Hymenaea	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Azúcar huayo

De acuerdo a la descripción de sus características vegetativas y reproductivas, las que están registrada para la Flora de Perú: Departamento de Madre de Dios; en el Catálogo de Angiospermas y Gimnospermas del Perú de Lois Brako and James L. Zarucchi (1993), al APG IV (Angiosperm Phylogenetic Group, 2016) y en el Taxonomic Name Resolution Service v4.0. (2019). Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que considere conveniente. Se anexa al presente Certificado de Identificación los datos correspondientes a la especie en formato Excel.

Puerto Maldonado, 09 de Julio de 2019.


Dr. Hugo Dueñas Linares
 ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
 TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
 Código LIC-ES-2017-009

Anexo 3: Ficha de validación



Lima, 20 de mayo de 2019

Señorita:
 JULIA ROSA ZELA OCHOA
 Bach. De Ing. Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional
 Amazónica de Madre de Dios.
Presente.-

Yo, Omar Paul TRONCOSO HEROS, con DNI 40358941 en pleno uso de mis facultades legales e institucionales, como Investigador del Laboratorio de Polímeros y Bionanomateriales del grupo POLYCOM de la Pontificia Universidad Católica del Perú, doy a conocer que en el laboratorio antes mencionado se realizaron las pruebas de caracterización morfológica: Imagen directa de la estructura con Microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de absorción infrarroja (FTIR), para los carbones activados obtenidos a partir de residuos maderables de las especies Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms), Ana caspi (*Apuleia leiocarpa* (Bocel) JJ. Macar), Estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms) y Azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L. var. *courbaril*), del trabajo de investigación realizado por la Bach. en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la UNAMAD

Atentamente,



 Dr. Omar Troncoso Heros

Figura 22. Constancia de análisis realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú de las muestras de carbón activado.

Fuente: Documentación propia, 2019.

Anexo 4: Certificación taxonómica

"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA **DE ESPECIMENES VEGETALES**

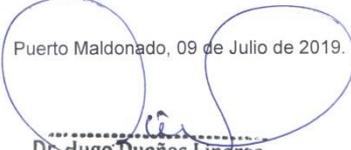
El que suscribe, **Dr. HERNANDO HUGO DUEÑAS LINARES**, Especialista Forestal en Identificación Taxonómica de especies de flora silvestre, mediante Resolución Directoral N° 054-2017-SERFOR/DGGSPFFS-DGSPF, con Código de Licencia LC-ES-2017-009; del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-SERFOR.

CERTIFICA, que los ejemplares (04) presentados por el la Srta. **BACHILLER JULIA ROSA ZELA OCHOA**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios para su identificación y/o determinación, para efectos del proyecto de tesis de investigación intitulado: **"OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES DE LA ACTIVIDAD FORESTAL EN LA PROVINCIA DE TAHUAMANIU MEDIANTE UNA TECNICA ECOLOGICA A NIVEL PILOTO"**. Corresponden a los siguientes taxa aceptados oficialmente:

N°	FAMILIA	GENERO	EPITETO ESPECIFICO	NOMBRE COMUN
01	FABACEAE	Dipteryx	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms	Shihuahuaco
02	FABACEAE	Apuleia	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel)J.F.Macbr.	Ana caspi
03	FABACEAE	Myroxylon	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.)Harms	Estoraque
04	FABACEAE	Hymenaea	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Azúcar huayo

De acuerdo a la descripción de sus características vegetativas y reproductivas, las que están registrada para la Flora de Perú: Departamento de Madre de Dios; en el Catálogo de Angiospermas y Gimnospermas del Perú de Lois Brako and James L. Zarucchi (1993), al APG IV (Angiosperm Phylogenetic Group, 2016) y en el Taxonomic Name Resolution Service v4.0. (2019). Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que considere conveniente. Se anexa al presente Certificado de Identificación los datos correspondientes a la especie en formato Excel.

Puerto Maldonado, 09 de Julio de 2019.


Dr. Hugo Dueñas Linares
 ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
 TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
 Código LIC-ES-2017-009

IDENTIFICACION TAXONOMICA DE ESPECIMENES VEGETALES

JUNLIO, 2019

TESIS: "OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES DE LA ACTIVIDAD FORESTAL EN LA PROVINCIA DE TAHUAMANU MEDIANTE UNA TECNICA ECOLOGICA A NIVEL PILOTO"

Señorita: BACHILLER JULIA ROSA ZELA OCHOA

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	COORDENADAS		FAMILIA	HABITO	HABITAT	LOCALIDAD	Colector	Fecha Coll	ID	FECHA ID
			ESTE	NORTE								
1	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms	Shihuahuaco	447591	8736087	FABACEAE	Árbol	Bosque Húmedo Sub-tropical de terraza baja	Dist. Iñapari, Provincia Tahuamanu, Dpto MDD	JRZO	15/11/2016	HDL	09/07/2019
2	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Ana Caspi	447591	8736087	FABACEAE	Árbol	Bosque Húmedo Sub-tropical de terraza baja	Dist. Iñapari, Provincia Tahuamanu, Dpto MDD	JRZO	15/11/2016	HDL	09/07/2019
3	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	Estoraque	447591	8736087	FABACEAE	Árbol	Bosque Húmedo Sub-tropical de terraza baja	Dist. Iñapari, Provincia Tahuamanu, Dpto MDD	JRZO	15/11/2016	HDL	09/07/2019
4	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Azucar huayo	447591	8736087	FABACEAE	Árbol	Bosque Húmedo Sub-tropical de terraza baja	Dist. Iñapari, Provincia Tahuamanu, Dpto MDD	JRZO	15/11/2016	HDL	09/07/2019

Dr. Hugo Dueñas Linares
ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
Código LIC-ES-2017-009

Referencias:

Vouchers colección JRZO, 15/11/2016
Vouchers Herbario San Marcos (HSM), 2019
Vouchers Herbario MOL, 2019
APG IV, 2016
Voucher Herbario "Alwyn Gentry"
Taxonomic Resolution Service v4.0, 2019
The Plant List, 2019
Tropicos, Missouri Botanical Garden, 2019

Dr. Hugo Dueñas Linares
ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
Código LIC-ES-2017-009

Puerto Maldonado, 09 de Julio de 2019
Dr. Hugo Dueñas Linares

Espec. ID Taxonómica de Flora Silvestre
RD N° 054-2017-SERFOR/DGSPFFS-DGSPF
Código Licencia LC-EC-2017-009

Anexo 5: Registro fotográfico de la secuencia de la investigación



Foto 01: Recolección de muestras.

Fuente: Toma directa.



Foto 02: Muestra de la especie Ana caspi.

Fuente: Toma directa.



Foto 03: Geo-referenciación de la empresa Cardoso & Cardoso SAC de la provincia del Tahuamanu.

Fuente: Toma directa.



Foto 04: Proceso de pesado de las muestras para determinar porcentaje de rendimiento.

Fuente: Toma directa.



Foto 05: Preparación de las muestras para la carbonización.

Fuente: Toma directa.



Foto 06: Proceso de carbonización en la mufla.

Fuente: Toma directa.



Foto 07: Obtención de carbón vegetal.

Fuente: Toma directa.



Foto 08: Pesado de las 4 muestras de carbón vegetal obtenido (Shihuahuaco, Estoraque, Azúcar huayo, Ana caspi).

Fuente: Toma directa.



Foto 09: Proceso de molienda de las muestras de carbón vegetal.

Fuente: Toma directa.



Foto 10: Proceso de tamización.

Fuente: Toma directa.



Foto 11: Tamización en malla N °20.

Fuente: Toma directa.



Foto 12: Tamización en malla N° 200.

Fuente: Toma directa.



Foto 13: Preparación de la solución de azul de metileno.

Fuente: Toma directa.



Foto 14: Reactor de lecho fijo.

Fuente: Toma directa.



Foto 15: Preparación de la curva patrón de azul de metileno.

Fuente: Toma directa.



Foto 16: Determinación de la absorbancia en el espectrofotómetro.

Fuente: Toma directa.



Foto 17: Mezcla de las soluciones en el agitador magnético

Fuente: Toma directa.



Foto 18: Adsorción del carbón activado de la especie Estoraque.

Fuente: Toma directa.

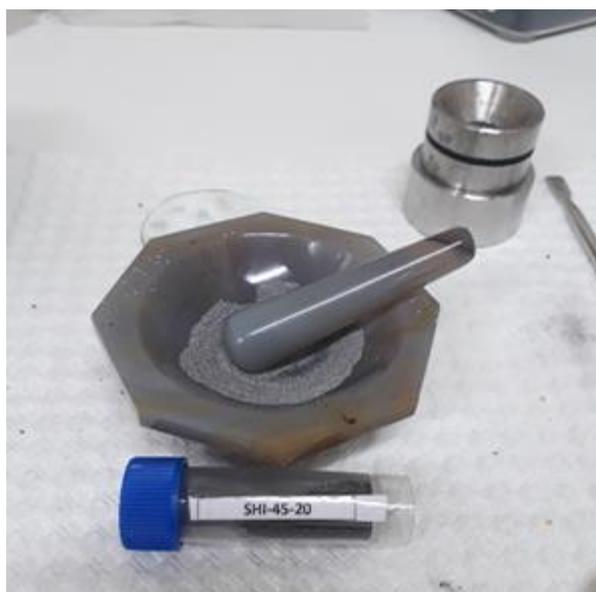


Foto 19: Preparación de la muestra de Carbón Activado Granular de Shihuahuaco para ser observada en el microscopio electrónico de barrido del Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.



Foto 20: Microscopio electrónico de barrido del Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.



Foto 21: Muestra de Carbón Activado Granular de Shihuahuaco observada y procesada en el Microscopio electrónico de barrido del Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.

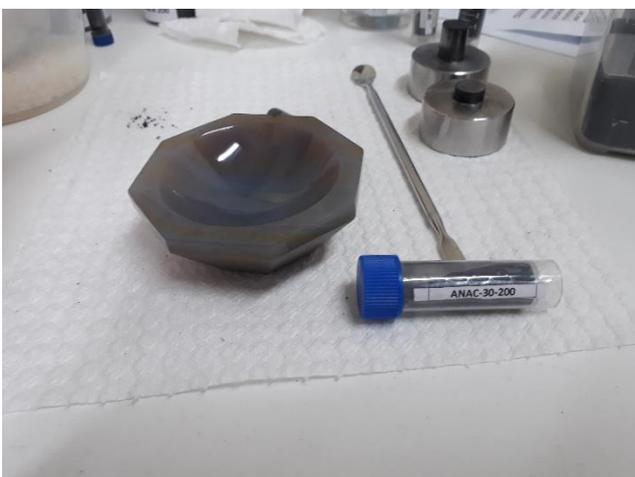


Foto 22: Preparación de la muestra de Carbón Activado Granular de Ana caspi para ser procesada en el espectrómetro infrarrojo del Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.



Foto 23: Procesamiento de la muestra de Carbón Activado Granular de Ana caspi en el espectrómetro infrarrojo del Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.

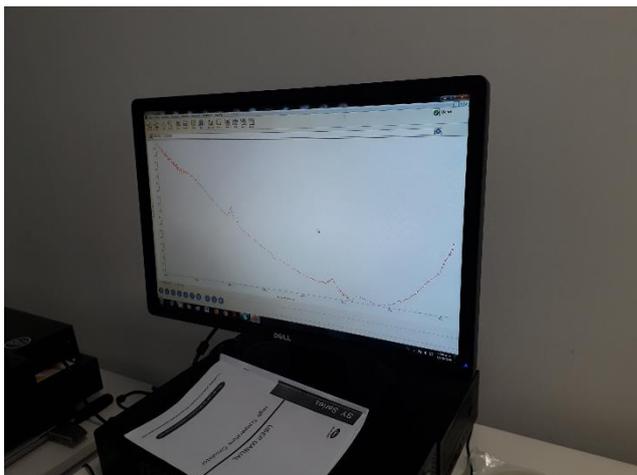


Foto 24: Espectrograma de Infrarrojo con transformada de Fourier de la muestra de Carbón Activado Granular de Ana caspi en el Laboratorio de Polímeros de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fuente: Toma directa.

Anexo 6: Tablas de los análisis de las muestras de carbón activado

Tabla 40. Datos del rendimiento de carbón y carbón activado granular CAG y en polvo CAP.

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO AZUCAR HUAYO			
PESO INICIAL DE LA MADERA(g)	PESO EN CARBÓN VEGETAL(g)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 20_60MIN(Granular)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 200_30MIN (polvo)
500	150.14	63.27	62.97
DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO SHIHUAHUACO			
PESO INICIAL DE LA MADERA(g)	PESO EN CARBÓN VEGETAL(g)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 20_45MIN (Granular)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 200_45MIN (polvo)
500	158.32	56.36	60.60
DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO ESTORAQUE			
PESO INICIAL DE LA MADERA(g)	PESO EN CARBÓN VEGETAL(g)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 20_45MIN (Granular)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 200_30MIN (polvo)
500	129.82	28.86	68.38
DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO ANA CASPI			
PESO INICIAL DE LA MADERA(g)	PESO EN CARBÓN VEGETAL(g)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 20_90MIN (Granular)	PESO CARBÓN ACTIVADO MALLA 200_30MIN (polvo)
500	143.58	69.36	57.25

Tabla 41. *Análisis estadístico descriptivo del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG*

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	69,36	±0,05	69,30	69,40
AZH-60-20	3	63,27	±0,02	63,25	63,29
EST-45-20	3	28,87	±0,06	28,79	28,89
SHI-45-20	3	56,36	±0,06	56,31	56,43

Tabla 42. *Datos del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado granular CAG*

Muestra	% Rendimiento		
	1	2	3
Ana caspi (90 min)	69,37	69,30	69,40
Azúcar huayo (60 min)	63,29	63,25	63,26
Estoraque (45 min)	28,89	28,89	28,79
Shihuahuaco (45 min)	56,43	56,31	56,33

Tabla 43. *Análisis estadístico descriptivo del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP*

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	57,25	±0,06	57,20	57,32
AZH-30-200	3	62,97	±0,05	62,93	63,03
EST-30-200	3	68,38	±0,08	68,29	68,45
SHI-45-200	3	60,60	±0,04	60,55	60,62

Tabla 44. Datos del porcentaje de rendimiento de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	% Rendimiento		
	1	2	3
Ana caspi (30 min)	57,32	57,20	57,23
Azúcar huayo (30 min)	63,03	62,93	62,95
Estoraque (30 min)	68,45	68,29	68,39
Shihuahuaco (45 min)	60,62	60,55	60,62

Tabla 45. Análisis estadístico descriptivo de la densidad real de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	1,004	±0,005	0,999	1,009
AZH-60-20	3	1,005	±0,005	1,001	1,011
EST-45-20	3	0,987	±0,022	0,962	1,000
SHI-45-20	3	1,007	±0,006	1,002	1,014

Tabla 46. Datos de densidad real (DR) de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	Densidad real (g/ cm ³)		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	1,002	1,007	1,014
Estoraque (45 min)	1,000	0,962	0,999
Ana caspi (90 min)	0,999	1,004	1,009
Azúcar huayo (60 min)	1,001	1,003	1,011

Tabla 47. *Análisis estadístico descriptivo para la densidad real de las muestras de carbón activado en polvo CAP*

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	1,005	±0,004	1,001	1,009
AZH-30-200	3	1,013	±0,006	1,007	1,019
EST-30-200	3	0,997	±0,007	0,990	1,003
SHI-45-200	3	1,008	±0,007	1,001	1,015

Tabla 48. *Datos de densidad real (DR) de las muestras de carbón activado en polvo CAP*

Muestra	Densidad real (g/ cm³)		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	1,007	1,015	1,001
Estoraque (30 min)	0,998	0,990	1,003
Ana caspi (30 min)	1,001	1,005	1,009
Azúcar huayo (30 min)	1,007	1,012	1,019

Tabla 49. *Análisis estadístico descriptivo para densidad aparente de las muestras de carbón activado granular CAG*

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	0,21	±0,02	0,19	0,23
AZH-60-20	3	0,33	±0,02	0,32	0,35
EST-45-20	3	0,28	±0,02	0,26	0,30
SHI-45-20	3	0,28	±0,02	0,27	0,30

Tabla 50. Datos de densidad aparente (DA) de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	Densidad aparente (g/ cm ³)		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	0,2830	0,2967	0,2716
Estoraque (45 min)	0,2687	0,2560	0,2965
Ana caspi (90 min)	0,2287	0,1994	0,1912
Azúcar huayo (60 min)	0,3154	0,3494	0,3225

Tabla 51. Análisis estadístico descriptivo para densidad aparente de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	0,55	±0,04	0,51	0,58
AZH-30-200	3	0,54	±0,05	0,49	0,59
EST-30-200	3	0,53	±0,04	0,50	0,57
SHI-45-200	3	0,58	±0,14	0,43	0,70

Tabla 52. Datos de densidad aparente (DA) de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Especie	Densidad aparente (g/ cm ³)		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	0,7012	0,6175	0,4282
Estoraque (30 min)	0,5678	0,4982	0,5212
Ana caspi (30 min)	0,5068	0,5483	0,5777
Azúcar huayo (30 min)	0,5394	0,4862	0,5855

Tabla 53. pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	10,75	±0,03	10,72	10,78
AZH-60-20	3	10,09	±0,04	10,05	10,13
EST-45-20	3	10,83	±0,04	10,78	10,86
SHI-45-20	3	9,95	±0,06	9,90	10,02

Tabla 54. Datos de pH de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	pH		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	10,02	9,90	9,92
Estoraque (45 min)	10,78	10,86	10,85
Ana caspi (90 min)	10,78	10,72	10,74
Azúcar huayo (60 min)	10,09	10,05	10,13

Tabla 55. pH del extracto acuoso de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	N	Media	Desv. est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	10,39	±0,05	10,35	10,44
AZH-30-200	3	9,98	±0,02	9,97	10,00
EST-30-200	3	10,15	±0,03	10,13	10,19
SHI-45-200	3	9,03	±0,09	8,93	9,10

Tabla 56. Datos de pH de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	pH		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	8,93	9,10	9,06
Estoraque (30 min)	10,13	10,19	10,14
Ana caspi (30 min)	10,44	10,35	10,37
Azúcar huayo (30 min)	9,98	10,00	9,97

Tabla 57. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	3,94	±0,06	3,87	3,99
AZH-60-20	3	4,26	±0,03	4,24	4,29
EST-45-20	3	3,21	±0,03	3,18	3,24
SHI-45-20	3	2,61	±0,02	2,60	2,63

Tabla 58. Datos de porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	% humedad		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	2,61	2,63	2,6
Estoraque (45 min)	3,24	3,18	3,21
Ana caspi (90 min)	3,95	3,87	3,99
Azúcar huayo (60 min)	4,26	4,24	4,29

Tabla 59. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	3,82	±0,03	3,80	3,85
AZH-30-200	3	3,54	±0,04	3,50	3,57
EST-30-200	3	1,91	±0,07	1,85	1,99
SHI-45-200	3	6,28	±0,22	6,12	6,53

Tabla 60. Datos de porcentaje de humedad de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	% humedad		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	6,20	6,12	6,53
Estoraque (30 min)	1,90	1,99	1,85
Ana caspi (30 min)	3,85	3,82	3,80
Azúcar huayo (30 min)	3,54	3,50	3,57

Tabla 61. Datos de porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	% de cenizas		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	8,53	8,54	8,60
Estoraque (45 min)	7,20	7,19	7,23
Ana caspi (90 min)	23,15	23,18	23,13
Azúcar huayo (60 min)	8,05	8,01	8,04

Tabla 62. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
ANAC-90-20	3	8,56	±0,04	8,53	8,60
AZH-60-20	3	7,21	±0,02	7,19	7,23
EST-45-20	3	23,15	±0,03	23,13	23,18
SHI-45-20	3	8,03	±0,02	8,01	8,05

Tabla 63. Datos de porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	% de cenizas		
	1	2	3
Shihuahuaco (45 min)	8,18	8,22	8,19
Estoraque (30 min)	5,26	5,17	5,24
Ana caspi (30 min)	15,17	15,13	15,11
Azúcar huayo (30 min)	9,41	9,45	9,43

Tabla 64. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de ceniza total de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	8,20	±0,02	8,18	8,22
AZH-30-200	3	5,22	±0,05	5,17	5,26
EST-30-200	3	15,14	±0,03	15,11	15,17
SHI-45-200	3	9,43	±0,02	9,41	9,45

Tabla 65. Datos de porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado granular CAG

Muestra	% de materia volátil		
	1	2	3
Ana caspi (90 min)	15,34	15,13	14,78
Azúcar huayo (60 min)	10,40	10,23	10,17
Estoraque (45 min)	6,26	6,32	6,38
Shihuahuaco (45 min)	9,56	9,67	10,12

Tabla 66. Datos de porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	% de materia volátil		
	1	2	3
Ana caspi (30 min)	12,60	12,01	12,76
Azúcar huayo (30 min)	8,02	8,50	8,11
Estoraque (30 min)	6,45	6,12	6,19
Shihuahuaco (45 min)	9,49	9,37	9,56

Tabla 67. Análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de materia volátil de las muestras de carbón activado en polvo CAP

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
ANAC-30-200	3	12,46	±0,40	12,01	12,76
AZH-30-200	3	8,21	±0,26	8,02	8,50
EST-30-200	3	6,25	±0,17	6,12	6,45
SHI-45-200	3	9,47	±0,10	9,37	9,56

Tabla 68. *Diámetros de los poros de las muestras de madera de cuatro especies forestales maderables*

Especie	Diámetro de poro de la madera (μm)					
	1	2	3	4	5	6
Ana caspi	9,56	4,86	6,42	6,89	8,65	9,4
Azúcar huayo	21,62	13,49	18,95	17,38	17,85	18,5
Estoraque	17,03	13,99	12,74	11,27	13,67	12,32
Shihuahuaco	13,04	12,53	13,96	15,66	15,51	14,72

Tabla 69. *Diámetros de los poros de las muestras de carbón activado granular CAG de cuatro especies forestales maderables*

Muestra	Diámetro de poros del CAG (μm)					
	1	2	3	4	5	6
Ana caspi (90 min)	4,61	3,98	4,64	5,57	4,69	3,18
Azúcar huayo (60 min)	5,00	5,54	16,17	16,50	9,12	7,50
Estoraque (45 min)	82,11	175,20	162,30	99,90	107,48	77,37
Shihuahuaco (45 min)	14,06	16,38	12,76	13,95	12,41	13,46

Tabla 70. *Diámetros de los poros de las muestras de carbón activado en polvo CAP de cuatro especies forestales maderables*

Muestra	Diámetro de poros del CAP (μm)					
	1	2	3	4	5	6
Ana caspi (30 min)	79,89	80,73	91,53	54,33	90,66	63,44
Azúcar huayo (30 min)	12,16	3,68	8,23	7,93	10,47	2,94
Estoraque (30 min)	4,05	4,57	4,26	4,17	4,15	2,65
Shihuahuaco (45 min)	13,30	11,01	5,51	11,12	9,68	7,50