UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

ESCUELA DE POSGRADO

==========

“EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS RESIDUOS DE MADERA ASERRADA DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* Benth) CON EL PORCENTAJE DEL MATERIAL VOLÁTIL Y HUMEDAD EN EL CARBÓN VEGETAL, REGIÓN UCAYALI 2018”

==========

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS

EN MEDIO AMBIENTE, GESTIÓN SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

FIORELLA ISABEL PÉREZ REÁTEGUI

PUCALLPA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

ANEXO Nº 4

ACTA DE DEFENSA DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OBTENCION DEL GRADO DE MAESTRO O MAESTRO EN CIENCIAS

En la Sala de Grados de la Universidad Nacional de Ucayali siendo las 13 horas, del día 27 de DICIEMBRE, ante el **Jurado** de Tesis o trabajo de investigación constituido por :

Dr. CARLOS PANDURO CARBAJAL ..... Presidente

Dr. IVAN SALVADOR CARDENAS ..... Secretario

Dr. HECTOR JOSÉ QUISPE CERNA ..... Vocal

El aspirante al **GRADO DE MAESTRO O MAESTRO EN CIENCIAS** en: MEDIO AMBIENTE, GESTION SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

Mención: .....

Don(ña) FRIORELLA PEREZ REATEGUI ,

Procedió al acto de Defensa:

a. Con la exposición de la tesis o trabajo de investigación, titulada: "EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS RESIDUOS DE MADERA ASERRADA DE CAPIRONA (Calycophyllum spruceanum Benth) CON EL PORCENTAJE DEL MATERIAL VOLATIL Y HUMEDAD CON EL CARBÓN VEGETAL, REGIÓN UCAYALI 2018"

b. Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Maestro, teniendo presente los criterios siguientes:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

a) Presentación personal
b) Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y/o solución a un problema social y Recomendaciones
c) Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente
d) Dicción y dominio de escenario

Así mismo, el Jurado plantea a la tesis o trabajo de investigación **las observaciones** siguientes:

.....
.....
.....
.....
.....

Obteniendo en consecuencia el Maestrista la **Nota** de ..16.....(Dieciseis)

Equivalente a ..APROBADO...., por lo que se recomienda .....

(aprobado ó desaprobado)

Los miembros del Jurado, firman el presente **ACTA** en señal de conformidad, en Pucallpa, siendo las 14h15m horas del ..27.. de ...DICIEMBRE..... del 2019..

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 297

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS RESIDUOS DE MADERA ASERRADA DE CAPIRONA (CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM BENTH), CON EL PORCENTAJE DEL MATERIAL VOLÁTIL Y HUMEDAD EN EL CARBÓN VEGETAL, REGIÓN UCAYALI 2018

Cuyo autor (es)	:	**PEREZ REATEGUI, FIORELLA ISABEL**
Escuela	:	POSGRADO
Maestría	:	EN MEDIO AMBIENTE
Mención	:	MEDIO AMBIENTE, GESTION SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL
Asesor	:	Mg. DOLMOS CASTRO, MELCHOR HERBERT

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 09 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 26/08/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCIÓN GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL
Dirección General de Producción Intelectual
UCAYALI
ANA DINA PARRO QUISPE
Direc. Gral. Prod. Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, FIORELLA ISABEL PÉREZ REATEGUI

Autor de la TESIS titulada:

"Efecto del contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (Calycophyllum spruceanum Bath), con el porcentaje de material volátil y humedad en el carbón vegetal, región Ucayali 2018"

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Mg Melchor Herbert Dolmos Castro

En el Programa de: Maestría

Mención en: Medio Ambiente, Gestión Sostenible y Responsabilidad Social

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- [x] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 07/02/2020

Email: fiorellaperezreategui@gmail.com Firma: Fiorella

Teléfono: 939171788 DNI: 43056722

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a DIOS, por darme salud y vida. A mi madre Tatiana Isabel Reátegui Herrera, a mi padre Fernando Pérez Leal, a mis hermanos Ulises Fernando y Betsy Geraldine, por su apoyo incondicional.

A mi alma mater y a mis profesores de la Universidad Nacional de Ucayali, por impartir sus conocimientos y compartir sus experiencias.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que me apoyaron en la realización del presente trabajo de investigación:

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Ucayali, por ofrecer la Maestría en Medio Ambiente Gestión Sostenible y Responsabilidad Social.

A mi asesor Mg. Herbert Melchor Dolmos Castro, por su invalorable apoyo y consejo en la realización del presente trabajo.

Al co-asesor PhD. David Fernando Muñoz Negrón, por su invalorable apoyo en el trabajo de investigación.

Al Dr. Fernando Pérez Leal, por su ayuda desinteresada en el procesamiento del proyecto y culminación del presente trabajo.

Al Ing. Juan Manual Pérez Angulo, Jorge Amílcar Vargas Barbarán, Bruno Peixoto Muñoz, por brindarme sus apoyo incondicional en la ejecución del proyecto.

A la empresa que procesa capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) y que transforma los residuos de esta madera aserrada en carbón vegetal producido en el prototipo del proyecto: FINCYT-JK Maderas Export S.A.-UNU.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme sus laboratorios de química de la madera, de fisiología vegetal con materiales y equipos para el análisis requerido para culminar el trabajo de investigación.

RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el prototipo de horno continuo para la carbonización de madera del proyecto: FINCYT-JK Maderas Export S.A. ubicado en la carretera el Radar sin número – distrito de Callería provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

El objetivo principal fue determinar el contenido de material volátil en el carbón vegetal por efecto de la variación en el contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona *(Calycophyllum spruceanum* Benth), región Ucayali, año 2018.

El tipo de investigación que se realizó para el material volátil del carbón obtenido fue exploratorio, correlacional, transversal y experimental. Para la carbonización se realizaron cuatro cargas con el mismo volumen 1 m^3 de residuo de capirona, los tratamientos fueron: T1 + 10 l de agua, T2 + 20 l de agua, T3 + 30 l de agua y T4 + 40 l de agua, resultando luego de los análisis estadísticos que diferencias altamente significativas entre los tratamientos, observando mayor promedio para el T4 con 2,66% de material volátil y 8,29% de humedad, siendo este superior al T3, que tuvo 1,86% de material volátil y con 6,68% de humedad, y este superó al T2 que tuvo 1,28% de material volátil y 4,87% de humedad, y por último T1, tuvo menor contenido de material volátil con 0,75% y 4.63% de humedad, estos resultados nos indican que a mayor contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), existe un incremento significativo en el contenido de material volátil y humedad en el carbón obtenido, lo cual es inconveniente para el medio ambiente y calidad del carbón, para fines de uso doméstico y comercial. Con respecto al porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad del

carbón, se pudo determinar que existe una correlación altamente significativa entre las dos variables, a mayor contenido de humedad en el carbón, existe un incremento significativo del contenido de Material volátil.

Palabras claves: *Calycophyllum spruceanum,* Carbón vegetal, Material volátil, Porcentaje de humedad.

ABSTRACT

The research work was carried out in the continuous furnace prototype for the wood carbonization of the project: FINCYT-JK Maderas Export S.A. located on the road the Radar without number - district of Callería, province of Coronel Portillo, department of Ucayali.

The main objective was to determine the content of volatile material in the charcoal by effect of the moisture content in the load with the residues of the sawn wood of capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), Ucayali region, year 2018.

The type of research that was carried out was exploratory, correlational, transversal and experimental. Carrying out the carbonization by four loads with the same weight and known volume, being the treatments: T1 with $1m^3$ of Capirona residue + 10 l of water, T2 with $1m^3$ of Capirona residue + 20 l of water, T3 with $1m^3$ of residue of Capirona + 30 l of water and T4 with $1m^3$ of Capirona residue + 40 l of water. Calculating the volatile material of the obtained coal.

Regarding the percentage of the volatile material of the charcoal, it could be determined that there are highly significant differences between the treatments in studies, observing that of four treatments, the T4 obtained the highest average percentage of volatile material with 2,66% and 8,29% humidity, this being higher than T3, which had 1,86% volatile material and 6,68% humidity, and this exceeded T2 which had 1,28% volatile material and 4,87% humidity, and finally T1, had lower content of volatile material with 0,75% and 4,63% humidity, these results indicate that the higher moisture content in the sawn wood residues of capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), there is a significant increase in

the content of volatile material and humidity in the coal obtained, which is inconvenient for the environment and quality of coal.

Keywords: *Calycophyllum spruceanum,* Charcoal, Volatile material, Percentage of humidity.

INTRODUCCIÓN

La madera capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) es una materia prima importante para la industria forestal de la región Ucayali. De ella se obtiene tablas, listones, tablones para diversos usos y residuos como: despuntes, bloques, tapas, que son utilizados para hacer carbón, pero la mayor cantidad de estos pasan a ser desperdicios que junto con el aserrín que se queman contaminan el medio ambiente. Una forma de aminorar el daño ambiental es mediante la destilación seca o pirolisis, en otros términos se trata de hacer el carbón industrial con control de la humedad para conocer el porcentaje de material volátil y humedad del producto de la carbonización y garantizar su calidad.

El carbón vegetal con mayor materia volátil se enciende fácilmente pero al quemar produce humo; por otro lado el carbón con menor materia volátil se enciende con más dificultad sin embargo su combustión es más limpia.

A la fecha no se reporta información del efecto del contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), y el porcentaje del material volátil y humedad del carbón obtenido en la región Ucayali.

Por lo que el presente trabajo “Efecto del contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), con el porcentaje del material volátil en el carbón vegetal, región Ucayali 2018”, tiene por objetivo determinar el contenido de material volátil y humedad del carbón obtenido a partir de distintos contenidos de humedad de los residuos de la madera aserrada de capirona.

Por lo que se planteó elaborar carbón a partir de desechos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con distinto contenido de humedad, para determinar el efecto de la humedad de los residuos en el contenido de material volátil y humedad del carbón obtenido.

El tipo o diseño metodológico fue exploratorio correlacional, transversal y experimental, siendo los tratamientos los siguientes: T1 Vagón 1 con $1m^3$ de residuos de madera aserrada de capirona + 10 litros de agua, T2 Vagón 2 con $1m^3$ de residuos de madera aserrada de capirona + 20 litros de agua, T3 Vagón 3 con $1m^3$ de residuos de madera aserrada de capirona + 30 litros de agua y T4 Vagón 4 con $1m^3$ de residuos de madera aserrada de capirona + 40 litros de agua, todos los tratamientos.

Los datos sobre porcentaje de material y porcentaje de humedad fueron obtenidos al azar, del carbón obtenido de cada vagón en los niveles encima, medio y fondo. Se empleó el diseño completamente randomizado con un nivel de significancia α 0,05 utilizando software estadístico. Análisis de regresión y correlación. El tratamiento de los datos consistió en 4 unidades con cuatro repeticiones y a un tamaño uniforme. Los promedios obtenidos fueron sometidos a la prueba de Tukey.

ÍNDICE

DEDICATORIA……vi

AGRADECIMIENTO……vii

RESUMEN……viii

ABSTRACT……x

INTRODUCCIÓN xii

CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....1

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5

1.2.1. Problema General..... ….5

1.2.2. Problemas Específicos 5

1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS 6

1.3.1. Objetivo General.....6

1.3.2. Objetivos Específicos.....6

1.4. HIPÓTESIS Y/O SISTEMAS DE HIPÓTESIS 7

1.4.1. Hipótesis General 7

1.4.2. Hipótesis Específicas.....7

1.5. VARIABLES 8

1.5.1. Variable Independiente 8

1.5.2. Variable Dependiente 8

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 11

1.7. VIABILIDAD.....12

1.8. LIMITACIONES 13

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 14

2.1. ANTECEDENTES 14

2.2. BASES TEÓRICAS 18

2.2.1. El carbón vegetal 18
2.2.2. El carbonizador 27
2.2.3. La contaminación ambiental y el carbón vegetal 36
2.2.4. La madera 41
2.2.5. Humedad 43
2.2.6. Material volátil 50
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES 57
2.4. BASES EPISTÉMICAS 60
2.5. BASES ANTROPOLÓGICAS 61
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 62
3.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN 62
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 62
3.3. DISEÑO Y ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN 67
3.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS 68
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA 69
3.6. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 70
3.7. TÉCNICAS DE RECOJO, PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS 72
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 74
4.1. PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL 74
4.2. PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CARBÓN VEGETAL 77
4.3. REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL Y EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CARBÓN DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* Benth) 79
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 82
5.1. PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL 82

5.2. PORCENTAJE DE HUMEDAD 83

CONCLUSIONES 85

SUGERENCIAS 86

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 87

ANEXOS 100

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de las variables……... 10

Tabla 2. Descripción de las características más importantes de la capirona…… 16

Tabla 3. Composición química del carbón vegetal……. 23

Tabla 4. Composición química del carbón vegetal……. 23

Tabla 5. Variación de la composición del carbón y rendimiento en función de la temperatura de carbonización…….. 24

Tabla 6. Requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación… 33

Tabla 7. Requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación a Alemania……. 34

Tabla 8. Características del carbón vegetal para altos hornos en Brasil……. 34

Tabla 9. Especificaciones de calidad del carbón vegetal - Norma Cubana……. 36

Tabla 10. Elementos volatizados emitidos en la quema de biomasa y sus posibles efectos en la salud humana……... 40

Tabla 11. Formas como se encuentra el agua contenido en la madera. 45

Tabla 12. Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali……. 48

Tabla 13. Disposición experimental, distribución de los tratamientos y repeticiones…… 69

Tabla 14. ANVA o análisis de varianza……... 69

Tabla 15. Materia prima e insumos, materiales, equipos e instrumentos. 71

Tabla 16. Resultados del porcentaje material volátil en el carbón de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…… 74

Tabla 17. Promedio, desviación estándar y prueba de Tukey con una significancia del 5%, del porcentaje de material volátil del carbón, en cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…… 75

Tabla 18. Resultados del porcentaje de humedad del carbón de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…… 77

Tabla 19. Muestra prueba de promedio de Tukey, desviación estándar, y significancia del porcentaje de humedad, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…… 78

Tabla 20. Promedio del porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad en capirona (Calycophyllum spruceanum Benth)… 79

Tabla 21. Análisis de varianza del porcentaje de material volátil, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…….. 103

Tabla 22. Análisis de varianza del porcentaje de humedad, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).. 103

Tabla 23. Muestra regresiones R2, correlaciones inversas y significativas relacionadas al material volátil y humedad del carbón vegetal en capirona……. 104

Tabla 24. Condiciones climatológicas de Pucallpa mayo a agosto del 2018……. 104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del prototipo de carbonizador. Horno rotatorio para la obtención de carbón vegetal de calidad de hasta 90% de producción continua y sostenible…… 28

Figura 2. Flujo-grama o esquema experimental que se utilizó para la conducción y ejecución de la proyecto de investigación…… 73

Figura 3. Porcentaje de material volátil del carbón, en relación a tratamientos con diferentes contenido de humedad en el residuo de madera capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), antes de su carbonización…….. 76

Figura 4. Porcentaje de humedad del carbón, en relación a tratamientos con diferentes contenido de humedad en el residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) antes de su carbonización…… 78

Figura 5. Muestra línea de regresión y correlación entre el porcentaje de humedad y el material volátil en carbón capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth)…… 80

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Caldero del horno carbonizador para producir calor para la fabricación de carbón vegetal…….. 105

Fotografía 2. Prototipo para la fabricación de carbón vegetal. Tuberías del horno para la distribución del calor a los vagones para la carbonización de la capirona…… 105

Fotografía 3. Residuos de capirona y prototipo FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU para la fabricación de carbón vegetal…….. 106

Fotografía 4. Prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. -UNU para la fabricación de carbón vegetal…….. 106

Fotografía 5. Vagones del prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. -UNU para la fabricación de carbón vegetal……..…….. 107

Fotografía 6. Puerta del prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU para la fabricación de carbón vegetal……. 107

Fotografía 7. Residuo de madera aserrada de capirona *(Callycophullum spruceanum* Benth)……... 108

Fotografía 8. Preparación de los vagones hermetizados con barro en el contorno de la puerta y tapas superiores para la siguiente carbonización……. 108

Fotografía 9. Descarga de las primeras muestras de carbón de los vagones…… 109

Fotografía 10. Sacos de carbón de la realización de los primeros ensayos……. 109

Fotografía 11. Procedimiento previo a la determinación del material volátil del carbón……. 110

Fotografía 12. Muflas y estufa de la Universidad Nacional de Ucayali.. 111

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), de la región Ucayali, varía el contenido de humedad y se asume que puede influir luego del proceso de carbonización en el porcentaje del material volátil en el carbón vegetal y humedad del carbón obtenido.

En el departamento de Ucayali, se elabora carbón vegetal con madera aserrada de diferentes especies entre ellas *Calycophyllum spruceanum, y* no se toma en cuenta el contenido de humedad de los residuos a ser sometidos a la carbonización lo cual genera el desprendimiento de material volátil en elevadas proporciones contaminando el medio ambiente, al mismo tiempo el carbón obtenido contiene material volátil y de humedad que debe ser cuantificado, lo cual afecta al mismo tiempo en la calidad del producto de la carbonización.

En el departamento de Ucayali y Loreto, la empresa JK Maderas Export S.A., se dedica al aserrío de capirona para exportación y en la actualidad cuenta con el proyecto en marcha denominado: “Desarrollo y validación de un prototipo de la fabricación de carbón vegetal, sin perjuicio del medio ambiente en la región Ucayali”. Que consiste en cargar con los residuos de la madera en vagones dentro de horno carbonizador esta labor se realiza sin tomar en cuenta al contenido de humedad, tomando la materia prima tal como se encuentra en el del medio ambiente, de manera

similar como lo hacen los productores de carbón vegetal con hornos artesanales en los aserraderos donde producen carbón de sus residuos de madera, sin considerar el contenido material volátil y contenido de humedad del carbón obtenido.

Problema en sí es la quema de residuos y la fabricación del producto.

Los moradores cercanos a los lugares de fabricación del carbón vegetal, en Pucallpa, denuncian que los carboneros contaminan la ciudad las 24 horas del día sin que ninguna autoridad pueda controlarlos o erradicarlos a otros lugares. Muchas personas se dedican a la producción de carbón, elaboran verdaderos volcanes que contaminan la ciudad con humaredas que perjudican a los vecinos; quienes, además, no pueden solear sus ropas porque el humo y las cenizas ensucian y contamina todo el lugar. Además de denunciar la contaminación que existe en el medio, varios vecinos están enfermos, tienen sus pulmones llenos de hollín; es por eso que están reclamando continuamente. (Enlacenacional, 2010)

Los carboneros están contaminando la ciudad, han establecido sus forma de vida elaborando muchos "volcanes" de carbón que todas las noches expelen fuertes humaredas, las cuales ingresan a los hogares y ocasionan graves enfermedades pulmonares; además, generan complicaciones a los que padecen asma, los cuales han recomendado reubicarlos en otros lugares donde no causen contaminación ambiental, en todo el país está prohibido la elaboración del carbón vegetal porque contamina el medio ambiente y pone en riesgo la salud de la población, (Enlacenacional, 2010), sin embargo se sigue desenvolviendo porque es un medio de trabajo, permite reaprovechar y darle valor a los desperdicios

de la industria de la transformación primaria de la madera, es una fuente de energía renovable.

Según el SERFOR (2016), en el anuario forestal y de fauna silvestre del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) organismo técnico del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), en el año 2016, en el Perú la producción de carbón vegetal fue de 4 millones 547 mil 29 kilogramos. De esta producción nacional, Ucayali aportó con 3 millones 263 mil 717 kg de carbón vegetal, seguido de Tumbes con 642 mil 300 kg, Piura con 351 mil 960 kg, Madre de Dios con 107 mil 975 kg; es decir Ucayali es la región con mayor producción de carbón vegetal a nivel del país, con 38% del total de la producción. El 15 de noviembre del 2018 se dio a conocer la noticia a nivel nacional sobre el escándalo de la explotación infantil en la producción del carbón vegetal, tanto así que esta actividad no es vista con buenos ojos, sin embargo, es una problemática que enfrenta este sector productivo aunque informal mueve la economía de varias familias en la región, en muchos casos en extrema pobreza como su único sustento de vida. (Ímpetu, 2018)

Según Noticias Caracol (2017) cita que: Planeación Nacional de Colombia dice que en 2015 hubo 2.286 muertes por contaminación del aire por el uso de leña y carbón para cocinar. Además menciona que de acuerdo con el neumólogo Carlos Torres el humo de la quema de leña tiene graves consecuencias respiratorias, puede haber un cuadro de irritación aguda de las vías aéreas, cuadros de tos, cuadros agudos de bronquitis. La enfermedad pulmonar obstructiva crónica o EPOC (es una enfermedad crónica y progresiva que no tiene cura, la cual a su vez abarca dos

enfermedades principales el enfisema pulmonar y la bronquitis crónica según NIC (s.f.), causa la dificultad para respirar, es potencialmente mortal, más que la tos de un fumador según WHO (2017), según el Dr. Torres en Colombia la principal causa de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica o EPOC no es por el cigarrillo sino por el contacto del humo de la leña.

Según Canul Tun (2013), refiere que en el proceso de carbonización se eleva la temperatura de la leña hasta valores de 450 °C u 800 °C con la finalidad de modificar la estructura de la manera y mejorar sus propiedades combustibles, cuando el contenido de humedad de la leña va de 50 a 100% se utiliza mayor cantidad de leña para quemarse dentro del horno para evaporar el exceso de agua antes que se inicie la carbonización, por lo que los rendimientos son considerados bajos. Al respecto reportado por Cano et al. (2003), mencionan que la humedad de la leña para ser utilizada en la elaboración del carbón vegetal debe presentar contenido de 25 a 30%, y catalogan a la leña con un contenido de humedad de 70 a 80% como verde, también recomienda que la leña debe de cortarse en longitudes de 50 cm, con diámetro de 5 a 20 cm para favorecer una completa carbonización.

Por otro lado según la FAO (1983), el carbón debe presentar menos del 30% de material volátil para que sea considerado de buena calidad. Sin embargo, si se considera la norma DIN 51 749 de Alemania permite como máximo 16% de material volátil, para ser aceptadas por el mercado. Según NC (2008), especificaciones de calidad del material volátil del carbón para la calidad I (leñas procedentes de maderas duras) lo ideal es 10,0-15,0% y para calidad II (leñas procedentes de maderas semiduras y blandas) es 20,0-25,0% en masa. En cuanto al carbón fresco, apenas abierto al horno,

debe contener 1% de humedad. La absorción de humedad del aire es rápida y gana con el tiempo humedad aún sin mojarse con la lluvia, alrededor del 10%, aún para el carbón vegetal bien quemado, el material volátil contiene los ácidos piroleñosos y alquitranes solubles, que son contaminantes del medio ambiente. Así mismo se indica puede suceder en la quema de fosas o parvas aumento de la higroscopicidad del carbón y su contenido de humedad puede subir al 15% o más, considerándose limitaciones de calidad las especificaciones fuera de 5 a 15% de humedad del peso bruto del carbón vegetal.

Según Ribeiro y Vale (2006) el carbón vegetal para ser considerado de buena calidad para uso doméstico, debe tener baja humedad, bajo contenido de material volátil.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿El contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) tiene efecto con el contenido de material volátil y humedad en el carbón vegetal, región Ucayali 2018?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Si se somete a distintos contenido de humedad de carga, el proceso de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) cuál será el porcentaje de material volátil?

- ¿Si se somete a distintos contenido de humedad de carga, el proceso de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) cuál será el porcentaje de humedad del carbón vegetal producido?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.3.1. Objetivo General

- Determinar el contenido de material volátil y humedad en el carbón vegetal obtenido según variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), región Ucayali 2018.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de material volátil del carbón obtenido y de la variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), región Ucayali 2018.
- Determinar la relación entre la humedad de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycoplyllum spruceanum* Benth), y el porcentaje de humedad del carbón producido, así como la relación con el material volátil.

1.4. HIPÓTESIS Y / O SISTEMAS DE HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

- Si se elabora carbón a partir de desechos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con la variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización, se determinará el efecto de la humedad en el porcentaje de material volátil y humedad del producto obtenido en la región Ucayali 2018.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- H1. Si se somete a distintos contenido de humedad en los vagones de carbonización a los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), entonces se determinará que hay relación entre la humedad de los residuos de madera a carbonizar y el porcentaje de material volátil.

- H2. Si se somete a distintos contenido de humedad en los vagones de carbonización a los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), entonces se determinará que hay relación entre la humedad de residuos de madera a carbonizar y el porcentaje de humedad del carbón producido.

1.5. VARIABLES

1.5.1. Variable Independiente

- **Contenido de humedad** en 1 m^3 de residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) a carbonizar en cada vagón.

Tratamiento 1 o T1 = Vagón 1 + 10 litros de agua

Tratamiento 2 o T2 = Vagón 2 + 20 litros de agua

Tratamiento 3 o T3 = Vagón 3 + 30 litros de agua

Tratamiento 4 o T4 = Vagón 4 + 40 litros de agua

Indicadores:

Variable Independiente: Contenido de humedad por vagón.

Volumen de agua añadida por vagón, en litros por metro cúbico de madera a carbonizar, correspondiente a cada tratamiento en el prototipo del proyecto FINCYT-JK maderas Export SA, en cuyo horno se procesaron la carbonización en cuatro vagones al mismo tiempo con distinto contenido de humedad.

1.5.2. Variable Dependiente

- **Porcentaje de materia volátil en el carbón obtenido** de residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con la variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización respectivamente.

- **Porcentaje de humedad en el carbón obtenido** de residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con los distintos contenidos de humedad en los vagones de carbonización respectivamente y su relación con el material volátil.

Indicadores:

Variable Dependiente: % de material volátil y % de humedad y su relación con el % del material volátil.

La determinación del porcentaje de material volátil y porcentaje de humedad en el carbón obtenido, se realizó en el laboratorio de transformación y química de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

DEFINICIÓN DE VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
X_1: Independiente Contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada a carbonizar.	Humedad de los residuos de capirona (cada vagón con un contenido adicional de humedad), con 3 repeticiones por vagón. Vagón 1 con 1 m^3 de residuo de capirona + 10 litros (L) de agua Vagón 2.- con 1 m^3 de residuo de capirona + 20 litros de agua. Vagón 3.- con 1 m^3 de residuo de capirona + 30 litros de agua Vagón 4.- con 1 m^3 de residuo de capirona + 40 litros de agua.	Volumen de agua aplicada en cada vagón.	• Litros de agua por vagón	**TIPO O DISEÑO METODOLÓGICO:** Exploratorio correlacional, transversal Los datos fueron obtenidos al azar, de cada vagón niveles encima, medio y fondo. Se empleó el diseño completamente randomizado con un nivel de significancia α 0,05 utilizando software estadístico. Análisis de regresión y correlación. El tratamiento de los datos consistió en 4 unidades con 4 repeticiones y a un tamaño uniforme. Los promedios obtenidos fueron sometidos a la prueba de Tukey.
Y_1: Dependiente Porcentaje de material volátil y porcentaje de humedad del carbón vegetal obtenido	Material volátil, obtenido de carbón de residuos de madera aserrada de capirona (Calycophyllum spruceanum Benth) preparada con distinto contenido de humedad de cada vagón respectivamente. - Porcentaje de humedad del carbón según tratamiento de los desechos de madera aserrada de capirona (Calycophyllum spruceanum Benth), y su relación con el porcentaje de material volátil.	Contenido en Porcentaje de material volátil en el carbón obtenido en cada vagón. Contenido de humedad del carbón obtenido en cada vagón y su relación con el porcentaje de material volátil.	**% de materia volátil** del carbón obtenido **% humedad** del carbón obtenido y su relación con el porcentaje de material volátil.	

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La carbonización de madera en la región Ucayali es en forma artesanal, sin ningún control de calidad. En cuanto a residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) sucede lo mismo, motivo por el cual se determinó el efecto del contenido de humedad del residuo de la madera en la carga en el contenido del material volátil y humedad del carbón obtenido, lo cual tiene que ver con la calidad de carbón vegetal y sus características, así conocer los efectos de los factores externos en función de su uso como combustible doméstico o industrial para generar mayor conocimiento sobre el proceso de producción, lograr constatar la relación directa entre la humedad con el material volátil del carbón vegetal producido, permitirá una cultura de uso limpio de carbón, más eficiente y menos contaminante, además se utilizaría menos carbón vegetal en la combustión consiguientemente se tendría emisiones tóxicas en los gases de la combustión. La calidad del carbón vegetal se define según algunas de sus propiedades y, si bien todas en cierto modo están interrelacionadas, se miden y se evalúan por separado: como el porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad, contenido en el carbón vegetal, así como el poder calórico, cenizas y carbono fijo.

La importancia de este estudio está relacionada con el conocimiento que se aportará para minimizar la descarga de contaminante al aire, prevenir y controlar la contaminación atmosférica ya que la elaboración o producción del carbón vegetal tiene un importante impacto ambiental que es necesario disminuir. Los humos emitidos por los hornos, el gas producido por la carbonización tiene un elevado contenido de monóxido de

carbono, que puede generar riesgos en la salud, si bien no son directamente venenosos pueden tener efectos perjudiciales a largo plazo sobre el sistema respiratorio (Nuevodiarioweb, 2018). La eficiencia depende del prototipo de carbonizador que debe tener un diseño adecuado y de los estudios realizados con respecto a la humedad y material volátil están basado en una búsqueda permanente de innovaciones que tiendan al perfeccionamiento de la tecnología y de los procesos de producción industrial del carbón vegetal, el cual es usado como fuente energética en la industria siderúrgica, en el tratamiento y re-uso del agua para consumo humano e industrial también para la industria carbo-química, éstas demandas de consumos industriales (carbón vegetal) generarían en nuestra Amazonía actividades económicas muy promisorias.

1.7. VIABILIDAD

El presente trabajo de investigación contó con los recursos financieros para su ejecución, asumida por el proyecto FINCYT-JK Maderas Export SA-UNU y la contribución adicional de la graduando y del asesor, se dio por disponer de la materia prima (para la elaboración del carbón) y del prototipo en la actual operación del proyecto FINCYT-JK Maderas Export SA-UNU, en la cual se realizó la parte experimental. Las determinaciones fisicoquímicas a través de materiales y equipos, así con la información necesaria se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Ucayali, donde la información que se busca, fue obtenida, procesada. Además se contó con el apoyo del PhD David Fernando Muñoz Negrón, docente del instituto Tecnológico Autónomo de México; los profesores del curso de la maestría, colaboradores

(profesionales como el Dr. Fernando Pérez Leal profesor Principal del curso Fisiología Vegetal, el Ingeniero José Carlos Saavedra Paredes jefe de planta del Proyecto FYNCYT.

1.8. LIMITACIONES

Los residuos de madera aserrada de la especie capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) no tenían el mismo tamaño en longitud y espesor por lo tanto estas determinaciones podrían estar limitadas por el tamaño de la muestra, para el análisis en el laboratorio se muestreó carbones de un rango de 5 a 7 cm de espesor, extraídos de los vagones después de la carbonización de parte superior medio e inferior, discriminando los de menor y mayor volumen.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Según Duke (2009). La capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) es una especie heliófita, frecuente en bosques secundarios pioneros y tardíos, en suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables y en las zonas ribereñas. Se halla también en bosques primarios. Pueden llegar a formar extensas agrupaciones más o menos homogéneas llamadas “capironales” en las orillas de los principales ríos amazónicos.

Según Maderas ODL (2011), la capirona es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es moderadamente estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media a alta. Madera moderadamente fácil de aserrar y de buen comportamiento a la trabajabilidad. Al secado artificial se comporta en forma regular, requiere un programa suave para evitar los riesgos de agrietamiento. Tiene buena resistencia al ataque biológico, no requiere preservación, madera durable, especialmente en elementos fuera del contacto con el suelo. La madera se puede utilizar para pisos, parquet, molduras, tarugos, construcción naval, estructuras pesadas vigas, carrocerías, tornería, artículos deportivos raquetas de tenis y ping-pong, mangos de herramientas. La distribución de la especie fue obtenida de la literatura y de reportes de herbario, se encuentra en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Loreto y Ucayali, entre 0 y 1000 msnm. La especie crece en comunidades denominados

"capironales", existe en regulares cantidades en la Amazonía del Perú. El árbol: Alcanza 35m de altura total y 0.70 a 1.80 m de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto cilíndrico. La corteza externa es de color marrón verdoso que al desprenderse en placas coriáceas expone el tronco blanco grisáceo por ello también se le conoce como "palo mulato".

Tabla 2. Descripción de las características más importantes de la capirona.

Especie	Capirona
Nombre Científico Familia	*Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook.* Rubiaceae
Nombre común y sinonimia	Nombres comunes en Perú: capirona, capirona negra, palo mulato, Bolivia: guayabochi, polo blanco. Colombia: capirona de altura, guayabete. Ecuador: capirona. SINONIMIA Eukylista spruceana Benth.
Nombre comercial internacional	Palo mulato o Pau mulato.
Descripción macroscópica (color, textura)	Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de la madera (albura) de color blanco cremoso y las capas internas (duramen) de color blanco pardo con vetas de color marrón claro, observándose entre ambas capas muy poco contraste en el color. En la madera seca al aire la albura se toma de color blanco HUE 8/2 2.5Y y el duramen se toma a amarillo HUE 8/6 10YR. (Munsell Soil Color Charts). Olor No distintivo. Lustre o brillo Medio. Grano Recto ha ligeramente entrecruzado. Textura Fina. Veteado o figura: Jaspeado tenue, bandas paralelas.
Características físicas	Densidad básica 0.76 g/cm^3. Contracción tangencial 9.00 % Contracción radial 5.00% Contracción volumétrica 15.00% Relación T/R 2.30

Fuente: Maderas ODL (2011)

Características mecánicas	Módulo de elasticidad en flexión 100,000 kg/cm^2 Módulo de rotura en flexión 723 kg/cm^2 Compresión paralela (RM) 283.00 kg/cm^2 Compresión perpendicular (ELP) 67.00 kg/cm^2 Corte paralelo a las fibras 87 kg/cm^2 Dureza en los lados 425 kg/cm2 Tenacidad (resistencia al choque) 2.0 kg-m
Usos de la Madera	Madera estructural en vigas, viguetas, columnas. Pisos (parquet), machihembrados, postes, piezas torneadas, mangos de herramientas, artículos de deporte, tarugos, molduras, construcciones navales. Uso medicinal con la corteza

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. El carbón vegetal

Según Díaz et al. (2010), El carbón vegetal es un combustible producto de la combustión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la madera, expuesta a altas temperaturas durante un tiempo determinado; ésta reacción de carbonización se llama pirólisis y varía ampliamente en su composición debido a diversos factores que intervienen en el proceso de carbonificación.

El carbón es una materia sólida ligera negra y muy combustible. El carbón obtenido de la madera resultante de la combustión incompleta, en forma tradicional se obtiene haciendo en el suelo un hoyo de forma cónica y clavando en el centro un palo fuerte alrededor del cual se colocan los pedazos de leña formando un cono truncado sobre el terreno, unido por su base al cono formado por el hoyo; se cubre todo de ramas y de tierra dejando algunos respiraderos, se prende fuego a la pira así dispuesta y se deja algunos días, hasta que se verifica la carbonización. Puede también obtenerse el carbón vegetal por otros métodos. (FAO, 1983)

Cuevas y Rojas (2012), en un estudio de la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en la producción de carbón de capirona en hornos artesanales en Pucallpa, Km 8,700 de la Carretera Federico Basadre de Pucallpa a 154 m.s.n.m. en los orificios del horno 12,460.3ppm, este estudio da a conocer que la fabricación del carbón de la capirona es altamente contaminante de CO_2, aun siendo ligeramente inferior a especies como shihuahuaco y el tahuarí, no obstante que en el carbón obtenido queda una gran parte del carbono y no es liberado al

espacio, como si ocurre cuando hay quema de material vegetal en espacio abierto, sin embargo esto incrementa la contaminación de CO_2. Por otro lado los mismos autores reportan que el CO_2 que se incrementó anualmente a la atmósfera es de 0,5ppm/año y en el año 2012 387ppm/año. Así mismo indica que el proceso de carbonización artesanal termina en 15 días, junto con las emisiones de CO_2, y que el contenido de humedad de la madera a carbonizar sea lo más bajo posible y no superior al 20%, la madera recién cortada contiene entre 40 a 60 % de humedad, aconsejan la desecación previa. Al momento de la carbonización la madera sufre una serie de cambios químicos, como la deshidratación, destilación de aceites esenciales, desprendimiento de CO_2 y CO, 2,2% de hemicelulosa, 59.71% de celulosa y 0,14 de sílice y dentro de su composición no se encuentran gomas, resinas, taninos o látex. Las emisiones se incrementan los tres últimos días del proceso de producción de carbón. También recomiendan se mejore el tipo de horno, de menor emisión de CO_2 y el tiempo de carbonización disminuya.

Según Pinchi y Panduro (2012), para el análisis del carbón vegetal se usa la Norma ASTMD 1762 “Estándar Method for Chemical Análisis of Wood Charcoal, reaprobada en 1990. Partiendo de la determinación del contenido de humedad se toma 2 g de carbón, disponiendo en 10 crisoles de porcelana, posteriormente se introduce a la estufa, 24 horas a 103 ± 2 °C, seguidamente se enfría en el desecador y después se calcula por diferencia de peso el contenido de humedad usando la fórmula:

$$\boldsymbol{H}\% = \left(\frac{\boldsymbol{Ph} - \boldsymbol{Ps}}{\boldsymbol{Ph}} \times \mathbf{100} \right)$$

Dónde:

H%: Humedad del carbón

Ph: Peso húmedo o acondicionado de la muestra

Ps: Peso seco de la muestra

Enseguida se procede con la determinación del material volátil usando los mismos crisoles anteriores con el mismo carbón, introduciendo a la mufla a 950 °C por un tiempo de 7 minutos Las muestras pasan al desecador por 1 hora, para su enfriamiento a temperatura ambiente, antes de ser pesadas, luego descontando el peso del crisol se determina el peso final de la muestra, y se calcula el porcentaje de materias volátiles, con la fórmula según. Gonzales et al. (1990)

$$\boldsymbol{MV}\% = \left(\frac{\boldsymbol{PH} - \boldsymbol{PF}}{\boldsymbol{PH}} \times \mathbf{100}\right) - \boldsymbol{H}\%$$

Dónde:

MV%: Material Volátil del carbón

H%: Humedad del Carbón

PH: Peso húmedo o acondicionado de la muestra

PF: Peso final de la muestra

El contenido de material volátil del carbón obtenido en horno artesanal de tipo Volean, en cumala (virola sp) fue un máximo de 24,26%, en Shihuahuaco (*Dipterix odorata*) 7,26%, y en capirona (*Calycophyllum spruceanun*) fue de 13,24%.

El contenido de humedad del carbón obtenido en horno artesanal de tipo Volean en capirona (*Calycophyllum spruceanun*) fue de 4,04%, Asi

mismo afirman que hay correlación de la densidad aparente con la humedad y material volátil en esta especie.

Por otro lado**,** Cárdenas y Panduro (2015), indican que la composición química del carbón activado de *Copaifera reticulata,* tiene un contenido de humedad de 5.97%, material volátil 20.52%, este último resultó fuera de rango de la norma ASTM que es de 15%. Asi mismo reportan que el contenido de humedad de la materia prima (aserrin de *Copaífera retilculata*) influye en el tiempo de carbonización, obteniendo mejores resultados a menores contenidos de humedad.

Mientras tanto Ochoa y Panduro (2015), determinaron que el rendimiento de la producción de carbón vegetal y el tiempo de carbonización de los desperdicios resultantes de la primera línea de aserrio en dos tipos de horno, y obtuvieron 31,68% en horno artesanal y 34,12% en el horno tipo colmena con la especie *Dypterix odorata* (Shihuahuaco) y 22,42% en el horno tipo artesanal y 24,67% en el horno tipo colmena con la especie *Hymenaea coubaril* (azúcar huayo). El tiempo de carbonización en el horno artesanal fue de 32 días y en el de tipo colmena fue de 16 días. El contenido de humedad del carbón *Dypterix odorata* fue de 6,53% y de material volátil horno artesanal fue de 6,05% y tipo colmena fue de 4,80%; el contenido de humedad del carbón *Hymenaea coubaril* fue de 4,86% y de material volátil horno artesanal fue de 8,35% y tipo colmena fue de 7,85%. Este resultado indica que según el tipo de horno el resultado del material volátil puede variar y tambien según el tipo de madera. En cuanto al horno tipio cormena recomiendan aprovechar los gases condensables y tener en cuenta los cambios climáticos.

Entre tanto Mayer (1978), reporta que a 300 °C es posible un rendimiento de carbón casi 50%, mientras que con temperaturas de 500 a 600°C el rendimiento del carbón baja al 30% y el material volátil desciende a un nivel bajo, mismo afirma que los rendimientos varian con la habilidad en el quemado, grado de sequedad de la leña y la impermeabilización de la parva al aire. Y que en cuanto al rendimiento es común lograr 1 tn de carbón por 6 tn de leña, aproximadamente 17%.

Aliaga y Zamora (2010), reportan que la temperatura de la tierra se viene incrementando en los últimos años siendo más notoria a partír de la dácada de los 90. Estos efectos estarían vinculados con la desaparición de especies por el deterioro de sus hábitas, los cambios climáticos, cambios en los medios de vida, los gases de efecto invernadero por consecuencia de actrividades antropogénicas, una de ellas es la producción de carbón vegetal. En Pucallpa se realiza las emisiones de carbón masivamente en el distrito de Manantay procedentes de las carboneras que producen con tecnología tradicional, estas generan gases como óxido nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). Es por ello se busca resolver el problema en el entrono urbano empoblecido con el uso de tecnología, y contribuir en forma positiva en la implementción de alternativas para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. Recomiendan la producción de carbón vegetal en hornos eficientes que disminuya la cantidad de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. La producción de carbón vegetal de capirona en Ucayali en el 2008 fue de 114,61 tn equivalente a 687,67 m^3.

Mori (1994), reporta que el rendimiento del carbón decrece significativamente con un aumento excesivo de temperatura. Sobre las

propiedades físicas del carbón vegetal Kollman (1960) indica que la densidad aparente del carbón depende principalmente de la estructura anatómica de la madera original y es consecuencia del volumen de los poros; el peso específico del carbón oscila entre 0,25 - 0,40 g/cm3, correspondiendo los valores más altos a las maderas duras.

Briane y Doat (1985), relatan que la composición del carbón vegetal varía según la técnica de elaboración, la temperatura aplicada y la duración del recocido.

FAO (1983), presenta para el carbón vegetal la siguiente composición química: ceniza, material volátil y carbón fijo.

Tabla 3. Composición química del carbón vegetal.

Componentes	Rango (%)
Cenizas	0,5 - 5
Material volátiles	5 – 40
Carbono fijo	50 - 96

Fuente: FAO, 1983

Burrel (1980), menciona que el carbón vegetal producido en altos hornos del estado de minas Gerais (principal productor de carbón vegetal en Brasil), tiene la siguiente composición química.

Tabla 4. Composición química del carbón vegetal.

Componentes	Rango (%)
Cenizas	5
Material volátiles	25
Carbono fijo	70

Fuente: Burrel, 1980.

Martins (1980), afirma que el principal parámetro que regula la composición química del carbón en términos de carbono fijo y materias volátiles, durante la carbonización de la madera, es la temperatura. Menciona que la "Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC" realizó estudios con *Eucaliptos grandis* variando la temperatura de carbonización, encontrando los siguientes resultados:

Tabla 5. Variación de la composición del carbón y rendimiento en función de la temperatura de carbonización.

Temperatura de Carbonización ºC	Análisis químico inmediato		Rendimiento carbón (%) base madera seca
	C. Fijo	M. Volátil	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

Fuente: Martins, 1980.

Otro aspecto a considerar según Díaz et al. (2010), la friabilidad, que es una característica del carbón cuando este se vuelve quebradizo y tiende a desmenuzarse. Esta se incrementa con el aumento de la temperatura de carbonización, donde el contenido de carbono fijo aumenta mientras que el de sustancias volátiles decrece.

Brito et al (1984), estudiaron el comportamiento de las maderas de 14 especies de Eucalyptus el proceso de destilación seca con temperaturas máximas de 450 °C obteniendo rendimientos de 30 a 39,4% de carbón, gases condensables 39,4 a 50,4% y gases no condensables de 18 a 26,7%.

Sin embargo no se reporta estudios semejantes al presente en el que variando la humedad en el horno con la materia prima para el carbón en este caso de la capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) cuál es el resultado en cuanto a material volátil y contenido de humedad del carbón.

2.2.1.1. Utilidades del carbón vegetal

El carbón vegetal se ha usado durante siglos y se usa mayormente como combustible en braseros, hornillos y parrillas o anafres para uso doméstico e industrial (hornillo fabricado en barro o en metal) y especialmente en países con abundantes recursos forestales y economías en desarrollo existe un resurgimiento del uso del carbón vegetal. (Zabala, s.f. y EcuRed, s.f.)

Según Menéndez (2008), el carbono que contiene el carbón vegetal actúa como reductor de los óxidos del metal que forman los minerales y con la técnica apropiada parte de este carbono puede alearse con el hierro para dar lugar al acero, mucho más duro que el hierro, lo cual fue fundamental en el desarrollo de armas y herramientas más resistentes.

Según EcuRed (s.f.) se emplea en la metalurgia (la metalurgia del hierro, comenzada ya unos 1200 años a.C. y que se desarrolla en Europa durante la “edad del hierro” (700 a.C. hasta el 68 d.C.), ha perdurado hasta nuestros días y aunque otros combustibles como el coque metalúrgico lo han reemplazado casi por completo, en la actualidad no hubiese sido posible sin el carbón vegetal (ya que las elevadas temperaturas que se requieren para fundir los minerales no pueden alcanzarse utilizando simplemente madera o los combustibles de la edad del hierro). Dado que además su uso representa, al menos en principio, un menor impacto

ambiental que el del coque metalúrgico. El carbono se puede encontrar en las aleaciones hierro-carbono, tanto en estado ligado (Fe-Fe_3C, cementita), como en estado libre (C). De una forma genérica, al aumentar el porcentaje en carbono, las aleaciones Fe-C aumentan su dureza y rigidez y pierden ductilidad. Se considera que una aleación de hierro es un acero si contiene menos de un carbono, si el porcentaje es mayor recibe el nombre de fundición.

Otra de sus aplicaciones es su uso como absorbente (capacidad de atrapar moléculas o iones).

Según EcuRed (s.f.) en el año 400 a. de C. Hipócrates recomendaba filtrar con carbón vegetal el agua para beber; adicionalmente Menéndez (2008), menciona que se usaba para eliminar malos olores, sabores y para prevenir enfermedades; ya 450 años a. de C. en los barcos fenicios se almacenaba el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna. Esta práctica se continuó hasta el siglo XVIII como medio para prolongar el suministro de agua en los viajes transoceánicos. Una aplicación relativamente importante es la clarificación de bebidas alcohólicas como el vino, cerveza, güisqui, etc. Según Filtrodeagua (s.f.) es aplicación se da en la actualidad como filtro de agua casero combinando arena, carbón y piedras.

Según EcuRed (s.f.), se usa también para la elaboración de la pólvora negra, que se compone de 75% de salitre (nitrato de potasio), un 12% de Azufre y un 13% de carbón vegetal y que al quemarse producen un gas que tiende a ocupar un volumen 400 veces mayor que la mezcla original, produciendo una fuerte presión en las paredes del recipiente que los contiene.

Según EcuRed (s.f.), en pinturas rupestres de hace más de 15 000 años el carbón vegetal se utilizaba para marcar el contorno de las figuras, además de usarse como pigmento de color negro cuando se mezclaba con grasa, sangre o cola de pescado.

Según Menéndez (2008) Así, en Tebas (Grecia) se halló un papiro que data del año 1550 a.C. en el que se describe el uso de carbón vegetal como adsorbente para determinadas prácticas médicas. El doctor D.M. Kehl utilizó el carbón vegetal para mitigar los olores emanados por la gangrena. El mismo doctor también recomienda filtrar el agua con carbón vegetal. En Londres un alcalde ordenó instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas.

2.2.2. El carbonizador

El desarrollo un prototipo de carbonizador del proyecto Fincyt-JK Maderas Export S.A.-UNU es un horno rotatorio para la obtención de carbón vegetal de calidad de hasta 90% de producción continua y sostenible.

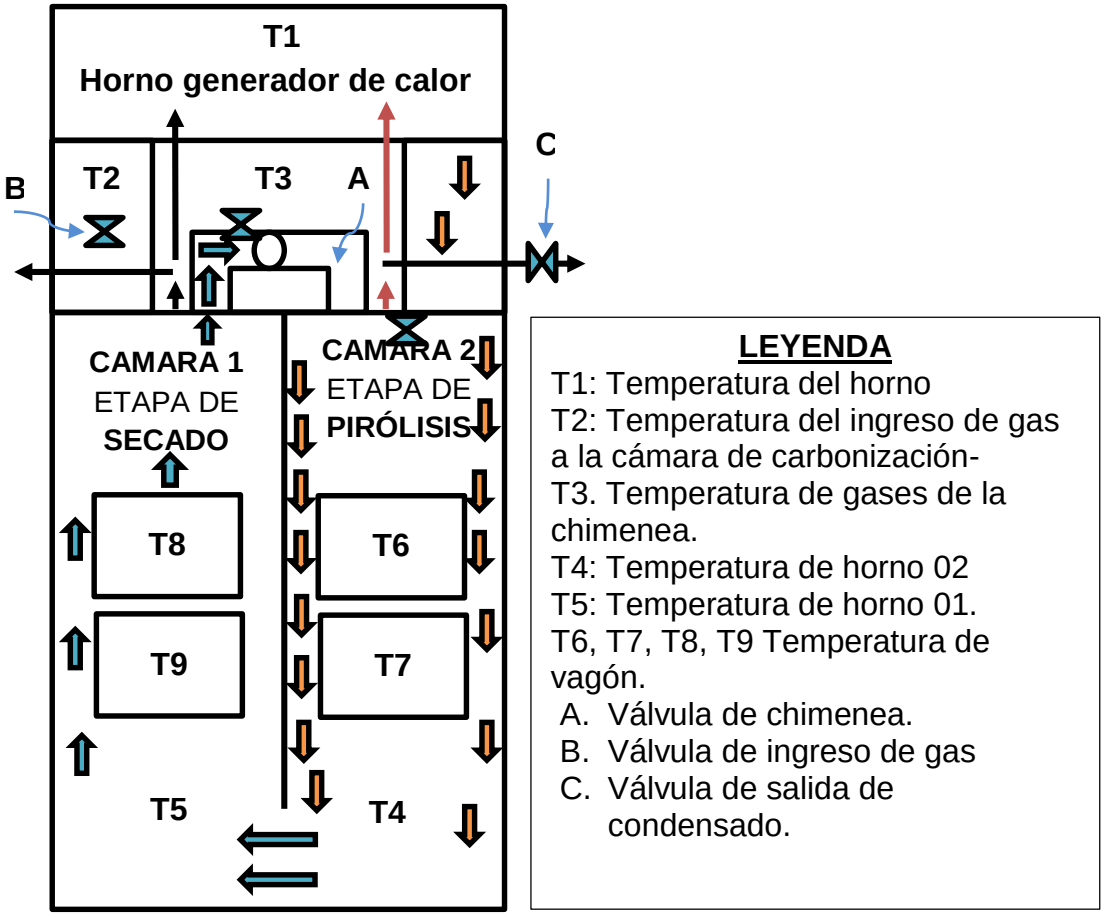


Figura 1. Esquema del prototipo de carbonizador. Horno rotatorio para la obtención de carbón vegetal de calidad de hasta 90% de producción continua y sostenible.

Panshin (1959), indica que el termino carbonización se emplea para denotar la producción de carbón vegetal, mientras que el termino destilación seca o destructiva implica la recuperación de destilados. Tal como se practica la destilación seca de la madera, puede considerarse integrada por dos clases de operaciones: carbonización y recuperación de destilados.

Según Espasa-Calpe (1978), En la producción de carbones especiales, por ejemplo, el destinado a la fabricación de la pólvora, se emplean hornos o retortas calentados con vapor recalentado. Además

menciona que Violette hizo detenidos estudios sobre la carbonización de la leña, habiéndose deducido de ellos las siguientes conclusiones:

- Cuánto más elevada es la temperatura a que está expuesta la leña durante la carbonización, tanto menor es la proporción de carbón resultante. Empleando una misma leña, el rendimiento de carbón llega a 250 °C hasta 50%; a 300 °C hasta 33%; a 400 °C hasta 20%; a 1,500° hasta 15%.
- La misma leña, expuesta a una misma temperatura, produce cantidades de carbón proporcionales a la duración de la carbonización. Cuando la carbonización es lenta el rendimiento puede ser doble que cuando se trabaja rápidamente.
- La proporción de carbono del carbón es proporcional a la temperatura de la carbonización. A 250 °C contiene 65%; a 300 °C hasta 73%; a 400 °C hasta 80%; de 400 a 1500 °C aproximadamente 76%.
- La leña carbonizada en vasijas bien cerradas, apenas pierde nada de carbono. Este queda retenido en forma sólida en el carbón y por tal motivo el rendimiento de carbón es considerable. Entre 150 y 350 °C el rendimiento llega aproximadamente al 80%, es decir, casi triple del ordinario.
- En vasijas bien cerradas se obtiene a 180 °C carbón rojo, que es el tránsito de la leña al carbón y el rendimiento es del 90%, mientras que, aun empleando vapor recalentado, sólo es del 40% y en retortas sólo del 15% aproximadamente.
- Entre 300 y 400 °C la leña, calentada en vasijas cerradas, experimenta una completa fusión. Una vez fría, la leña ha perdido su

estructura organizada y se presenta en forma de masa negra y brillante.

- Los carbones obtenidos en cilindros o calderas de hierro no tienen siempre la misma composición. Su proporción de carbono oscila entre 70 y 80%. Empleando vapor recalentado se pueden obtener a voluntad carbones de una u otra composición, según su temperatura.

Ullman (1958), expone que cuando la carbonización se realiza en retorta se obtienen carbones rojos entre 250 y 350 °C; a 250 °C se obtienen los carbones rojos con un contenido de 70% de carbono y 5% de hidrógeno; si los carbones no deben desprender olor al arder, deben carbonizarse por lo menos hasta los 350 °C a más de 400 °C se obtienen los carbones llamados de retorta, con un contenido de 80,8% de carbono; 3,8% de hidrógeno y 15,4% de oxígeno, estos carbones se caracterizan por que son sonoros y negros y su calor de combustión es de 7800 Kcal. Si la destilación de la madera prosigue hasta 500 °C, se obtienen los carbones de muela, cuya composición media es aproximadamente 89,7% de carbono, 2,8% de hidrógeno y 7,5% de oxígeno.

Los carbones de muela se asemejan a la antracita, mientras que el carbón de retorta es semejante a la hulla, aunque la hulla es más rica en hidrógeno. El mismo autor, considera que el rendimiento de carbón de madera en peso y la proporción de carbono contenido en ella, depende de la temperatura final de carbonización.

2.2.2.1. Distribución de la madera dentro del horno

Inoue (1996), indica que la calidad del carbón vegetal producido en horno de carbón japonés, se puede saber por la ubicación en que estuvo

en el horno, presentándose en la parte frontal y posterior a la puerta de entrada baja y buena calidad respectivamente. Así mismo la calidad del carbón vegetal se puede saber por la posición en que estuvo en el horno; la parte superior y la intermedia pueden ser vendidas al mismo precio, mientras que la parte inferior o la de abajo, tiene que ser vendida a un precio menor por ser de menor calidad. La división en la calidad de carbón (buena hacia arriba y mala hacia abajo) no es por el horno, sino que se debe a una reacción química en el proceso de la materia. (Más temperatura hacia arriba, más humedad hacia abajo, etc.).

Valdivia y Sánchez (2002), en su reporte hacen importante mención de la práctica que se sigue del acomodo o armado de la leña dentro del horno colmena brasileño y mencionan que al iniciar el acomodo de la leña primeramente se realiza un entarimado con una serie de túneles o canales de conducción de aire de las bocas hacia la parte céntrica en el piso del horno; por esta razón las piezas de madera deben quedar bien acomodadas y no permitir su movimiento, de lo contrario obstruirán la circulación y limitará la carbonización de dicha zona. Posteriormente al entarimado descrito se acomodan las trozas primeramente en sentido vertical acomodando la leña más chica y delgada a lo largo de las paredes del horno y luego hacia el centro, la leña de mayor grosor y encima de esta primera capa vertical se coloca otra capa en sentido horizontal y nuevamente se repite hasta cubrir totalmente el horno. Esto es importante de resaltar porque el armado del horno japonés anteriormente descrito es igual a éste.

2.2.2.2. Fases del proceso de carbonización

Método para la fabricación de carbón vegetal con hornos metálicos

Según la FAO (1983). El Tropical Products Institute (TPI), que es una unidad científica de la Overseas Development Administration, ha adquirido considerable experiencia en el Funcionamiento de diversos modelos de hornos transportables de metal, ya sea en el Reino Unido como en muchos países en desarrollo. El Instituto ha evolucionado hasta llegar a un modelo que se considera ahora ser óptimo en economía de construcción, robustez y durabilidad, funcionamiento sencillo con eficiencia y productividad máxima para las situaciones de los países en desarrollo. Las principales características del horno modelo TPI son: Se usa una chapa de acero de 3 mm de espesor para fabricar la sección del fondo del horno; para la sección superior y para la tapa se usa chapa de acero de 2mm de espesor. Las dos secciones principales del horno son cilíndricas. Se usan repisas con perfiles de hierro ángulo de 50mm, para soportar la sección superior y la tapa. Estos soportes están soldados en la parte interna del borde más alto de las dos principales secciones cilíndricas. Los ocho tubos de entrada/salida, ubicados debajo de la sección inferior del horno, se abren en la base. Alrededor del hueco en la cara superior de cada canal, se ha previsto un collar para sostener la chimenea durante el funciona miento del horno. En la tapa del horno hay cuatro bocas a igual distancia, para la liberación del vapor. En otras versiones de hornos metálicos transportables pueden encontrarse varias modificaciones.

Sánchez (1997), expone que la calidad del carbón vegetal en México presenta variación, prefiriéndose para el consumo nacional con

características a simple vista, como: pesado, que no esté húmedo, no se resquebraje fácilmente, tenga brillo, no despida humos, dure suficiente tiempo encendido y que tenga un tamaño aceptable, además de la especie o tipo de madera. Luego prosigue y expone que, para exportación se deben cumplir ciertos requerimientos de los países compradores, ya que existen estándares y normas que regulan su calidad, agrupándose generalmente en bloques o mercados regionales, tales como: Asiático, Europeo y de América del Norte. Las especificaciones requeridas se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación.

Propiedad	Porcentaje (%)
Humedad	7-8
Ceniza Mínima	5
Ceniza Máxima	6
Materia volátil mínimo	10
Materia volátil máximo	12
Carbono fijo mínimo	75
Carbono fijo máximo	82

Fuente: Sánchez (1997).

En mercado alemán (HIBA, 1986) especifica cuales valores de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo se requieren para cumplir con los requerimientos de éste (tabla 7).

Tabla 7. Requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación a Alemania.

Propiedad	Porcentaje (%)
Humedad	7,14
Ceniza Mínima	3,73
Ceniza Máxima	4,02
Materia volátil mínimo	14,66
Materia volátil máximo	15,79
Carbono fijo mínimo	74,47
Carbono fijo máximo	80,19

Fuente: HIBA (1986).

FAO (1982), citada por Pérez y Compean (1989), presentan las características del carbón vegetal requeridos por altos hornos en Brasil (Tabla 8).

Tabla 8: Características del carbón vegetal para altos hornos en Brasil.

Composición Física	Variaciones %		Carbón vegetal %	
Carbono fijo	80	60	70	75-80
Cenizas	10	3	5	3-4
Sustancia volátil	26	15	25	20-25

Fuente: FAO (1983).

Según Canul (2013). Con el fin de determinar el patrón de calidad del carbón vegetal, tales como contenido de carbono fijo, contenido de materiales volátiles y contenido de cenizas, prácticas de procesamiento, rango de tolerancia para el tamaño de las piezas de carbón vegetal

envasado, tipo preferencial de embalaje, el origen del producto e intervalos de tolerancia fue creado en el año 2003 en el Estado de São Paulo, el Sello Premium, promulgado por la Resolución Nº 10 SAA, de 11 de julio de 2003. En esta resolución, la humedad del carbón vegetal debe estar por debajo de 5%, el porcentaje de carbono fijo (TCF) debe ser superior al 75%, el contenido de materiales volátiles (TMV) y el contenido de cenizas deben ser menores que el 23,5% y el 1,5%, respectivamente.

El carbón vegetal para ser considerado de buena calidad para uso doméstico, debe reunir algunas características como alta densidad relativa aparente, alto contenido de carbón fijo, al poder calórico, baja humedad, bajo contenido de material volátil y bajo contenido de cenizas. (Ribeiro y Vale, 2006)

Tabla 9. **Especificaciones de calidad del carbón vegetal - Norma Cubana.**

Especificaciones	Calidades	
	Calidad I	**Calidad II**
Diámetro (cm)	3-10	3-10
Largo (cm)	4-25	4-25
Carbonilla (%)	Máximo 5	Máximo 6-10
Densidad aparente (g/cm^3)	0,25-0,30	0,20-0,30
Contenido de carbono (%)	76-82	68-75
Humedad, por ciento en masa, Máx	6,0	10,0
Cenizas, por ciento en Masa, Máx.	3,0	5,0
Materia volátil, por ciento en masa, Máx.	10,0-15,0	20,0-25,0
Color	Negro brillante	Negro brillante
Sonido	Metálico	Metálico
Impurezas	No se admiten	No se admiten

Fuente: NC (2008).

2.2.3. La contaminación ambiental y el carbón vegetal

La actual crisis energética ocasionada por la reducción de las reservas de combustibles fósiles y el deterioro ambiental producido principalmente por el uso desmedido de estas fuentes, ha promovido el uso de otras fuentes de energía consideradas como limpias. El uso de la

biomasa se ha incrementado significativamente a nivel mundial, por ser una fuente de energía renovable, permite contribuir en la disminución de los efectos adversos ocasionados por la utilización de combustibles fósiles cuando los sustituye en los procesos industriales. El uso de la biomasa con fines energéticos se realiza con bajos rendimientos y altos costos de producción. (Bustamante, 2011)

Por lo anterior y en la búsqueda de mejorar la eficiencia en la producción de carbón (Bustamante, 2011), a pesar de ser una fuente de energía renovable, el quemado de la madera para la obtención del carbón vegetal es una actividad que contamina, pues libera en la atmosfera gases contaminantes de alteran la calidad y la estética de ésta. (Braga, 2006) mencionado por Daroit et al. (2011)

Gran parte de la producción del carbón vegetal es realizada en forma rudimental donde no existe control de la emisión de gases.

Durante el proceso de producción, de toda la madera introducida para la quema, apena el 30% es convertida en carbón vegetal, el resto de biomasa es emitido a la atmósfera aumentando la concentración de gases contaminantes. (SENA et al. 2014)

Existe la emisión de gases no condensables como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), etano (C2H6). La composición total de estos es lo siguiente: CO_2, 62%; CO, 34%; CH_4, 2,43%, H_2, 0,63 e C_2H_6, 013% (Cenbio, 2008), y su emisión exagerada de algunos gases intensifica el efecto estufa, conllevando al aumento de la temperatura global. (Amorim, 2012)

La producción de carbón vegetal en su mayoría todavía ocurre en hornos rudimentarios de albañilería, necesitando mano de obra humana,

exponiendo a los trabajadores el humo y el calor proveniente de los hornos. Muchas veces estos quedan expuestos directamente al humo por días seguidos, inhalando cantidades elevadas de gases (Souza et al. 2010). Además de los trabajadores, los habitantes del entorno también pueden sufrir con esta actividad. (Canettieri et al. 2013)

El trabajador está constantemente inhalando gases tóxicos, productos volatizados de la quema de la biomasa, hollín, cenizas y polvo del carbón. Debido a las altas temperaturas de los hornos, se produce una intensa sudoración corporal, pudiendo provocar deshidratación e incluso quemaduras de 1 ° grado. El transporte de la madera es realizado por los trabajadores, que a veces cargan peso más allá de lo correcto, acarreando en posibles lesiones musculares, hernias inguinales y escrotal. (Canettieri et al. 2013)

Los posibles síntomas presentados por humanos cuando expuesto a los productos de la pirólisis son asma, disminución de la función respiratoria, irritación ocular que puede llevar a la catarata (Nkundumuzika, 2009). Hess (2008) relata en sus estudios que la relación de la quema de biomasa con la incidencia de cáncer, principalmente de pulmón.

Godoi et al. (2004), citado por Hess (2008) dice que en la combustión incompleta de la biomasa se liberan materiales particulados finos, siendo más de 130 sustancias. Entre estos los hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (HPA), que cuando en contacto con el organismo humano, presentan actividades mutagénicas cancerígenas y desreguladoras del sistema endocrino.

El carbón vegetal es una fuente renovable de energía, sin embargo parte de la producción del carbón vegetal todavía se da en hornos sencillos,

que presenta bajo rendimiento gravimétrico ocasionando pérdida económica y la mayor área plateada para atender a la demanda. Los trabajadores estarían expuestos por largos periodos a la emisión de gases tóxicos y altas temperaturas. Y muchas veces no hay recuperación de subproductos productos provenientes de la carbonización (Carneiro et al. 2012). A pesar de ello, algunos sistemas y adaptaciones pueden ser adoptados para mejorar aspectos ambientales, económicos y proporcionar mejores condiciones de trabajo en la producción del carbón vegetal.

Taccini (2010) relata durante el proceso de carbonización de la madera, se genera gases no condensables como CO, CO_2, H_2 y CH_4. Y para el caso de la quema o combustión completa de esos gases, ocurriría solamente la liberación de CO_2 y vapor de agua. De acuerdo con Oliveira (2012), para reducir la emisión de los gases poluentes o contaminantes para la atmosfera, componentes tóxicos emitidos a partir de la quema de la biomasa y sus posibles acciones sobre el organismo humano.

Tabla 10. Elementos volatizados emitidos en la quema de biomasa y sus posibles efectos en la salud humana.

Elemento	Efectos
Material particulado	Efectos adversos sobre la enfermedad pulmonar previa, asma bronquítica, alteraciones cardiacas
Hidrocarbonatos poli cíclicos aromáticos	Cáncer principalmente del pulmón.
Monóxido de carbono	Perjuicio al raciocinio y percepción, cefaleas, reducción de la destreza manual y somnolencia.
Compuestos de nitrógeno	Irritación de las mucosas, sinusitis, faringitis, bronquitis y enfisema pulmonar
Compuestos de azufre	Decrecimiento de la función pulmonar, enfermedad pulmonar obstructiva crónica
Ácidos Orgánicos	Irritación de las mucosas
Compuestos orgánicos volátiles	Irritación en los ojos, tos y somnolencia

Fuente: Rodrígues (2016)

Finalmente, los gases de combustión por lo general contienen además de CO_2, O_2, N_2 y vapor de agua, algunas impurezas sólidas o líquidas (polvos, humos, vapores y cenizas volantes) algunos componentes gaseosos en el caso de la combustión del carbón vegetal lo constituyen los denominados volátiles los cuales lo constituyen, alcoholes, aldehídos,

cetonas, fenoles y alquitranes que pueden resultar nocivos cuando se mezclan con el aire y muchos de ellos son cancerígenos. (Iparraguirre, 2016)

Conforme Días et al. (2002), se hace necesario la introducción en la forma de procesos más limpios que ayuden a aumentar el rendimiento del carbón, posibilitar el reaprovechamiento de subproductos, disminuyendo las emisiones contaminantes o poluentes.

2.2.4. La madera

La madera consiste de tres componentes principales: celulosa, lignina y agua. La celulosa, la lignina y algunas otras materias como holocelulosas están fuertemente ligadas entre sí. (Bravo, 1995)

Echenique (1991) constituyen el material denominado madera (al referirse a los componentes de la madera, empieza por describir que la madera como toda sustancia viva, está formada por multitud de pequeñas unidades individuales cementadas entre sí llamadas células. Las células de la madera son tubulares, de forma aproximadamente rectangular. Su longitud no suele exceder de unos 5 mm y su dimensión transversal máxima, de unos 70 micrómetros. Las paredes de las células están formadas por varias capas de celulosa y lignina principalmente, con un espesor total de 1 a 5 micrómetros. La celulosa es un polímero lineal cuyas moléculas forman cadena. Constituye el esqueleto o estructura de las paredes de las células. La lignina actúa como un cementante que liga los elementos de la estructura de celulosa y rigidiza el conjunto. Del 60 al 70% de la madera corresponde a celulosa. La lignina se encuentra en

proporciones de 15 a 35%. Un análisis químico típico de la madera indicaría la siguiente composición: carbono: 50%, hidrógeno: 6%, oxígeno: 43%, otros elementos: 1%.

Algunos componentes de la madera tienen mayor o menor influencia en el desarrollo de la carbonización y en la obtención de productos de la misma. Así por ejemplo, a mayor contenido de holocelulosa se incrementan la producción de destilados y el rendimiento de carbón disminuye. Por el contrario la presencia de lignina incrementa la obtención de carbón. (Bravo, 1995 y FAO, 1983)

2.2.4.1. Tipos de madera en la elaboración de carbón vegetal

La elaboración de carbón vegetal va a estar relacionado íntimamente con las especies forestales que estén comercializando los aserraderos cercanos a estas zonas.

El tipo de maderas para elaborar el carbón vegetal es importante.

La especie de madera influye por la concentración de componentes que la constituyen (celulosa, hemicelulosa y lignina) y por su densidad. Con iguales tecnologías la especie de madera influye en el carbón vegetal obtenido de forma sencilla; especies vegetales con mayores contenidos de carbono provocan carbones con más carbono fijo y de mayor poder calorífico. (Marcos, 1989)

En general, con madera de frondosas, de coníferas y de palmeras puede obtenerse un buen carbón vegetal. Sin embargo, la madera de coníferas es por lo general menos densa que la de frondosas, y por consiguiente da un carbón más ligero. (Earl, 1975)

El rendimiento del carbón vegetal muestra también cierta variación con respecto al tipo de madera, ya que el contenido de lignina en la madera tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del carbón. Una madera densa tiende también a dar un carbón vegetal denso y fuerte, lo que es también deseable. Sin embargo, madera muy densa produce a veces carbón quebradizo puesto que la madera tiende a desmenuzarse durante la carbonización. (FAO, 1983)

Según, Sánchez (1996) con Sánchez y Fajardo (1989), el encino (*Quercus spp*), es la clase de madera más utilizada en México para hacer carbón vegetal, esto es justificado dado que por su dureza, mala conformación, problemas de secado y la existencia de grandes volúmenes no aprovechados en México, lo ofrecen como una buena alternativa para obtener ingresos en la economía de algunos sectores asociados al bosque. (Morales, 1994)

2.2.5. Humedad

Según Serrano (2009), uno de los parámetros principales de entrada de la madera para carbonización o producción de carbón vegetal mediante carboneras en zonas rurales empobrecidas, de España, la entrada de madera debe tener las siguientes características y bases físicas del secado de madera es la humedad, la cual se estima para el intervalo de 0 a 30% de humedad. En un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas.

Según Magyp (s.f.), de igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo.

2.2.5.1. Agua contenida en la madera

Según Magyp (s.f.). El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas, tal como se describe en la tabla 11.

Tabla 11. Formas como se encuentra el agua contenido en la madera.

AGUA CONTENIDA EN LA MADERA		
AGUA LIBRE	**AGUA DE SATURACIÓN**	**AGUA DE CONSTITUCIÓN**
Es la que da a la madera su condición de “verde” y es la que ocupa las cavidades celulares. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto, la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras”, que corresponde a un contenido de humedad variable entre el 21 y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas de agua y sus cavidades vacías. Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico.	Es el agua que se encuentra en las paredes celulares. Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera. Para la mayoría de las especies, el equilibrio higroscópico se encuentra entre el 12 y 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado. Es por ello que la madera secada al aire libre solo puede alcanzar estos valores de humedad de equilibrio. Para obtener contenidos de humedad menores, debe acudirse al secado artificial para eliminar el resto del agua de saturación.	Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

Fuente: Magyp (s.f.).

Patiño y Pezet (1992) y Morales (1994) mencionado por Chañi y Rengifo (2017), señalan que el rendimiento en hornos de tipo colmena brasileño varía al usar madera seca y verde dando rendimientos de 17,8 y 15,9% en peso respectivamente. Además de que la humedad afecta al proceso de carbonización, ya que la duración de éste, varía de 6 a 7 días para madera seca y 8 a 9 para madera verde. Patiño y Pezet (1989), en el mismo sentido abunda que a mayor cantidad de humedad se requiere un tiempo mayor del proceso para extraer el agua de la madera e iniciar el proceso de pirolisis.

Mayer (1978), indica lo siguiente, el carbón fresco, apenas abierto el horno, contiene muy poca humedad, generalmente menos del 1%. La absorción de humedad del aire mismo es rápida, y gana con el tiempo humedad que, aun sin mojarse con la lluvia, puede llegar a un contenido del 5 al 10%, aun para el carbón vegetal bien quemado. Cuando no se ha quemado correctamente el carbón o cuando los ácidos piroleñosos y alquitranes solubles han sido retomados por el carbón vegetal a causa de la lluvia, como puede suceder en la quema en fosas, parvas y artesanales) aumenta la higroscopicidad del carbón y su contenido de humedad natural o en equilibrio puede subir al 15% o más. Es virtualmente imposible evitar que el carbón vegetal se moje algo, con la lluvia, durante el transporte al mercado, pero el almacenamiento del carbón bajo techo es una buena práctica, aún si se ha adquirido por volumen, puesto que el agua contenida tiene que evaporar en la combustión y representa una pérdida directa de poder calorífico. Esto sucede porque el agua en forma de vapor pasa en el flujo y raramente se condensa liberando su calor contenido, sobre el objeto que se está calentando en el horno. Es evidente que el carbón vegetal con

un elevado contenido de humedad (10% o más) tiende a desmenuzarse y produce carbonilla fina cuando se calienta en las fundiciones, lo que no es deseable en la producción de hierro.

La materia prima de la carbonización fueron residuos de madera, cuyo tamaño de muestra fue de 15 toneladas, con 5 ensayos de 3 toneladas cada una, obteniéndose los siguientes resultados: los promedios de a humedad de la madera carbonizada fue de 23.61% con una densidad de 0.89 g/cm^3 el proceso total de carbonización fue de 11 días, el rendimiento de carbón a una temperatura de carbonización de 463 °C fue de 33.39%, la densidad del carbón 0.61 g/cm^3, el contenido de humedad del carbón 3.47%, la materia volátil 4.15%, el contenido de cenizas 1.58%, el carbono fijo del carbón 90.795%, el poder calorífico del carbón 913 kcal/kg. (Vela, 2010)

Tabla 12. Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali.

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

Fuente: (Panduro, 2012)

2.2.5.2. Gradiente de humedad de la madera

Según Magyp (s.f.). Tan pronto se inicia el secado, sea natural o artificial, la distribución del contenido de humedad en el interior de la pieza se modifica. En forma simple, puede explicarse el secado de la madera como el resultado del movimiento de la humedad desde el interior hasta la superficie, donde se evapora y escapa a la atmósfera circundante. Al colocar una pieza de madera húmeda en contacto con un ambiente seco, las diferencias entre las presiones parciales de vapor de la atmósfera y del agua contenida en la madera da lugar a la evaporación del agua presente en las capas superficiales, mientras que las capas internas permanecen aún húmedas. La diferencia que se establece entre el contenido de humedad de la madera en el centro y en la superficie, denominada gradiente de humedad, da origen a la circulación interna del agua del centro a la periferia y es la causa del secado. Mientras más elevado sea el gradiente de humedad, es decir, mientras mayor sea la diferencia entre el contenido de humedad en el centro y en la superficie, más rápido secará la madera.

2.2.5.3. Contenido de humedad de equilibrio

Según Magyp (s.f.). La madera es un material higroscópico que reacciona siguiendo las leyes que rigen para los cuerpos porosos. Cuando una pieza de madera se deja suficiente tiempo en un ambiente cuyas características de temperatura y humedad relativa permanecen constantes, se establece un equilibrio entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la que existe en el interior de la pieza de madera. Cuando este

equilibrio es alcanzado, la humedad de la madera no varía más y se dice que ha llegado al contenido de humedad límite. Este contenido de humedad permanecerá constante mientras las características del aire que rodean a la madera no cambien. Es importante anotar que este equilibrio no se alcanza instantáneamente y el tiempo empleado depende de varios factores, tales como la densidad de la madera, el espesor, la cantidad y calidad de sustancias extractivas presentes, la humedad inicial, etc.

2.2.5.4. Agua contenida en el carbón vegetal

Mateos (2013). El agua contenida en el carbón se puede encontrar como:

- Agua de impregnación, la cual se elimina por calentamiento.
- Agua higroscópica o de constitución que se encuentra fundamentalmente incidiendo en los poros y conductos capilares que existen en la estructura del carbón; eliminándose también por calentamiento.
- Agua combinada químicamente que forma parte de algunas moléculas de la materia mineral del carbón.
- La suma del agua higroscópica y de impregnación es lo que se determina como humedad y se expresa en tanto por ciento.

2.2.6. Material volátil

Según Ríos (2006) lo define como la porción que se separa como gas cuando el carbón es calentado, compuesta por hidrocarburos y otros gases resultantes de la descomposición y la destilación.

Según FAO (1983) en el carbón vegetal comprende todos esos residuos líquidos y alquitranosos que no fueron eliminados completamente durante el proceso de carbonización. Cuando la carbonización es prolongada y a alta temperatura, el contenido de volátiles es bajo. Cuando la temperatura de carbonización es baja y el período en el horno es breve, entonces el contenido de substancia volátil aumenta. Según UPV (s.f.) son productos gaseosos, con exclusión de los vapores de humedad, obtenidos bajo las condiciones de pruebas estandarizadas (ASTM D3175). Los gases combustibles son el monóxido de carbono, el hidrógeno, el metano y otros hidrocarburos orgánicos. Los que habitualmente no son combustibles son el dióxido de carbono, el amoniaco, el sulfuro de hidrógeno y algunos cloruros. El contenido en volátiles se determina calentando la muestra seca sin aire, a 955ºC en horno eléctrico de mufla durante 7 minutos. La pérdida de peso se obtiene después de enfriada la muestra y el porcentaje en volátiles se calcula teniendo en cuenta la humedad original del carbón. El contenido en volátiles determina la longitud de la llama al quemar carbón pulverizado. Por ejemplo, si se quema carbón de hulla en un horno de cemento interesa que el contenido de materias volátiles se sitúe alrededor del 18-22%, al objeto de tener la longitud de llama necesaria para que se alcance toda la zona de clinkerización. En principio, se podría esperar un aumento del poder calorífico con un incremento en el contenido de volátiles. Esto sucede hasta un contenido en volátiles de 20% aproximadamente. Para contenidos más elevados el poder calorífico decrece, debido a que una parte de las materias volátiles están formadas por combinaciones de oxígeno y nitrógeno no combustible.

Según Mateos (2013). Los volátiles de un carbón son compuestos gaseosos desprendidos al calentarse en ausencia de aire. Estos gases son combustibles en su mayor parte. El contenido en materias volátiles tiene una influencia directa muy significativa sobre la facilidad en la combustión, ya que aquellos carbones con un índice elevado en volátiles queman mejor. Las calderas son muy distintas, en cuanto al diseño, según se destinen a quemar carbones de altos o bajos contenidos en volátiles.

El material volátil de un combustible es la porción de gases y vapores condensables y no condensables que se libera cuando se calienta el combustible a un tiempo y temperatura específicos (Basu, 2013). Para la madera de Acacia pennatula, su valor fue de 86.56%, el cual es más alto a lo registrado para A. mearnsii (75.3-82.3%) (Da Silva et al. 2014; Eloy et al. 2015) y para A. auriculaeformis (81.3-84.8%) (Kumar et al. 2011). En lo que respecta a la madera de Trema micrantha, se carece de información en la literatura; sin embargo; los valores determinados están dentro de los intervalos de 79. 1 a 85.8% consignados para otras latifoliadas. (Kumar et al. 2011; Da Silva et al. 2014)

2.2.6.1. Composición de material volátil

La materia volátil del carbón vegetal está compuesto por sustancias y vapores de alquitrán o alquitranosas, hidrocarburos gaseosos y pesados, nitrógeno, hidrogeno y vapores de aceite (Gonzáles, et al. 1990 y Mateos 2013). Siendo el alquitrán una sustancia densa y pegajosa, de color oscuro y olor fuerte, que se obtiene por destilación de la madera, es el nombre común para la materia resinosa, parcialmente combustionada producida por la combustión de la madera.

2.2.6.2. Composición ideal de material volátil

Según Canul (2013). Los mercados asiáticos y otros mercados europeos permiten para uso doméstico un porcentaje de volátiles máximo del 12%. Se considera que con este valor se mantiene en equilibrio la resistencia a la compresión, cohesión, friabilidad y fragilidad del carbón (Ayón, 2003). Por otro lado según la FAO (1983), debe presentar menos del 30% de material volátil para que el carbón vegetal sea considerado de buena calidad. Sin embargo, si se considera la norma DIN 51 749 de Alemania permite como máximo 16% de material volátil, para ser aceptadas en dicho mercado. Según NC (2008), especificaciones de calidad del material volátil para la calidad I (leñas procedentes de maderas duras) lo ideal es 10,0-15,0 y para calidad II (leñas procedentes de maderas semiduras y blandas) es 20,0-25,0 por ciento en masa, Máx.

Según Ribeiro y Vale (2006) el carbón vegetal considerado de buena calidad para uso doméstico, debe tener baja humedad, bajo contenido de material volátil.

Según Pacheco (2005) el carbón de calidad no debe tener más de 15% de humedad. Opina que el contenido de humedad del carbón varía entre 1 a 16%. De acuerdo a los resultados obtenidos el contenido de humedad del carbón esta en los rangos permitidos en el control de calidad del carbón comercial.

Según Canul (2013) en el Estado de São Paulo, el Sello Premium, promulgado por la Resolución Nº 10 SAA, de 11 de julio de 2003, en esta resolución la humedad del carbón vegetal debe estar por debajo de 5% y el contenido de materiales volátiles (TMV) deben ser menor que el 23,5%.

Según Sánchez (1997). Los requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación al mercado Asiático, Europeo y de América del Norte debe tener de material volátil mínimo 10 y máximo 12. Y según HIBA (1986) los requisitos de calidad del carbón vegetal para exportación a Alemania, con respecto al mismo parámetro deben tener mínimo 14,66 y máximo 15,79

2.2.6.3. La substancia volátil en el carbón vegetal

Según FAO (1983). Puede variar desde un tope del 40%, o más, hasta un 5%, o menos. Su medición se hace calentando una muestra, por peso de carbón seco y lejos del aire, a 900°C o hasta un peso constante. La pérdida de peso es la substancia volátil, que se especifica, por lo general, como libre de contenido de humedad, o sea, substancia volátil - humedad (SV - humedad).

El material volátil contiene alquitranes, acetonas, que le dan más peso y son dañinas para el ser humano, lo que hace que afecta las condiciones de trabajo que pueden llegar a ser insalubres debido a la emisión de gases tóxicos, baja calidad del producto, contaminación ya que la reacción de la madera en la carbonización emana gases, es así que la salud de los trabajadores carboneros se ve deteriorada por la inhalación de estos gases conllevando a adquirir enfermedades respiratorias. (Díaz et al. 2010)

2.2.6.4. Efectos del material volátil en el carbón vegetal

Según FAO (1983). Estos efectos se reflejan sobre el rendimiento en carbón vegetal obtenido a partir de un determinado peso de madera. A bajas temperaturas (300 °C) es posible un rendimiento en carbón de casi

el 50%, Con temperaturas de carbonización de 500-600 °C los volátiles son escasos y son típicos los rendimientos del 30% en la carbonera. Con temperaturas muy altas (alrededor de 1000 °C) el contenido volátil es casi cero y el rendimiento cae a alrededor del 2%. Como se ha dicho anteriormente, el carbón vegetal puede reabsorber los alquitranes y los ácidos piroleñosos con el lavado de la lluvia en los métodos de quema en fosa o similares. Por ello, el carbón vegetal puede ser bien quemado pero, por este motivo, tener un elevado contenido de substancia volátil. Se produce así una variación adicional en el carbón quemado en fosas, en climas húmedos. Los ácidos reabsorbidos hacen que el carbón se vuelva corrosivo, provocando la podredumbre de las bolsas de yute, lo que es un problema durante el transporte; y además, no tiene una combustión limpia.

2.2.6.5. Efectos del material volátil en la combustión del carbón vegetal

Según FAO (1983). El carbón vegetal con mucha materia volátil se enciende fácilmente pero al quemar produce humo. El carbón de pocos volátiles tiene dificultades al encenderse y su combustión es muy limpia. Un buen carbón vegetal comercial puede tener un contenido de substancia volátil neta (libre de humedad) del 30% aproximadamente. El carbón con mucha substancia volátil es menos quebradizo que el carbón común de fuerte combustión con poco volátil por lo que produce menos carbonilla fina durante el transporte y los manipuleos. Es también más higroscópico y tiene por lo tanto un mayor contenido de humedad natural.

2.2.6.6. Efectos del material volátil en la en los filtros de carbón vegetal para el tratamiento de agua

Según Terra (s.f.), se sabe que ya en la antigüedad el grafito se utilizaba para filtrar el agua de bebida en la India, y que la madera carbonizada se usaba como adsorbente médico en el antiguo Egipto. Se cree que en el año 400 DC Hipócrates recomendaba filtrar con carbón el agua de bebida, lo cual se desarrolló a principios del siglo XX; desde los años 30 se usó para eliminar el mal sabor y olor del agua, y desde entonces hasta nuestros días en las plantas potabilizadoras, es donde se usan los lechos de carbón para la depuración del agua de suministro urbano. Un filtro de agua permite eliminar sustancias y compuestos volátiles, es decir, sustancias no particuladas que pueden vaporizar o desprenderse en forma de gas desde el flujo de agua, permite eliminar sustancias, bacterias o virus (organismos patógenos o poblaciones microbianas) el filtro puede retener parte de ellas por el fenómeno de adsorción (fenómeno físico por el que el material atrae y retiene las partículas no deseadas) pero no se garantiza el filtraje total, es el modo de eliminar los problemas en las características organolépticas del agua debida a la cloración y a las partículas en suspensión. Proporciona mayor seguridad respecto a contaminantes no deseables que podrían estar presentes en muy bajas cantidades en el agua. El cloro en el agua de ducha puede resecar el cabello y la piel, e incluso puede provocar irritación en personas de piel sensible, ancianos y niños. Filtrar el agua de ducha evita estos problemas y también mejora el rendimiento de jabones y champús. Además, también se evita la absorción de otros contaminantes a través de la piel y la inhalación de compuestos volátiles desde el agua. Hay que destacar el caso paradigmático del

cloroformo, un gas que se halla en el medio como resultado de su uso industrial como disolvente, al que sin embargo estamos más expuestos cuando se forma de manera no deseada como subproducto de la cloración. Cuando la persona toma una ducha, el cloroformo se volatiliza desde el agua, el cloro en contacto con la materia orgánica presente en el agua, ya sea de manera natural o procedente de vertidos industriales, reacciona y da lugar a los trihalometanos (THM), compuestos considerados cancerígenos, y las personas pueden terminar exponiéndose a concentraciones de 10 a 100 veces superiores a su nivel en la atmósfera. Aunque ya existen métodos de esterilización del agua no químicos, la cloración sigue siendo la más utilizada por su menor coste y porque persiste durante el transporte del agua hasta las viviendas, los materiales que se desprenden de las conducciones de agua, reduce la cantidad de metales como plomo, cadmio o hierro, procedentes de la corrosión de las cañerías de instalaciones antiguas u otros metales pesados, la solución está en los filtros de agua de carbón vegetal.

También elimina partículas en suspensión. El filtro reduce significativamente la cantidad de partículas en suspensión como óxidos o partículas de tierra, que también pueden dar sabor y, sobretodo, color o turbidez al agua.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Biomasa**

  Según Enciso (2007), es la materia orgánica formada de cualquier proceso biológico ya sea de origen vegetal o animal y puede ser utilizada como fuente de energía. En las plantas, durante el proceso

de fotosíntesis, se almacena la energía solar en la clorofila al transformar el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos.

- **Carbón fijo**

  Según Ardila (2013). Es el contenido de carbono (C) elemental disponible para reaccionar un proceso. Este contenido es función directa del Poder Calorífico de un carbón y se determina bajo la Norma A.S.T.M. D3172.

- **Carbón vegetal**

  Residuo sólido derivado de la carbonización, destilación, pirolisis y torrefacción de la madera y de subproductos de la madera al utilizar sistemas continuos o discontinuos (hornos de pozo, ladrillo y metal). Incluye las briquetas de carbón vegetal. (FAO, 2004)

  Según Sabelotodo (s.f.). El carbón vegetal es un sólido negro que queda como residuo cuando se calientan a unos 400-450 °C las partes de las plantas en ausencia de oxígeno para evitar la combustión.

- **Carbonización**

  Reducir a carbón un cuerpo orgánico. (SEMARNAT, 2010)

- **Carboquímica**

  Según Dequímica (s.f.) rama de la química que se dedica a la caracterización física y química del carbón con el propósito de evaluar su utilidad en los procesos de conversión.

- **Cenizas**

  Según Ríos (2006). Es el material mineral no combustible, cuya proporción depende del tipo de explotación del carbón en la mina.

  Según Ardila (2013). Es el residuo no combustible resultante de la descomposición de la materia inorgánica y orgánica en el proceso de combustión. Se determina según Norma A.S.T.M. D3174.

  Según NC (2008). Operación consistente en transformar las materias orgánicas en carbón, en el que los combustibles desprenden materias volátiles en forma de vapor de agua y de gases combustibles, que arrastran otras sustancias condensables y permiten recuperarlas. El combustible carbonizado se enriquece con carbono.

- **Materias volátiles**

  Según UPV (s.f.). Gases obtenidos en la pirólisis del carbón. Contienen sustancias combustibles, y tienen gran importancia en las características de la combustión del carbón.

  Según Ardila (2013). Son los productos, excluyendo la humedad, que son liberados durante el calentamiento (y no combustión) en forma de gases y vapores. Se determina según la Norma A.S.T.M. D3175.

  Según FAO (1983), la materia volátil comprende todos esos residuos líquidos y alquitrinosos que no fueron eliminados completamente. Y también se determina por la norma A.S.T.M D1762.

- **Poder calórico**

  Según Ardila (2013). Representa la energía de combustión del carbono e hidrógeno en la fracción orgánica y el azufre tanto orgánico como pirítico, generalmente se expresa en Unidades Térmicas Británicas (BTU) por libra. Se determina según Norma A.S.T.M D2015.

- **Propiedades organolépticas del agua**

  Según Aguamarket (s.f.). Estas propiedades se denominan propiedades organolépticas y afectan al gusto, al olor, al aspecto y al tacto, distinguiéndose: temperatura, sabor, olor, color y turbidez.

- **Temperatura**

  Según Jiménez (2003). El calor es la fuente de la que las moléculas de agua en la madera adquieren la energía cinética necesaria para la evaporación. La temperatura es un factor de aceleración del proceso de evaporación ya que, cuanto más elevada sea la temperatura del ambiente, más intensa será la evaporación debido a que el aire podrá absorber mayor humedad.

2.4. BASES EPISTÉMICAS

El positivismo es un pensamiento filosófico que afirma que el conocimiento auténtico es el conocimiento científico y que tal conocimiento solamente puede surgir de la afirmación de las hipótesis a través del método científico. Cuando el objeto principal de la carbonización es la obtención del carbón, es conveniente practicarla cerca de los puntos de producción de leña, recubriendo esta de una materia no combustible. El

calor necesario para la carbonización se obtiene mediante la combustión parcial de la misma leña que se carboniza y de sus productos volátiles. La mayor parte de los productos de destilación se pierden en general. Sin embargo pueden aprovecharse, parcialmente estos productos mediante disposiciones especiales. Cuando se concede gran importancia a la obtención de los productos secundarios se calienta la leña en vasijas o espacios cerrados, que se calientan desde el exterior como en el caso a experimentar con los residuos de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth). En la producción de carbones especiales como ejemplo el destinado a la fabricación de la pólvora, se emplean hornos o retortas calentados con vapor recalentado.

2.5. BASES ANTROPOLÓGICAS

Los aserraderos de Pucallpa y de otros lugares de la Amazonía desperdician una considerable parte de la madera que puede ser aprovechada para la elaboración de carbón especialmente de capirona, cuyos desechos arrojados al medio ambiente significan un foco de contaminación para el suelo, el agua y la atmósfera. Afectando de este modo la relación de carbono/nitrógeno del suelo y los elementos minerales pesados que se van acumulando y que son un peligro para la contaminación del agua y del suelo y por ende de la salud en general, por otro lado la quema de este desperdicio en forma tradicional para hacer el carbón contaminan el medio ambiente porque usan leña húmeda de diferente grado de humedad, cuyo humo contiene alquitrán y ácidos piroleñosos que son nocivos para la población aledaña al horno que podría adquirir enfermedades como el cáncer.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN

Este estudio se realizó en la empresa JK Maderas Export S.A. se dedica al aserrío de capirona, exclusivamente para la exportación, ubicada a la altura del Km 6,500 de la carretera Federico Basadre, entrando 2 km por la margen izquierda, por el camino al radar del aeropuerto de Pucallpa donde está operando el proyecto: FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU, denominado: “Desarrollo y validación de un prototipo para la fabricación de carbón vegetal con carbono fijo superior al 90%, sin perjuicio del medio ambiente en la región o departamento de Ucayali”.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación fue de tipo exploratorio, correlacional, transversal y experimental. Realizando la carbonización por carga con peso y volumen conocido, calculando el material volátil pero a distintas humedades. El material de desecho de la industria de la transformación primaria de la madera comúnmente llamado como desecho de aserradero.

Según Dolmos (2017), para determinar el material volátil se realiza en cada muestra de 2 g de carbón, acondicionado en un crisol de las siguientes maneras:

- Colocando el crisol sobre la parrilla del trípode y encendiendo el mechero de bunsen, cuya llama de color azul, debe estar distante a 6 – 8 cm de la parrilla; se procede por un tiempo de 7 minutos.

- El crisol debe ser colocado sobre la puerta de entrada de la mufla, cuyo termómetro debe marcar una temperatura de 900 a 950 °C; se procede por un tiempo de 7 minutos. Posteriormente luego de ser sometido el crisol a la acción del calor se retira inmediatamente, colocando en una campana secadora y se deja que enfríe un tiempo mínimo de 25 minutos.
- Luego se determina el peso del crisol con la muestra descontando el valor del crisol, se calcula el peso final de la muestra y el porcentaje de material volátil el que deberá llevar una corrección por descuento de humedad.

Pasos que se siguieron para determinación del porcentaje del material volátil y porcentaje de humedad

Para la determinación del material volátil, se siguió los siguientes pasos:

- Para pesar cada muestra:

  Primero: Se colocó el crisol solo con su tapa (sin muestra) en la balanza y se determinó su peso.

  Segundo: Se colocó en el crisol con tapa 2 gramos de muestra determinándola por la misma balanza (Peso Húmedo), o sea para cada muestra se pesó aproximadamente 2 g de carbón acondicionado dentro de un crisol con tapa de peso conocido.
- El crisol fué colocado sobre la puerta de entrada de la mufla, cuyo termómetro marcaba una temperatura de 900 a 950 ºC, por un tiempo de 7 minutos.

- Posteriormente luego de ser sometido el crisol a la acción del calor se procedió a retirar inmediatamente, colocándolo luego en una campana de secadora hasta dejar que enfríe por un tiempo mínimo de 25 minutos.
- Luego se determinó el peso del crisol con la muestra descontando el valor del peso del crisol con tapa (Peso Final).
- Luego que se determinó el peso final de la muestra, se calculó el porcentaje de material volátil el que llevó una corrección por descuento de humedad. Se determinó el porcentaje de material volátil utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{MV}\% = \left(\frac{\boldsymbol{PH} - \boldsymbol{PF}}{\boldsymbol{PH}} \times \mathbf{100}\right) - \boldsymbol{H}\%$$

Dónde:

MV%: Material Volátil del carbón.

H%: Humedad del Carbón.

PH: Peso húmedo o acondicionado de la muestra.

PF: Peso final de la muestra.

Por otro lado, para la determinación del porcentaje de humedad llevada por cada muestra de carbón molido, se tuvo que pesar 2 g de carbón molido luego colocado en una cápsula de porcelana de peso conocido lo cual fue llevado a la estufa a 105 °C por un tiempo mínimo de 24 horas, en seguida se determinó el peso seco y con dicho valor se procedió a calcular el porcentaje de la humedad de la muestra.

$$\boldsymbol{H}\% = \left(\frac{\boldsymbol{Ph} - \boldsymbol{Ps}}{\boldsymbol{Ph}} \times \mathbf{100}\right)$$

Dónde:

H%: Humedad del carbón.

Ph: Peso húmedo o acondicionado de la muestra.

Ps: Peso seco de la muestra.

Método exploratorio

Siendo exploratorio porque se efectúa normalmente cuando el objetivo a examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tiene muchas dudas o no se ha abordado antes. (Hernández et al. 2003. p.115)

Se asume que no existe investigaciones previas en Pucallpa departamento de Ucayali, 2018 sobre los efectos de la humedad con el porcentaje del material volátil y humedad en el carbón de capirona producido, utilizando el prototipo del proyecto FINCYT-JK Maderas Export S.A.- UNU 2018.

Método correlacional

Es correlacional, porque es un tipo de estudio que tuvo como propósito evaluar la relación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables (en un contexto en particular). Los estudios cuantitativos correlaciones miden el grado de relación entre dos o más variables (cuantifican relaciones). Es decir, miden cada variable presuntamente relacionada y después también miden u analizan la correlación. Tales correlaciones se expresaran en hipótesis sometidas a prueba. (Hernández et al. 2003. p.121)

Se consideró porque utilizó variables independientes (X) al porcentaje de humedad del material de desecho de aserradero de capirona para carbón, diferente en cada vagón y teniendo como variable dependiente (Y) al porcentaje de material volátil y humedad del carbón obtenido en cada vagón respectivamente.

Método transversal

Su propósito es describir variables, analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. (Hernández et al. 2003. p.207)

Por ello también este estudio es transversal porque los diseños de investigación transeccional o trasversal recolectaron datos en un solo momento, en un tiempo único.

Método experimental

Hernández et al. (2006) afirman que las clasificaciones de los diseños sobre la investigación cualitativa, el método experimental requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados**.** Se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y porque lo hacen. Así también se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. Y para que sea experimental debe cumplir con tres requisitos: la manipulación intencional de una o más variables, medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente, cumplir con el control o la validez interna de la situación experimental.

3.3. DISEÑO Y ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó el Diseño Completo al azar (DCA), los tratamientos consistieron en 4 vagones de residuo de capirona acondicionados con distinto contenido de humedad y 4 repeticiones por vagón totalizando 16 unidades experimentales. Los promedios obtenidos fueron sometidos a la prueba de Tukey a un nivel de significación $\alpha = 0.05 = 5\%$ ANVA (ver tablas 13 y 14). En esta investigación se consideraron los siguientes tratamientos:

Variable independiente (x)

El contenido de humedad de carga del material de desecho o residuos de aserradero de la madera (capirona) aserrada a carbonizar por cuatro repeticiones en cada vagón:

T1 = Vagón 1 con 1 m^3 de residuos de madera aserrada de capirona + 10 litros de agua.

T2 = Vagón 2 con 1 m^3 de residuos de madera aserrada de capirona + 20 litros de agua.

T3 = Vagón 3 con 1 m^3 de residuos de madera aserrada de capirona + 30 litros de agua.

T4 = Vagón 4 con 1 m^3 de residuos de madera aserrada de capirona + 40 litros de agua.

Variable dependiente (y)

- Porcentaje de materia volátil del carbón obtenido en cada vagón.
- Porcentaje de humedad del carbón obtenido en cada vagón.
- Los resultados de cada muestra son el promedio (en cada vagón se obtuvo tres muestras: de arriba del medio y abajo).

3.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis nula

H_0: Cuando entre los cuatro tratamientos del contenido humedad en los residuos de madera de capirona no hubiesen presentado diferencias en el porcentaje de material volátil y de humedad en el carbón obtenido luego de la pirólisis.

$$H_0: T1 = T2 = T3 = T4 = 0$$

Hipótesis alternativa

H1: Al menos uno de los tratamientos sí presenta diferencias con respeto al contenido de humedad en los efectos de la carga en el proceso de carbonización frente al porcentaje de material volátil y porcentaje de humedad del carbón vegetal obtenido.

$$H1: T1 \neq T2 \neq T3 \neq T4 \neq 0$$

Modelo matemático

$$Yij = U + Ti + Eij$$

Dónde:

U = Es el efecto medio.

Ti = Es el efecto del i-ésimo tratamiento.

Eij = Error experimental.

Yij = Observación cuales quiera de la unidad experimental, que corresponde al i-ésimo tratamiento.

i = i-ésimo factor, 1 hasta a n.

j = j-ésimo factor, 1 hasta a n.

T = número de tratamientos.

n = número de repeticiones por tratamiento.

Tabla 13. Disposición experimental, distribución de los tratamientos y repeticiones.

Observaciones (j)	Tratamiento (i)				Total
	1	**2**	**3**	**4**	
	Y11	Y21	Y31	Y41	Y11
	Y12	Y22	Y32	Y42	Y21
	Y13	Y23	Y33	Y43	Y31
	Y14	Y24	Y34	Y44	Y41
Total	Y11	Y12	Y13	Y14	
Número de observaciones	n	n	n	n	
Media	Y11	Y12	Y13	Y14	

Fuente: Steel y Torrie (1996).

Tabla 14. ANVA o análisis de varianza.

Fuente de variación	Gl		
Tratamientos	(t-1)	=	3
Error Experimental	(t) (r - 1)	=	12
Total	(tr – 1)	=	15

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

La población estuvo constituida por todos los desperdicios de madera que se generan en los aserraderos que trabajan con la especie capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) de la provincia de Coronel Portillo de mayo a agosto del 2018.

3.5.2. Muestra

Se escogieron al azar los desperdicios hasta completar un metro cúbico por cada vagón, totalizando 4 vagones con un metro cúbico por vez con contenido diferente de humedad de carga del material de desecho o residuos de aserradero en cada carbonización realizándose cuatro veces la carbonización de modo semejante.

Una vez concluida la carbonización se obtuvieron muestras de carbón de la parte superior, media e inferior de cada vagón los cuales se molieron, tamizaron y se sometieron al procesamiento para determinar el porcentaje de humedad y el porcentaje de material volátil, los resultados son los promedios de los parámetros obtenidos de cada vagón.

3.6. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La unidad de análisis de esta investigación estuvo conformada por, la técnica de muestreo simple y el diseño Completo Randomizado para los parámetros de evaluación y los promedios obtenidos fueron sometidos a la prueba de Tukey.

Luego de la carbonización en el horno continuo FINCYT se determinó el peso del crisol con la muestra descontando el valor del crisol, se calculó el peso final de la muestra y obteniéndose el porcentaje de material volátil que se descontó del porcentaje de humedad.

El porcentaje de humedad se determinó de cada muestra de carbón molido, para lo cual primero se obtuvo un peso aproximado de 2 g de carbón molido. Y colocando en una capsula de porcelana de peso conocido; lo cual fue llevado a la estufa a 105 °C por un tiempo mínimo de

24 horas, luego se determinó el peso seco y con dicho valor se procedió a calcular la humedad de la muestra.

Tabla 15. Materia prima e insumos, materiales, equipos e instrumentos.

Materia prima e insumos	Materiales	Equipos e Instrumentos
La materia prima fueron los desechos de aserrío de capirona para elaboración de carbón vegetal	- Crisoles con tapa - Campana desecadora - Parrilla y trípode - Mechero de bunsen - Malla Nº: 60 - Libreta de campo. - Tablero. - Lapiceros y lápices - Papel Bulki y papel Bond A4. - Capsula de porcelana	- Prototipo del proyecto FINCYT-JK Maderas Export S.A. - Balanza digital de 300 gramos de capacidad - Equipo de cómputo. - Balanza de 0.1 mg de precisión. - Mufla de calcinación con termómetro que marca una temperatura de 900 a 950 °C. - Termómetro digital portátil con espiga de acero inoxidable de 20 cm, rango 50 °C - 300 °C +/- 1 °C. - Estufa.

Procedimiento para la preparacion de la materia prima

Previo a cada análisis de carbón fue necesario realizar una molienda en seco reduciendo a partículas finas el carbón vegetal y pasándolo por malla 60 ASTM y pesado en una balanza, por lo menos con dos horas de anticipacion a los analisis.

3.7. TÉCNICAS DE RECOJO, PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Datos registrados

Especie: residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum),* procedente de la empresa JK Maderas Export S.A., con horno continuo prototipo para la fabricación de carbón vegetal con carbono fijo superior al 90% y sin perjudicar el medio ambiente, en la región Ucayali.

- Carbón vegetal obtenido por carbonización destilación seca.
- Condiciones climatológicas mayo, junio, julio y agosto 2018 (ver en anexo).
- Temperatura de carbonización durante el experimento fue de 300 a 400 °C.
- Porcentaje de materia volátil y porcentaje de humedad del carbón obtenido en cada vagón por peso y volumen, éste dato se obtuvo en el laboratorio.

Los datos obtenidos de manera directa fueron procesados posteriormente, ordenado en una computadora con Windows 8, los programas de texto y cálculos Excel 2013. De acuerdo al diseño de la investigación, la presentación de los resultados se efectúa en tablas según corresponde y para el procedimiento de los datos estadísticos se utilizó el SPSS.

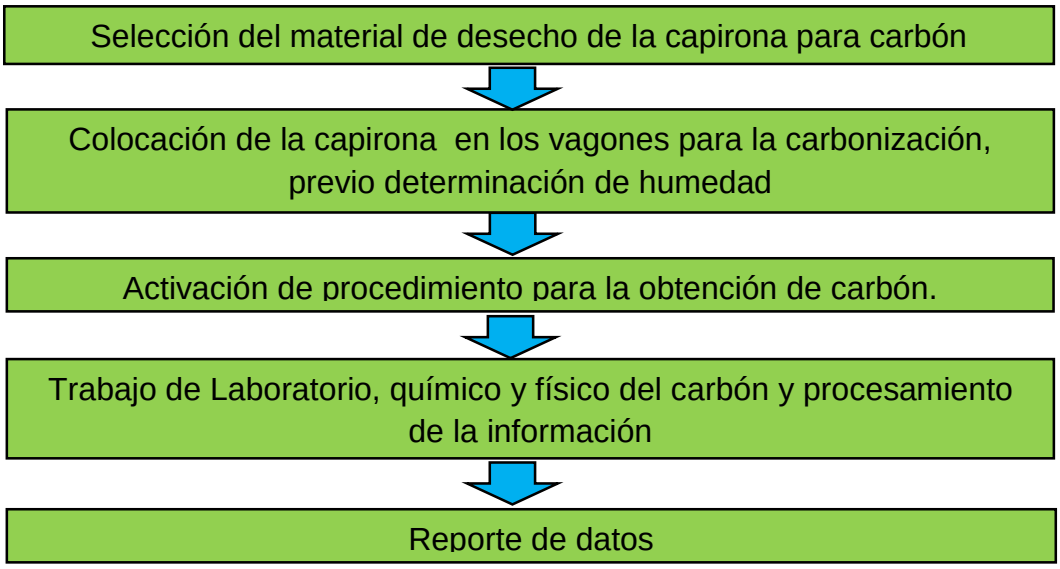


Figura 2. Flujo-grama o esquema experimental que se utilizó para la conducción y ejecución de la proyecto de investigación.

Reporte de datos

Una vez realizada la prueba experimental, se procedió a procesar los datos para determinar las conclusiones en función al efecto del contenido de humedad de desechos de madera aserrada de capirona (C*alycophyllum spruceanum* Benth) en el porcentaje del material volátil y porcentaje de humedad del carbón obtenido en el carbonizador en el departamento de Ucayali 2018.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En cuanto al efecto del contenido de humedad de carga, de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) en el porcentaje del material volátil y Humedad del carbón vegetal producido en el prototipo del proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1. PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL

Tabla 16. **Resultados del porcentaje material volátil en el carbón de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).**

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
R1	0,69	1,24	1,88	2,62
R2	0,74	1,34	1,76	2,59
R3	0,85	1,35	1,91	2,70
R4	0,71	1,20	1,89	2,72
Promedio	0,75	1,28	1,86	2,66

Dónde:

T1 = 1 m^3 + 10 litros de agua

T2 = 1 m^3 + 20 litros de agua

T3 = 1 m^3 + 30 litros de agua

T4 = 1 m^3 + 40 litros de agua.

Los resultados del análisis de varianza del contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum*

spruceanum Benth); con el porcentaje de material volátil del carbón vegetal que se produjo en el prototipo del proyecto, se observa en el (Tabla 22A), se determinó que existe diferencias altamente significativas (P< 0,000) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 7,17% y coeficiente de determinación R^2= 0,9924, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 99,24% por el tratamiento aplicado y el 0,76 por ciento es debido a otros factores.

Tabla 17. **Promedio, desviación estándar y prueba de Tukey con una significancia del 5%, del porcentaje de material volátil del carbón, en cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).**

Tratamientos	Repeticiones	Promedio %	Desviación estándar	Significancia
T4 (1m3 + 40 L agua)	4	2,66	0,063	a
T3 (1m3 + 30 L agua)	4	1,86	0,059	b
T2 (1m3 + 20 L agua)	4	1,28	0,064	c
T1 (1m3 + 10 L agua)	4	0,75	0,062	d

Al efectuar la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey (P<0,05), se encontró que con el T4 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 40 l de agua, obtuvo el mayor promedio en porcentaje de material volátil con 2,66%, siendo este superior al T3, con 1 m^3 de residuo de Capirona +

30 l de agua que tuvo 1,86%, y este superó al T2 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 20 l de agua que tuvo 1.28%, y por último T1 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 10 l de agua, tuvo menor que todos los anteriores con 0,75% existiendo diferencias altamente significativas entre cada uno de los tratamientos, en relación a la variable porcentaje de material volátil.

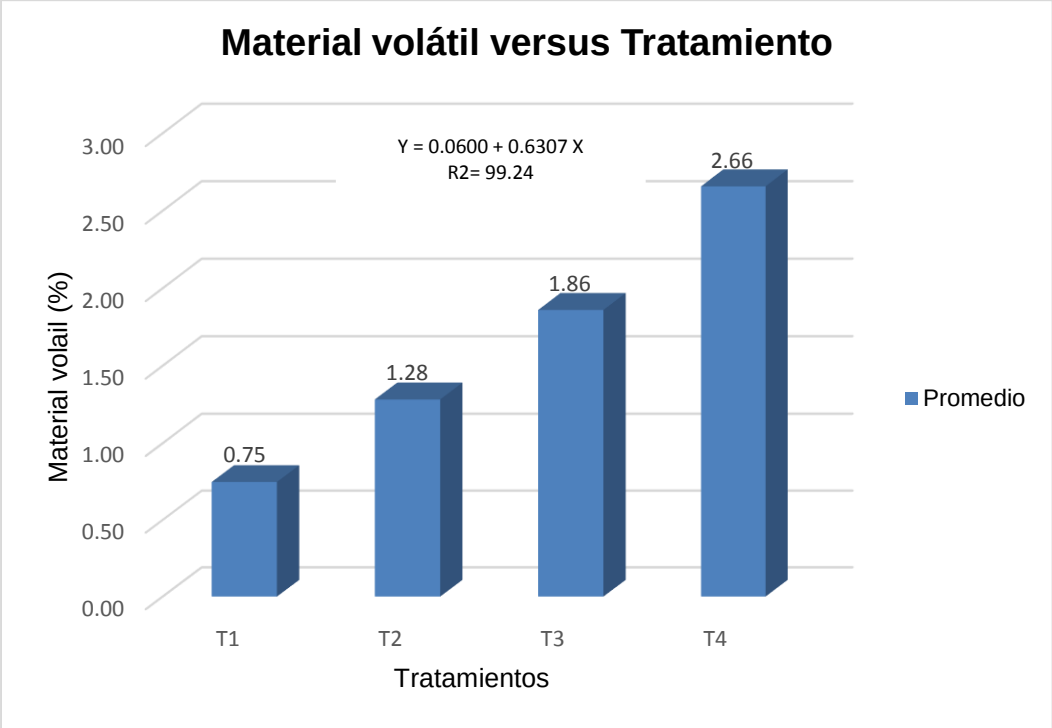


Figura 3. Porcentaje de material volátil del carbón, en relación a tratamientos con diferentes contenido de humedad en el residuo de madera capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), antes de su carbonización.

4.2. PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CARBÓN VEGETAL

Tabla 18. Resultados del porcentaje de humedad del carbón de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
R1	4,63	4,83	6,69	7,39
R2	4,61	4,95	6,74	8,52
R3	4,75	4,81	6,71	8,41
R4	4,53	4,89	6,59	8,83
Promedio	4,63	4,87	6,68	8,29

Dónde:

T1 = 1 m^3 + 10 litros de agua.

T2 = 1 m^3 + 20 litros de agua.

T3 = 1 m^3 + 30 litros de agua.

T4 = 1 m^3 + 40 litros de agua.

Los resultados del análisis de varianza del contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth); con el porcentaje de material volátil del carbón vegetal que se produjo en el prototipo del proyecto, se observa en la (Tabla 23A), que existe diferencias altamente significativas (P< 0,000) entre los tratamientos; con un coeficiente de variabilidad de 10,11% y coeficiente de determinación R^2= 0,9665, éste último nos indica que los valores de la variable de respuesta es explicada en 96,65% por el tratamiento aplicado y el 3,35% es debido a otros factores.

Tabla 19. Muestra prueba de promedio de Tukey, desviación estándar, y significancia del porcentaje de humedad, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).

Tratamientos	Repeticiones	Promedio %	Desviación estándar	Sig.
T4 (1m^3 + 40 L agua)	4	8,29	0,541	a
T3 (1m3 + 30 L agua)	4	6,68	0,056	b
T2 (1m3 + 20 L agua)	4	4,87	0,055	c
T1 (1m3 + 10 L agua)	4	4,63	0,079	c

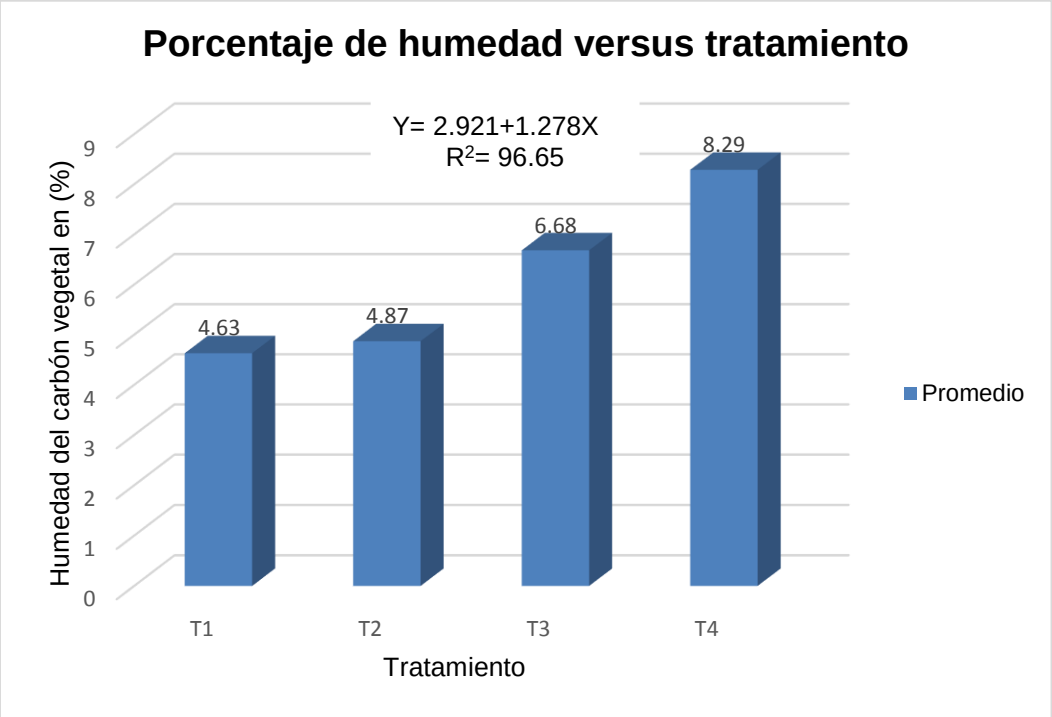


Figura 4. Porcentaje de humedad del carbón, en relación a tratamientos con diferentes contenido de humedad en el residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) antes de su carbonización.

4.3. REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL Y EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CARBÓN DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* Benth)

Los valores utilizados para determinar el coeficiente de regresión y correlación, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 20. **Promedio del porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad en capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).**

Tratamientos	Material volátil (%)	Humedad (%)
T1R1	0,69	4,63
T1R2	0,74	4,61
T1R3	0,85	4,75
T1R4	0,71	4,53
T2R1	1,24	4,83
T2R2	1,34	4,95
T2R3	1,35	4,81
T2R4	1,20	4,89
T3R1	1,88	6,69
T3R2	1,76	6,74
T3R3	1,91	6,71
T3R4	1,89	6,59
T4R1	2,62	7,39
T4R2	2,59	8,52
T4R3	2,70	8,41
T4R4	2,75	8,83

Sometida los datos del porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad del carbón de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), a una ecuación de regresión entre estas dos variables, se determinó que

existe un coeficiente de determinación R^2= 0,925 entre ambas variables, éste último nos indica que los valores de las variables de respuesta es explicada en 92,5% por el tratamiento aplicado y el 7,5% por ciento es debido a otros factores, tal como se observa en la siguiente figura.

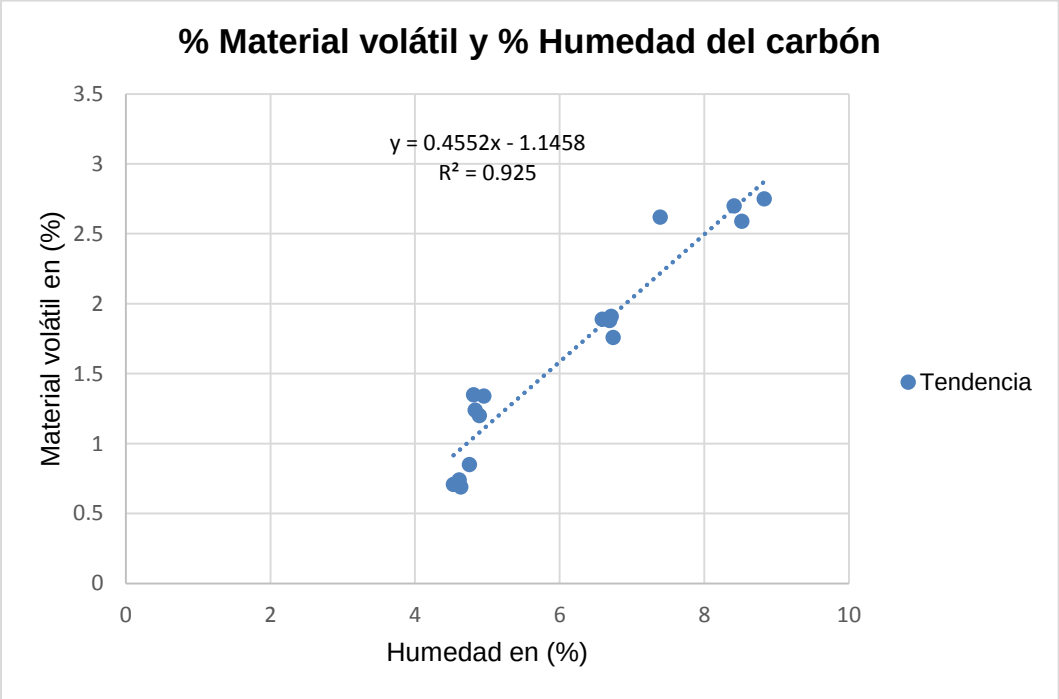


Figura 5. Muestra línea de regresión y correlación entre el porcentaje de humedad y el material volátil en carbón capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).

Sometida los datos del porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad en capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), a un análisis correlacionar de estas dos variables, se determinó que existe una correlación altamente significativa entre el porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad, donde se obtuvo un valor de 0,9617, tal como se observa en la Tabla 24A, estos datos nos indican que a mayor contenido de humedad en el carbón, existe un incremento significativo del contenido de Material volátil, tal como se observa en los tratamientos T^1 con 1 m^3 de

residuo de Capirona + 10 l de agua, T^2 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 20 l de agua, T^3 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 30 l de agua , T^4 con 1 m^3 de residuo de Capirona + 40 l de agua.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y a la información de otras fuentes bibliográficas se pudo contrastar las siguientes variables.

5.1. PORCENTAJE DE MATERIAL VOLÁTIL

Según Ríos (2006) lo define como la porción que se separa como gas cuando el carbón es calentado, compuesta por hidrocarburos y otros gases resultantes de la descomposición y la destilación.

En relación al porcentaje de material volátil se encontró que con el T^4 obtuvo el mayor promedio en porcentaje de material volátil con 2,66%, siendo este superior al T^3 1,86%, y este superó al T^2 con 1,28%, y por último T1 con 0,75%, siendo esto menor a los resultados obtenidos en los demás tratamientos. Con respecto a estos datos Panduro (2012), en la determinación de la materia volátil se tiene valores que van desde 2,28% para *Brosimun utile* y 8,10% para *Jacaranda copaia*. La materia volátil está compuesta principalmente de hidrógeno, hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono (CO; CO_2), que no fueron eliminados en el proceso de destilación seca o pirolisis. Pacheco (2005), opina que hay una relación inversamente proporcional entre la temperatura y el contenido de sustancias volátiles; a mayor temperatura hay menor rendimiento. Sin embargo, valores muy bajos de materia volátil pueden propiciar la friabilidad del carbón, característica inadecuada para un carbón de calidad.

Según Canul (2013), en el Estado de São Paulo, el Sello Premium, promulgado por la Resolución Nº 10 SAA, de 11 de julio de 2003, en esta resolución la humedad del carbón vegetal debe estar por debajo de 5% y el contenido de materiales volátiles (TMV) deben ser menor que el 23,5%. Al respecto los valores obtenidos están por debajo de lo que se indica o sea que el carbón obtenido fue de elevada calidad con relación a lo mencionado por Canul, en el presente experimento se encontró que existe una relación directa entre el contenido de humedad del residuo de madera capirona a carbonizar con el materia volátil y contenido de humedad del carbón pero a pesar del efecto de la humedad de los parámetros estudiados en todos los niveles se halló que están dentro de los estándares de calidad del carbón.

5.2. PORCENTAJE DE HUMEDAD

Según Ribeiro y Vale (2006) el carbón vegetal para ser considerado de buena calidad para uso doméstico, debe tener baja humedad, bajo contenido de material volátil.

Vela (2010), menciona que al realizar la determinación de contenido de humedad del carbón de la madera del genero Dypterix (shihuahuaco) en un horno colmena brasilero, encontró que el contenido de humedad era de 3,47%, mientras la materia volátil fue de 4,15%. Estos datos tienen mucha relación con los resultados obtenidos del T^2 con 4,87 y el T^1 con 4,63% de material volátil, mientras que el contenido de humedad en ambos tratamientos es relativamente más alto.

No obstante el porcentaje de humedad obtenido de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) presentó

diferencias altamente significativas, en relación a los tratamientos estudiados, el T4 obtuvo el mayor promedio en porcentaje humedad con 8.29% de humedad, seguido del T3 con 6,68%, el T2 obtuvo 4,87%, y finalmente el T1 con 4,63%. Estos valores están por encima comparados con los obtenidos según Panduro (2012) de 1,25% con *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don y parecidos con *Septotheca tessmannii* Ulbr con 6,45%. Indicando que la humedad depende básicamente de la temperatura final de carbonización y la humedad del ambiente en el que está expuesto el carbón.

Por otro lado Kollman (1959) relata que la higroscopicidad de la madera depende básicamente de la celulosa, la temperatura y la humedad relativa del ambiente (Panduro, 2012). FAO (2004) afirma que para la producción de carbón y el contenido de humedad en la madera no debe exceder del 15-20% en relación al peso seco.

Patiño y Pezet (1992) con Morales (1994), señalan que la humedad afecta al proceso de carbonización, ya que la duración de éste, varía de 6 a 7 días para madera seca y 8 a 9 para madera verde.

FAO (1983), recomienda que antes de que la carbonización el agua de la madera debe ser eliminada de este modo se mejorar más la eficiencia en la carbonización de la madera. No obstante el agua que queda en la madera que tiene que ser carbonizada, deberá ser evaporada en la fosa o en el horno. Patiño y Pezet (1989), en el mismo sentido abunda que a mayor cantidad de humedad se requiere un tiempo mayor del proceso para extraer el agua de la madera e iniciar el proceso de pirolisis.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

1. Para la carbonización con cuatro cargas con el mismo volumen 1 m^3 de residuo de capirona, los tratamientos fueron: T1 + 10 l de agua, T2 + 20 l de agua, T3 + 30 l de agua y T4 + 40 l de agua, según análisis estadísticos hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos, observando mayor promedio para el T4 con 2,66% de material volátil y 8,29% de humedad, siendo este superior al T3, que tuvo 1,86% de material volátil y con 6,68% de humedad, y este superó al T2 que tuvo 1,28% de material volátil y 4,87% de humedad, y por último T1, tuvo menor contenido de material volátil con 0,75% y 4.63% de humedad, estos resultados nos indican que a mayor contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), existe un incremento significativo en el contenido de material volátil y humedad en el carbón obtenido, lo cual es inconveniente para el medio ambiente y calidad del carbón, para fines de uso doméstico y comercial.

2. Con respecto al porcentaje de material volátil y el porcentaje de humedad del carbón obtenido, existe una correlación altamente significativa entre las dos variables, a mayor contenido de humedad en el carbón, existe un incremento significativo del contenido de Material volátil.

SUGERENCIAS

De acuerdo a los resultados, discusión y conclusiones obtenidas, se sugiere lo siguiente:

1. Utilizar para la carbonización residuo de madera capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con menor contenido de humedad a fin de obtener carbón con menor porcentaje de material volátil para disminuir las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente.

2. Complementar la información sobre del carbón vegetal de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), con otros estudios realizados como poder calórico, carbono fijo y porosidad del carbón.

3. Usar el modelo carbonizador continuo del proyecto FINCYT, en la que se obtuvo buena calidad de carbón vegetal según los estándares establecidos por la FAO minimizando el impacto ambiental comparado con el sistema tradicional de producción de carbón en Pucallpa.

4. Establecer estándares de calidad del carbón para las diversas especies vegetales de la Amazonía.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Da Silva, A.; Otomar-Caron, B.; Sanquetta, C., Behling, A.; SCMIDT, D.; Bamberg, R.; Eloy, E. & Dalla-Corte, A. (2014). Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.

Aguamarket. (s.f.). Propiedades organolépticas del agua. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3966%20&%20termino=Propiedades+Organol%E9pticas+del+Agua

Aliaga, F. & Zamora, M. (2010). Efecto de la producción artesanal de carbón vegetal en el calentamiento global. Trabajo monográfico para optar el título profesional de Ing. Forestal. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Programa de actualización profesional.

Amorim, E. (2012). Gases de efeito estufa produzidos pela combustão de biomassa. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, Recuperado el 18 de diciembre de 2017: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106403.

Ardila, M. (2013). Carbones y coques. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: https://steelgoood.files.wordpress.com/2013/05/cartilla-carbones-y-coques.pdf.

Ayón, M. (2003). Los procesos de carbonización ascendente y descendente en el horno metálico CEVAG. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. Pp. 14-19.

Basu, P. (2013). Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Academic Press. Burlington, MA, USA. Pp. 27-63.

Bravo, L. (1995). III Seminario Nacional sobre utilización de encinos Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Briane, D. & Doat, J. (1985). Guide Technique de la carbonisation. La fabrication da charbon de bois. Agence Francaice pour la Maitrise de L Energy Association Bois de feu – Centre Technique Forestier Tropical. France. 180 p.

Brito, J.; Barrichelo, L. & Do Couto, H. (1984). Estudo comportamento de madeira de eucalipto frente ao proceso de destilacao seca. Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Boletin Técnico N° 08.5-36 p.

Burrel, J. (1980). Uso da madeira para fins energéticos, Tecnología de transformado da Madeira en Carvao. Fundacao Centro Tecnológico de Minas Gerais/ CETEC. (Serie de publicacoes tecnicas/SPT -001) Be lo Horizonte. Brasil 69-82 p.

Bustamante, V. (2011). Evaluación del proceso de producción de carbón vegetal de residuos de Quercus sideroxyla Humb & Bonpl., en hornos tipo colmena brasileño.

Canettieri, et al. (2013). A atividade de carvoejamento e o risco a saúde da população de Rancho Novo, Caeté-MG. Revista Pegada, v. 14, n. 1, 2013. Disponível Recuperado el 13 de diciembre de 2017: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/viewArticle/1027>.

Cano, R; Armendáriz, M. & Juárez, T. (2003). Carbón de encino. Una alternativa de producción en zonas forestales. Folleto científico No, 1. Campo Experimental Madera. INIFAP – SAGAR. Chihuahua, México.13 p.

Canul, T. (2013). Rendimiento y calidad del carbón vegetal elaborado en horno tipo fosa con subproductos forestales de *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. y *Lonchocarpus castilloi* Standl en Campeche. Como requisito parcial para obtener el grado de maestría en Ciencias Forestales. Recuperado el 15 de diciembre de 2017, de http://eprints.uanl.mx/3221/1/1080256611.pdf 37 p.

Cárdenas, I. & Panduro, C. (2015). Evaluación del carbón activado por el método químico con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de Copaífera reticulata (Copaíba). Tesis para optar el título de ingeniero forestal. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal. 129 p.

Carneiro, et al. (2012). Estudio de la viabilidade técnica y económica de la producción de carbón vegetal em Hornos circulares con baja emisión de poluentes. “Estudo da viabilidade técnica e econômica da produção de carvão vegetal em fornos circulares com baixa emissão de poluentes (idioma português)”. Viçosa CEPEA/ESALQ, Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/silvicultura_estudo-de-viabilidade-economica-abc_31out2012.pdf .

CENBIO. (2008). "Centro Nacional de Referência em Biomassa. Carvão vegetal: Aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. Nota técnica da disciplina ENE5726: Biomassa como fonte de energia – conversão e utilização (idioma português)”. São Paulo: IEE/USP.

Chañi, Y. & Rengifo, J. (2017). “Evaluación del rendimiento y calidad del carbón vegetal, a partir de residuos de la especie *Dypterix odorata* (Aublet) Willd (shihuahuaco) producidos en horno artesanal de aserrín tipo horizontal, Tambopata – Madre de Dios”. Puerto Maldonado. Perú.

Cuevas, J. & Rojas, G. (2012). Cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en tres especies forestales *Dipteryx micranta* (Shihuahuaco), *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Tabebuia serratifolia* (tahuari), utilizados en la producción de carbón en hornos artesanales. *Tesis, para optar el título de Ingeniero Forestal*. Universidad Nacional de Ucayali-Pucallpa-Perú. 56 p.

Daroit, D.; Moura, A. & Martins, I. (2011). Vegetable Charcoal and Pyroligneous Acid: Technological, Economical and Legal Aspects of its Production and Commerce. https://www.researchgate.net/publication/262434314_Vegetable_Charcoal_and_Pyroligneous_Acid_Technological_Economical_and_Legal_Aspects_of_its_Production_and_Commerce

Dequimica. (s.f.). Carboquímica. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://dequimica.com/glosario/591/Carboquimica.

Dias, et al. (2002). Proceso de trabajo y salud de los trabajadores en la producción artesanal del carbón vegetal en Minas Gerais, Brasil. “Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil. v. 18, n. 1, p. 269–277, Disponível em: <http://scielo.br/pdf/csp/v18n1/8163.pdf>. Acesso em: 18 out. 2016.

Díaz, M.; Gonzales, A.; Sifuentes, D. & Gonzales, E. (2010). El carbón vegetal: alternativa de energía y productos químicos. Editorial Ximena. Vol. 23, núm. 1. 1 p.

Dolmos, M. (2017). Separata de prácticas.

Duke, J. (2009). Duke’s handbook of medicinal plants of Latin America. CRC Press Taylor y Francis Group. Boca Raton, USA. 962 p.

Earl, D. (1975). Informe sobre el carbón vegetal. FAO Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. Italia 94 p.

Echenique, R. (1991). Estructuras de madera. Editorial Limusa. México, DF.

EcuRed. (s.f.). Carbón vegetal. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de https://www.ecured.cu/Carb%C3%B3n_vegetal

Eloy, E., Da Silva, A., Otomar, B. & De Souza, V. (2015). Capacidade energética da madeira e da casca de acácia-negra em diferentes espaçamentos. Pesquisa Florestal Brasileira 35(82): 163-167.

Enciso, E. (2007). Guía para el uso y aprovechamiento de la biomasa en el sector forestal. España. 40 p.

Enlace Nacional. (2010). Vecinos denuncian a carboneros que contaminan Pucallpa Piden reubicación de carboneros para evitar contaminación en Pucallpa. Recuperado el 15 de diciembre de 2017, de https://www.youtube.com/watch?v=_OSr1akI9Fc https://www.youtube.com/watch?v=A-0SY_F5f78

Espasa-Calpe, S.A. (1978). Enciclopedia Universal Ilustrada. Europeo-Americana. Tomo XI. Pp.734-738.

FAO. (1983). Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Dirección de Recursos Forestales, departamento de Montes. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. (2004). *Terminología unificada sobre bioenergía*. Departamento Forestal de la FAO. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/009/j6439s/j6439s00.htm

Filtrodeagua. (s.f.). Filtros de agua. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://filtrodeagua.com.es/casero-de-arena-carbon-piedras.

Gonzales, E.; Córdova, R. & Ascencios, E. (1990). Industrias Forestales II. Guía de práctica. Universidad Nacional agraria La Molina. Dpto. De Industrias Forestales. Lima, Perú. 75p.

Hernández, R.; Fernández, C.; & Baptista, P. (2003). Metodología de la investigación. Tercera edición.

Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Investigación de mercados. México. Pearson.

Hess, S. (2008). Riesgos a la salud del trabajador en la producción de carbón vegetal en las carbonerías de Brasil “Riscos à saúde do trabalhador na produção de carvão vegetal em carvoarias no Brasil. Ríos Vivos (idioma portugues)”, Recuperado el 26 de diciembre de 2018 de www.riosvivos.org.br/arquivos/1357514940.pdf

Hiba. (1986). Contrato de exportación de carbón vegetal a Alemania. 35 p.

Inoue, M. (1996). El carbón vegetal en Japón. Agencia de Cooperación Internacional Japonesa, (JICA). 40 p.

Innóvate Perú. (2017). Desarrollo y validación de prototipo para la fabricación de carbón vegetal con carbono fijo superior al 90% y sin perjudicar el medio ambiente, en la región Ucayali. Recuperado el 26 de diciembre de 2018 de: https:/www.innovateperu.gob.pe

Iparraguirre, A. (2016). Formación de propuesta de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú. Tesis para obtener el grado académico de maestro en ciencias con mención en gestión de riesgos ambientales y seguridad en las empresas.

Jiménez, J. (2003). La madera; departamento de tecnología; E.S. "Sierra Mágina" Mancha real. España. 45 p.

Kollman. (1959). Tecnología de la Madera y sus aplicaciones Tomo I. Traducción de la 2da Edición. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones. Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid. 647 p.

Kollman, F. (1960). Tecnología de la madera y sus aplicaciones 2da Edición. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias al Servicio de la Madera. Madrid, 789 p.

Kumar, R.; Pandey, K.; Chandrashekar, N. & Mohan, S. 2011. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid, Acacia auriculaeformis and Casuarina equisetifolia. Biomass and Bioenergy 35: 1339-1344.

Maderas ODL. (2011). Capirona. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://www.maderasperu.com/capirona.

Magyp (s.f.). Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://forestoindustria.magyp.gob.ar/backup2/_archivos/_biblioteca/116%20%20X_%20Secado%20tradicional%20de%20eucalipto%20Gottert.pdf.

Marcos, F. (1989). El carbón vegetal. Propiedades y obtención. Agro guías Mundi-Prensa. Madrid. España. 117 p.

Martins, H. (1980). Uso da madeira para fins energéticos madeira como fonte de energia. Fundacao Centro Tecnológico de Minas Gerais/ CETEC (Serie de publicacoes técnicas/SPT-001). Belo Horizonte.pp11-26.

Mateos, D. (2013). Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://www.atmosferis.com/carbon-analisis/

Mayer, P. (1978). La producción integrada del carbón vegetal siderurgico: um análisis económico. “A produção integrada de carvão vegetal siderúrgico: urna analise econômica. Congreso ILAFA-Aitos Hornos. Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero. (En portugués)”.

Menéndez, J. (2008). Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico. El mundo del residuo: caracterización, tratamiento, gestión. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://digital.csic.es/bitstream/10261/4698/1/CursoResiduos.pdf

Morales, E. (1994). Técnicas en la Producción de Carbón a Base de Encino CIFAP-INIFAP, Campo Experimental Forestal, Durango, México.

Mori, J. (1994). Influencia de la temperatura en los productos de destilación seca de seis maderas de la zona de Jenaro Herrera Loreto. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 123 p.

NC. (2008). Carbón vegetal – especificaciones – Norma cubana 580-2008. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://www.14ymedio.com/nacional/NCvegetal_CYMFIL20170209_0001.pdf

NIC. (s.f.). EPOC Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, Bronquitis crónica, Enfisema. Recuperado el 30 de diciembre de 2018, de www.nhlbi.nih.gov/health-topics/espanol/epoc

Nkundumukiza, M. (2009). A Queima de biomassa e os problemas de saúde dos habitantes do distrito de braço do rio (Município de Conceição da Barra – ES). 143 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: www.geo.ufes.br/sites/geografia.ufes.br/files/field/anexo/m_maricleide.pdf.

Noticias Caracol. (2017). Humo del carbón vegetal, un riesgo para el medio ambiente y la salud | Noticias Caracol. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de https://www.youtube.com/watch?v=pEuLkUNEOKY.

Nuevodiarioweb. (2018). nuevodiarioweb. Obtenido de:

http://www.nuevodiarioweb.com.ar/noticias/2017/07/27/104112-la-produccion-del-carbon-vegetal-es-totalmente-nociva-para-la-salud-humana

Ochoa, A. & Panduro, C. (2015). Análisis comparativo de dos sistemas de producción de carbón vegetal de dos especies forestales de Tambopata - Madre de Dios. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela académica Profesional de Ingeniería Forestal. Pucallpa, Perú. Repositorio Institucional UNU. http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1575. 95p.

Oliveira, A. (2012). Sistema horno hornilla para la Producción de Carbón Vegetal. “Sistema Forno-Fornalha para Produção de Carvão Vegetal. 2012. 74 f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG (idioma português)”. Recuperado el 16 de diciembre de 2017, de www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3348/dissertação_%20Aylson%20Costa%20Oliveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Pacheco, M. (2005). Evaluación del proceso de carbonización y calidad del carbón DE Acacia caven (Mol.) Mol. Producido en hornos de barro. Tesis para optar al título de Ing. forestal. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 59 p. (en línea). Santiago de Chile, consultado 20/06/2018: http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/pacheco_g/sources/pacheco_g.pdf.

Panduro, C. (2012). “Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales” serie: PD 512/08 Rev.2 (I). 18 p.

Panshin, A. (1959). Productos forestales origen beneficio y aplicación. Ed. Salvat S. A. Barcelona. Madrid. 605 p.

Patiño, F & Pezet, M. (1989). Producción de carbón vegetal en tres tipos de hornos. Memorias de la primera reunión nacional sobre dendro energía. Divisón de Ciencias Forestales. Chapingo, México.

Patiño, F. & Pezet, M. (1992). Tecnología para la construcción y operación de hornos de mampostería. INIFAP. México.

Pérez, M. & Compean, G. (1989). Características físico-químicas y de producción en carbón de tres tipos de leñas de Durango. INIFAP-Durango. Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Dendroenergía. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México.

Pinchi, C. & Panduro, C. (2012). Propiedades físicas y composición química inmediata del carbón vegetal en residuos de aserrío primario en 10 especies forestales obtenidas artesanalmente en la provincia de Coronel Portillo – Región Ucayali. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal. 114 p.

Ribeiro, P. & Vale, A. (2006). Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis, 2006. Anais. Belém: Universidade Federal do Paraná.

Ríos, L. (2006). Desarrollo de la Metodología EPA para definir factores de emisión en calderas a carbón con base en muestreos de campo. Antioquía. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/lsdocFuentesFijas/factores_de_emision_161pdf.pdf

Ríos, L. (2006). Caracterización de las emisiones de calderas a carbón del Valle de Aburrá: determinación de factores de emisión. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/lsdocFuentesFijas/informe_final_convenio_327_amvadic14.pdf

Rodrigues, T. (2016). Diagnóstico ambiental de la producción de carbón vegetal en el municipio de Tabaí-RS. Recuperado el 15 de diciembre de 2017, de: https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1406/1/2016ThaisIsabelRodrigues.pdf

Sabelotodo. (s.f.). Carbón Vegetal. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://www.sabelotodo.org/combustibles/carbonvegetal.html

Sánchez, L. & Fajardo, A. (1989). La producción de carbón vegetal en hornos fijos como fuente de energía. División de Ciencias Forestales, UACh. México.

Sánchez, L. (1996). Problemática de la producción de carbón vegetal en hornos fijos de ladrillo en México. Revista Chapingo, Serie “Ciencias Forestales”. Vol. II, num. 1-1996.

Sánchez, L. (1997). Ponencia “Dendroenergía” La producción de carbón vegetal en México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 25 p.

Sánchez, L. (1997). Métodos de producción de carbón vegetal en México. Tesis de Doctorado. Pacific Western University. Los Ángeles California, EE. UU. p.115.

SEMARNAT. (2010). Construcción y manejo de hornos de ladrillo para fabricar carbón. Paquete de transferencia tecnológica. México. 36 p.

Sena, et al. (2014). SENA, Marcelo Monteiro Fonseca et al. Potencialidades do extrato pirolenhoso: práticas de caracterização. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, p. 41-44. Recuperado el 12 de diciembre de 2017 de: https://www.periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/13808.

SERFOR. (2016). Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2016. Recuperado el 14 de diciembre de 2017 de: https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Anuario-2016.pdf

Serrano, L. (2009). Producción de carbón vegetal mediante carboneras en zonas rurales empobrecidas, Universidad Carlos III de Madrid, Repositorio institucional e Archivo, España. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://hdl.handle.net/10016/5435.

Souza, et al. (2010). Sintomas respiratórios em trabalhadores de carvoarias nos municípios de Lindolfo Collor, Ivoti e Presidente Lucena, RS. Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 36, N. 2. Recuperado el 12 de diciembre de 2017: www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe_artigo.asp?id=1567

Steel, R. & Torrie, J. (1996). Bioestadística: principios y procedimientos. Editorial McGraw-Hill. 2da edición. México. 622 p.

Taccini, M. (2010). Estudio de las metodologías de la convención cuadro de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, referente a las emisiones de los gases de efecto invernadero en la producción del carbón vegetal. Disertación de maestría en recursos forestales. Escuela superior de Agricultura Luis de Quiroz. “Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal. 87 p. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de

Agricultura Luiz de Queiroz (idioma portugués)", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Terra. (s.f.). Los filtros domésticos de carbón activo. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, http://www.terra.org/categorias/articulos/los-filtros-domesticos-de-carbon-activo

Ullman, F. (1958). Enciclopedia de Química Industrial (T-9)20 Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona. 866 p.

UPV. (s.f.). La combustión. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675360.pdf

Valdivia, R. & Sánchez, L. (2002). Reporte del viaje de estudio realizado a la región de Huayacocotla, Veracruz. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 15 p.

Vela, W. (2010). Determinación del rendimiento y análisis gravimétrico del carbón vegetal de la madera del género *dypterix (shihuahuaco)* en un horno colmena brasilero. Tesis para optar el título de ingeniero forestal. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela profesional de ingeniería forestal. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2849 86 p.

Who. (2017). Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Recuperado el 15 de diciembre de 2017 https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)

Zabala, K. (s.f.). El carbón vegetal. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de https://es.scribd.com/document/122579105/El-Carbon-Vegetal

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "Efecto del contenido de humedad en los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), con el porcentaje del material volátil y humedad en el carbón vegetal, región Ucayali 2018".

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
General ¿El contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) tiene efecto con el contenido de material volátil y humedad en el carbón vegetal, región Ucayali 2018? **Específicos** ¿Si se somete a distintos contenido de humedad de carga, el proceso de	**General** Determinar el contenido de material volátil y humedad en el carbón vegetal obtenido según variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), región Ucayali 2018. **Específicos** Determinar el porcentaje de material volátil del carbón obtenido, y de la variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización de los	**General** Si se elabora carbón a partir de desechos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con la variación del contenido de humedad en los en los vagones de carbonización, se podrá determinar el efecto de la humedad en el porcentaje de material volátil y humedad del producto obtenido en la región Ucayali 2018. **Específicos** H1.- Si se somete a distintos contenido de humedad en los vagones de carbonización a los residuos de la madera aserrada de	**Variable independiente** Contenido de humedad en un $1m^3$ de residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) a carbonizar en cada vagón. Tratamiento 1 o T1 = Vagón 1 + 10 litros de agua. Tratamiento 2 o T2 = Vagón 2 + 20 litros de agua. Tratamiento 3 o T3 = Vagón 3 + 30 litros de agua. Tratamiento 4 o T4 = Vagón 4 + 40 litros de agua.	Volumen de agua aplicada en cada vagón. Contenido en Porcentaje de material volátil en el carbón obtenido en cada vagón. Contenido de humedad del carbón obtenido en cada vagón y	Litros de agua por vagón. % del material volátil % de humedad en el carbón obtenido y su relación con el % de material volátil.	**Nivel:** Aplicada exploratoria correlacional, Transversal. Los datos fueron obtenidos al azar, de cada vagón niveles encima, medio y fondo. Diseño completamente randomizado con un nivel de significancia α 0,05 usando software estadístico. Análisis de regresión y correlación. El

carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) cuál será el porcentaje de material volátil? ¿Si se somete a distintos contenido de humedad de carga, el proceso de carbonización de los residuos de la madera aserrada de capirona *(Calycophyllum spruceanum* Benth) cuál será el porcentaje de humedad del carbón vegetal producido?	residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), región Ucayali 2018. . Determinar la relación entre la humedad de los residuos de madera aserrada de capirona (*Calycoplyllum spruceanum* Benth), y el porcentaje de humedad del carbón producido, así como la relación con el material volátil.	capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), entonces se determinará que hay relación entre la humedad de los residuos de madera a carbonizar y el porcentaje de material volátil. H2. Si se somete a distintos contenido de humedad en los vagones de carbonización a los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth), entonces se podrá determinará que hay relación entre la humedad de residuos de madera a carbonizar y el porcentaje de humedad del carbón producido.	**Variable dependiente** Porcentaje de materia volátil en el carbón, obtenido de residuos de madera aserrada de capirona *(Calycophyllum spruceanum* Benth) con la variación del contenido de humedad en los vagones de carbonización respectivamente. Porcentaje de humedad en el carbón obtenido de residuos de madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth) con los distintos contenidos de humedad en los vagones de carbonización respectivamente y su relación con el material volátil.	su relación con el % de material volátil.	tratamiento de los datos consistió en 4 unidades con 4 repeticiones y a un tamaño uniforme. Los promedios obtenidos fueron sometidos a la prueba de Tukey

ANEXO 2

TABLAS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 21. Análisis de varianza del porcentaje de material volátil, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).

F.V.	G. L.	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamiento	3	8,09353	2,69784	525,13	0,00
Error	12	0,06165	0,00514		
Total	15	8,15518			

C.V.	**R^2**
7,17%	**99.24%**

Tabla 22. Análisis de varianza del porcentaje de humedad, en relación a cuatro tratamientos con diferentes contenido de humedad del residuo de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth).

F.V.	G. L.	SC	CM	FC	Pr>F
Tratamiento	3	35,188	11,7294	115,53	0,00
Error	12	1,1218	0,1015		
Total	15	36,407			

C.V.	**R^2**
10,11%	**96,65%**

Tabla 23. Muestra regresiones R^2, correlaciones inversas y significativas relacionadas al material volátil y humedad del carbón vegetal en capirona.

		Porcentaje de humedad del carbón
Material volátil	**Regresión "R^2"**	0,925
	Correlación de Pearson.	0,9617

Tabla 24. Condiciones climatológicas de Pucallpa mayo a agosto del 2018.

Meses Del año	TEMPERATURA ºC				H.R. %	Evap. mm	ETP mm	P. Pluvial		Horas sol		VIENTOS	
	Máx.	Min.	Med.	Osc.				Nº Días	mm/ mes	día	mes	m/seg	direc.
MAYO	31,9	22,1	26,6	8,9	82	113,6	131,9	5,5	169,3	4,1	127,0	2,1	SE-NW
JUNIO	29,2	20,7	25,0	8,4	88	76,2	120,0	1,9	58,0	4,1	125,4	2,0	SE-NE
JULIO	30,7	20,5	25,7	10,3	89	87,2	127,5	4,3	132,7	5,3	165,8	2,4	NE-SE
AGOST	30,2	20,6	25,4	9,4	91	86,7	126,0	3,3	103,4	5,9	188,2	2,1	SW-NE

ANEXO 3

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA



Fotografía 1. Caldero del horno carbonizador para producir calor para la fabricación de carbón vegetal.



Fotografía 2. Prototipo para la fabricación de carbón vegetal. Tuberías del horno para la distribución del calor a los vagones para la carbonización de la capirona.



Fotografía 3. Residuos de capirona y prototipo FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU para la fabricación de carbón vegetal.



Fotografía 4. Prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU para la fabricación de carbón vegetal.



Fotografía 5. Vagones del prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. - UNU para la fabricación de carbón vegetal.



Fotografía 6. Puerta del prototipo de carbonizador FINCYT-JK Maderas Export. SAC. -UNU para la fabricación de carbón vegetal.



Fotografía 7. Residuo de madera aserrada de capirona (*Callycophullum spruceanum* Benth)



Fotografía 8. Preparación de los vagones hermetizados con barro en el contorno de la puerta y tapas superiores para la siguiente carbonización.



Fotografía 9. Descarga de las primeras muestras de carbón de los vagones.



Fotografía 10. Sacos de carbón de la realización de los primeros ensayos.



Fotografía 11. Procedimiento previo a la determinación del material volátil del carbón.



Fotografía 12. Muflas y estufa de la Universidad Nacional de Ucayali.