



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

TESIS:

**CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL A
PARTIR DE BAMBÚ (*GUADUA ANGUSTIFOLIA
KUTH.*) EN DOS ESTADIOS DE MADUREZ
PRODUCIDO EN UN HORNO METÁLICO.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autor(es):

**Bach. Becerra Bustamante Melidsa
Bach. Sena Medina Steffany Yamaly Crysedt**

Asesor:

Msc. Bustamante Sigueñas Danny Adolfo

**Línea de Investigación
Diseño y Desarrollo de Nuevos Procesos**

Pimentel – Perú

2017

CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia Kuth.*) EN DOS ESTADIOS DE MADUREZ PRODUCIDO EN UN HORNO METÁLICO.

Bach. Becerra Bustamante Melidsa

Bach. Sena Medina Steffany Yamaly Crysedt

Aprobado por:

Ing. Esquivel Paredes Lourdes Joseffine

Asesor Metodológico

Msc. Bustamante Sigueñas Danny Adolfo

Asesor Especialista

Ing. Esquivel Paredes Lourdes Joseffine

Presidente de jurado

Ing. Castillo Martinez Williams Esteward

Secretario de jurado

Msc. Bustamante Sigueñas Danny Adolfo

Vocal/asesor de jurado

DEDICATORIA

Este trabajo representa la culminación de una etapa muy importante en nuestra formación profesional, ya que representa el fin de una etapa en nuestras vidas que quedara marcado en cada uno de nuestros corazones, por eso este logro se lo dedicamos a:

Dios y nuestros padres. A Dios porque ha estado en cada paso que dimos, cuidándonos y dándonoslos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestras vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento. Por su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para nosotras, sino para nuestros hermanos y familia en general. Depositando su entera confianza en cada reto que se presentó sin dudar ni un solo momento de nuestra capacidad. Es por ellos y por cuidarnos a cada paso que damos, que somos lo que somos ahora.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la oportunidad de existir aquí y ahora; por las oportunidades que nos brindas, las enseñanzas que la hemos vivido junto a ti, por iluminarnos, darnos fuerzas y guiar nuestro camino.

A todos aquellos que de una forma u otra aportaron un granito de arena, a los que sacrificaron su tiempo y colaboraron con nosotros durante el proyecto y desarrollo de esta investigación:

A la Universidad Señor de Sipán, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, por prestarnos sus instalaciones para realizar la investigación.

A nuestro asesor especialista de Tesis el Ing. Bustamante Sigueñas Danny Adolfo, por sus conocimientos aportados para la investigación, su información, sus consejos y su amistad.

A nuestro asesor metodológico de Tesis la Ing. Lourdes Esquivel Paredes, por sus conocimientos brindados a lo largo de nuestra carrera, sus consejos y su amistad.

A la universidad Nacional de Trujillo, a la universidad Cesar Vallejo por haber contribuido en el desarrollo de esta investigación, permitiéndonos realizar los análisis correspondientes, de manera confiable y segura.

ÍNDICE	
Resumen	xi
Abstract	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
I.PLAN DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.1. Objetivos específicos	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Estado del arte.....	15
2.3. Bases teórico científicas	16
2.3.1. El bambú.....	16
2.3.1.1.Aspectos Generales	16
2.3.1.2.Descripción Botánica:	17
2.3.1.3.Género y especie: <i>Guadua angustifolia</i>	19
2.3.1.4.Estadios de madurez	22
2.3.1.5.Ventajas comparativas del bambú vs. Otras maderas.....	25
2.3.1.6.Especies de bambú	26
2.3.2. Carbón vegetal	26
2.3.2.1.Aspectos generales:	26
2.3.2.2.Propiedades físico- químicas del carbón vegetal:	28
2.3.2.3.Usos del Carbón Vegetal	31
2.3.2.4.Proceso de carbonización en horno metálico:	32
2.3.2.5.Factores que afectan la carbonización:	35

2.4.	Definición de términos básicos	36
III.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1.	Tipo y diseño de la investigación	37
3.2.	Población y muestra	37
3.2.1.	Población	37
3.2.2.	Unidad experimental	37
3.3.	Hipótesis	38
3.4.	Variables.....	38
3.5.	Operacionalización	39
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.6.1.	Métodos y técnicas e instrumentos para obtener carbón vegetal	39
3.6.1.1.	Materia prima.....	39
3.6.1.2.	Materiales y equipos.....	40
3.6.1.3.	Descripción del proceso	40
3.6.2.	Métodos y técnicas e instrumentos para caracterizar el carbón vegetal en dos estadios de madurez (verde y maduro)	42
3.6.2.1.	Para la determinación la capacidad calorífica:	42
3.6.2.2.	Para la determinación el porcentaje de humedad:	44
3.6.2.3.	Para la determinación el porcentaje de cenizas	46
3.6.2.4.	Para determinar volátiles	47
3.6.2.5.	Carbón fijo	49
3.7.	Plan de análisis estadísticos de datos	49
3.8.	Criterios éticos	50
3.9.	Criterios de rigor científico	51
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	52
4.1.	Determinación del tiempo del proceso de obtención de carbón vegetal a partir de bambú en un horno metálico.	52
4.2.	Caracterización del carbón vegetal de bambú en dos estadios de madurez producido en un horno metálico.	54
4.2.1.	Resultados del Contenido de Humedad.	55
4.2.2.	Resultados de contenido de Materia Volátil.....	57

4.2.3. Resultados de contenido de cenizas.....	60
4.2.4. Resultados del contenido de carbón fijo.....	62
4.2.5. Resultados del poder calorífico.....	65
4.3. Discusión de resultados.....	70
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones.....	74
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	75
VII. ANEXOS.....	79
ANEXO1.1.....	79
ANEXO 8.2.....	80
FOTOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Taxonomía del bambú.....	18
Tabla 2.2 Clasificación taxonómica de <i>G. angustifolia</i>	21
Tabla 3.1 Operacionalización de variables.....	39
Tabla 3.3 Diseño estadístico de bloques completamente al azar.....	49
Tabla 4.1 Horas de carbonización del bambú en dos estadios de madurez.....	54
Tabla 4.2 % de Humedad del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).....	55
Tabla 4.3 % de Humedad del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).....	55
Tabla 4.4 % de Humedad del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).....	56
Tabla 4.5 % de Humedad del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).....	56
Tabla 4.6 ANOVA para el porcentaje de Humedad.....	57
Tabla 4.7 % de Volátiles del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).....	57
Tabla 4.8 % de Volátiles del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).....	58
Tabla 4.9 % de Volátiles del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).....	58
Tabla 4.10 % de Volátiles del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).....	59
Tabla 4.11 ANOVA para el porcentaje de sustancias volátiles.....	59
Tabla 4.12 % de Cenizas del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).....	60
Tabla 4.13 % de Cenizas del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).....	60
Tabla 4.14 % de Cenizas del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).....	61
Tabla 4.15 % de Cenizas del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).....	61
Tabla 4.16 ANOVA para el porcentaje de Cenizas.....	62
Tabla 4.17 % de Carbón Fijo del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).....	62
Tabla 4.18 % de Carbón Fijo del carbón vegetal (CV1; 3hrs/car).....	63
Tabla 4.19 % de Carbón Fijo del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).....	63

Tabla 4.20 % de Carbón Fijo del carbón vegetal (CM2; 3hrs/car).....	64
Tabla 4.21 ANOVA para el porcentaje de Carbón Fijo.....	64
Tabla 4.22 Poder Calorífico del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).....	65
Tabla 4.23 Poder Calorífico del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).....	65
Tabla 4.24 Poder Calorífico del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).....	66
Tabla 4.25 Poder Calorífico del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).....	66
Tabla 4.26 ANOVA para el poder calórico.....	67
Tabla 4.27 Resumen de análisis practicados al CV de bambú en dos Estadios de madurez.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Pseudosasa japónica.....	18
Figura 2.2 Guadua angustifolia.....	21
Figura 2.3: Características externas de culmos de Guadua angustifolia.....	23
Figura 2.4 Brote o Renuevo.....	24
Figura 3.1 Diagrama de flujo para la elaboración de carbón vegetal a partir de bambú.....	41
Figura 3.2 Bomba Calorimétrica.....	44
Figura 4.1: Horno con carga de caña Madura.....	52
Figura 4.2: Emisión de humo Blanco durante la carbonización.....	53
Figura 4.3: Emisión de humo Azul durante la carbonización.....	53
Figura 4.4 Poder Calorífico vs Estadio de Madurez.....	68
Figura 7.1: Recepción de las cañas verdes.....	80
Figura 7.2: Recepción de las cañas maduras.	80
Figura 7.3: Encendido del horno metálico utilizado para la carbonización.....	81
Figura 7.4: muestras de carbón vegetal con cañas maduras.....	81
Figura 7.5: muestras de carbón vegetal con cañas maduras.....	82
Figura 7.6: muestras de carbón vegetal con cañas verdes.....	82
Figura 7.7: muestras de carbón vegetal de tres horas de carbonización.....	83
Figura 7.8: muestras de carbón vegetal de dos horas de carbonización.	83
Figura 7.9: muestras de carbón vegetal de dos horas de carbonización.	84
Figura 7.10: muestras de carbón vegetal en el desecador.	84
Figura 7.11: Mufla utilizada para determinar cenizas uss.	85
Figura 7.12: muestras de carbón vegetal para determinar porcentaje de cenizas.....	85
Figura 7.13: Mufla utilizada para determinar materia volátil -ucv.....	86
Figura 7.14: Muestra de análisis de material volátil -ucv.....	86

Resumen

Son diversas las especies forestales que poseen las características energéticas para ser aprovechadas en la producción de carbón vegetal pero muchas de ellas atentan contra la flora del medio ambiente. En presente trabajo se realizó estudios que nos permitieron caracterizar al carbón vegetal obtenido a partir de bambú en dos estadios de madurez verde y maduro producidos en horno metálico, se determinó el porcentaje de humedad valores, volátil, ceniza, carbón fijo y poder calorífico. Los análisis se realizaron bajo el procedimiento establecido en la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón de la empresa Noram de México (NORAM, s/f). Tomando en cuenta el poder calorífico, Se obtuvo como el mejor carbón vegetal que se produjo con caña madura en tiempo de tres horas de carbonización con un poder calorífico de 6455.26 Kcal/kg, humedad de 4.69%. Volátiles de 23.22%, cenizas 5.200% y carbón fijo de 64.80 %.

Palabras Clave: Carbón Vegetal, Capacidad Calorífica, Caracterización, Bambú, Estadios de Madurez.

Abstract

They are diverse forest species that has the energy to be exploited in the production of charcoal characteristics but many of them threaten the flora of the environment. In this paper several studies that allowed us to characterize the charcoal made from bamboo two green and mature stages of maturity produced in metallic oven, the percentage of values, volatile, ash moisture, fixed carbon and calorific value determined was performed. Analyses were performed under the procedure laid down in the CEN / TC281 standard (1996) and the Manual of Procedures for Chemical Analysis of Coal Company Noram Mexico (NORAM). Taking into account the calorific value it was obtained as the best charcoal is produced with mature cane in time of three hours of carbonization with a calorific value of 6455.26 kcal / kg, moisture 4.69%. Volatiles 23.22%, ash 5,200% and fixed carbon of 64.80%.

Key Words: Charcoal, Heat Capacity, Character, Bamboo, maturity stages.

INTRODUCCIÓN

Existen diversas definiciones de carbón vegetal, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación lo define como el residuo sólido, que se obtiene, por efecto del proceso de carbonización de la madera, controlando la entrada de aire en un espacio cerrado, como lo es el horno, mismo que puede ser de tierra, ladrillo, cemento armado o metal.

El carbón vegetal tiene muchas propiedades, entre ellas están las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y físicas. El criterio de clasificación para que un carbón sea de buena calidad dependerá del destino. Para fines de esta investigación el uso que se le dará al carbón será doméstico, este debe ser suave, fácilmente inflamable, no estallar y emitir el mínimo de humos posible. Y puede ser obtenido a bajas temperaturas (350 ° C).

El proceso de producción de carbón vegetal consta de cuatro etapas según Seboka, 2010, la fase de combustión donde el horno se calienta hasta 120°C, deshidratación, el calor proporcionado impulsa la humedad de la carga en la forma de vapor. Toda el agua en los poros de la madera es expulsada y la temperatura se eleva lentamente aproximadamente a 270°C, fase exotérica, la propia madera comienza a descomponerse bajo la influencia de calor. El aire se corta completamente en este punto para evitar la combustión.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de caracterizar el carbón vegetal a partir de bambú en do estadios de madurez producida en un horno metálico, los análisis se realizaron bajo el procedimiento establecido en la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón de la empresa Noram de México (NORAM, s/f).

I. PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

En el País de Cuba se utiliza el carbón vegetal como fuente energética para la producción de pan y en zonas agrícolas para sus necesidades energéticas, su principal materia prima son los árboles y la foresta nativa, por otro lado este país produce significativas cantidades de residuos agrícolas de cultivos de cañas de azúcar, arroz y café que poseen propiedades energéticas para obtener carbón vegetal, sin embargo se utiliza la leña como combustible restando importancia a los residuos agrícolas. (Fuentes & Recio, 2011)

Por otro lado Etiopía tiene más de un millón de hectáreas de tierras altas y tierras bajas de bambú (67% del total en África), continente que posiblemente cuenta con el área más grande de bambú, donde la problemática era el mal aprovechamiento de este recurso renovable, donde las partes de la punta y la base del bambú no tenían un aprovechamiento económico para las personas involucradas directamente, (Seboka, 2010).

El carbón vegetal en un ámbito mundial se concentra en el continente asiático donde datos estadísticos muestran como principal exportador a Indonesia que en los años 2012, 2013 y 2014 exportó 246.531ton, 243.806ton y 326.867ton respectivamente y en América fueron Paraguay con 157.744 ton, 137.534ton y 129.416 ton en los mismos años y Argentina con 87.979ton, 79.712ton y 71.773ton. (ITC, 2014) El carbón vegetal se produce con especies que permitan obtener un producto denso y de combustión lenta, dichas especies se caracterizan por desarrollarse lentamente y son por lo tanto muy vulnerables a la explotación intensiva. (FAO, 2000).

En el Perú existen maderables que no son aprovechados, esto se debe a la mala calidad de estas especies expresada en la mala forma del tronco, reducidos diámetros y la presencia de muchos nudos. Por otro lado, existen

toneladas de desechos de maderas que forman grandes desmontes al limpiar tierras para cultivos y lo que se produce por las industrias forestales.

Según MINAG-DGFF (2011) el 96% de la producción nacional de carbón vegetal del año 2010 procede de tres departamentos: Lambayeque, 74%; Piura, 13%; y La Libertad, 9%. Más aun, el 95% de la producción es de algarrobo, especie protegida de la tala indiscriminada de los bosques secos del norte del Perú (Lambayeque) (Carbajal., 2012).

Estudios realizados por el proyecto el algarrobo, han identificado 181 establecimientos de pollerías, que consumieron en el año 1,990 365.5 T.M. de carbón que para ser producido se utiliza 2, 187 m³de leña, (Ubillús, 2014).

El desempleo en la región de Lambayeque, el desarrollo de la actividad agrícola poco diversificada y la actividad industrial escasa, son consecuencia de una política regional de mediano y largo plazo fracasada que trae como consecuencias actividades ilegales de la poblaciones del campo que en tiempo de sequía recurren a la tala del algarrobo con fines de lucro a través de la venta de este como carbón vegetal.

En la región Lambayeque el bambú es poco conocido por la población y en algunos casos es conocido como Guayaquil, esta materia prima es comercializada solo como caña a bajos precios, por la escasa demanda y el trabajo aislado que se tiene en el Perú y en la región.

Estos recursos naturales y renovales no tienen el máximo aprovechamiento ya que considerables cantidades de residuos de las cañas son dejados en el campo por los compradores y en algunos casos son los mismos productores los que no hacen un buen manejo del cultivo, ocasionando daño a las plantaciones de bambú deteniendo el desarrollo normal de la planta. En otros casos es utilizado como alimento para animales o como materia prima para la artesanía.

Es importante saber que el bambú, es un cultivo que no demanda un alto costo de producción y es utilizado mayormente para construcción y mueblería, dejando a lado otros usos industriales, muchas veces por desconocimiento, falta de capital, altas inversiones y mercado.

Existe una gran variedad de residuos generados por la industria forestal y los bajos precios de estas materias primas lo que es un problema para los que lo comercializan, tal es el caso del bambú, plantación renovable con características físico mecánicas apropiadas para la construcción de viviendas, adornos y otros fines. Se estima que de este recurso renovable solo se utiliza el 40% en las actividades ya mencionadas, quedando el 70% que no tienen el debido uso para el beneficio de las familias de los productores y demás personas.

En el distrito de La Florida se enfrentan problemáticas como el desperdicio de los residuos de bambú que luego de ser cortados quedan en las plantaciones ocasionando pérdidas considerables para los pobladores como también el bajo precio que se paga por estas cañas comercializadas, que no se sabe su destino final de estas cañas que son vendidas en campo. En el distrito de La Florida algunos productores se dedican a la producción de muebles, artesanía, etc.

1.2. Formulación del problema

¿Qué estadio de madurez en el bambú representará la mejor fuente energética para sustituir el carbón vegetal comercial?

1.3. Justificación e importancia

Los carbones vegetales (CV) son elementos auxiliares para muchos sectores, ya sea de uso doméstico normalmente utilizado como combustible para calefacción o preparación de alimentos, como también en la industria principalmente en países subdesarrollados. En estos países existe un renacimiento del uso del carbón vegetal para la metalurgia y producción de pólvora gracias a los abundantes recursos forestales que poseen. (Menéndez, 2008)

La producción de carbón vegetal constituye una oportunidad para recuperación de residuos, no solo de la industria de transformación mecánica de la madera sino también para los residuos de producción de madera rolliza.

Estados Unidos, el carbón vegetal (ya sea en formato de briquetas o trozos), se utiliza principalmente en la cocción de carnes en parrillas. En este sentido, el carbón vegetal se considera como un producto de “nicho” o “Gourmet Product”, especialmente el manufacturado con maderas aromáticas como el roble, arce o árboles frutales considerándose en parte causantes de la deforestación, principalmente del roble, (Chicago, 2011).

La *Guadua angustifolia* crece rápidamente y madura en un periodo dentro de 4 a 6 años, y se pueden realizar cosechas anuales, convirtiéndolo en un recurso renovable de alto valor. La *G. angustifolia* cuenta con un excelente potencial para la producción de carbón vegetal para satisfacer las necesidades energéticas urbanas y rurales para calefacción y cocina., (Seboka, 2010).

El carbón puede obtenerse mediante el proceso de pirolisis o carbonización en seco. En el caso de *G. angustifolia* el proceso se puede realizar utilizando los residuos de cosecha; además se pueden hacer briquetas de carbón con tecnología básica y en la misma zona de producción. Así que hacer carbón y

briquetas de bambú es una forma eficiente de utilizar el bambú y ampliar el campo de utilización de bambú, (Zhang, Jiang, & Xiao, 2002).

El carbón de bambú es un material funcional para protección del medio ambiente y se ha desarrollado rápidamente en los últimos años como un precursor alternativo gracias a su rápido ciclo de cosecha, siendo la mejor alternativa como materia prima para elaborar carbón vegetal, puesto que la madera que se utilizaba para su elaboración, ha reducido rápidamente y casi está agotado. Como resultado, la fabricación de carbón de bambú no destruye los bosques y el medio ambiente, siendo el carbón de bambú similar en propiedades y puede sustituir el carbón de alta calidad hecho de madera. (Seboka, 2010).

El presente proyecto está basado en una realidad general que es la importancia de buscar otros precursores maderables o no maderables que puedan servir para poder obtener carbón vegetal, con la mayor similitud en características al carbón vegetal que hoy en día se oferta y se demanda, y de una manera más específica, este proyecto se desarrolla basado en la realidad del distrito de la Florida, Cajamarca, zona dedicada a la comercialización del bambú, como materia prima, la cual es destinada principalmente a la construcción, dicha comercialización de la caña, no es en toda su totalidad rentable, pues el precio por las mejores cañas, es decir las de primera llegan a costar entre 8.5 y 9 soles, y son aquellas que tienen un diámetro de 9 a 10 cm y una altura de 6 m y algunas veces hasta 8 metros . Las cañas de segunda llegan a costar 8 soles y son las tienen un diámetro de 7 y 8 cm y miden 6 metros y son consideradas de segundas las cañas de 8 metros solamente si están torcidas. Y las de tercera cuestan 4 a 5 soles, y con un diámetro de 5 y 6 cm. son los estos parámetros de calidad, reducen la rentabilidad de los agricultores, lo que lleva a algunos a permitir que el mismo cliente, realice la cosecha de las cañas, los cuales no llegan a realizar esta labor de la mejor manera, cuidando como debe ser al bambú, perjudicando así las tierras de los agricultores.

Siendo esta la realidad de las personas dedicadas al bambú, en la Florida, Cajamarca, es que se desarrolla este proyecto que tiene por objetivo la caracterización del carbón vegetal a partir de bambú aprovechando así no solamente los residuos de cosecha, que como ya se mencionó, daña los terrenos de los agricultores, sino también la caña en su longitud comercial, ya sean las de tercera, segunda, que van perdiendo su valor monetario, en la clasificación de las cañas , hasta la considerada por el mercado como de primera. Contribuyendo a la mejora económica de la población dedicada a esta actividad forestal y al uso integrado del recurso.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar el carbón vegetal a partir de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) en dos estadios de madurez producido en un horno metálico.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el tiempo del proceso de obtención de carbón vegetal a partir de bambú en un horno metálico.
- b) Determina el poder calorífico del carbón vegetal a partir de bambú en dos estadios de madurez producido en un horno metálico.
- c) Analizar el carbón vegetal obtenido a partir de bambú en dos estadios de madurez producido en un horno metálico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Artículo científico: Producción y Caracterización de carbón vegetal de especies y variedades de bambú.

Autores: José Otávio Brito, Mario Tomazello Filho, Antonio Luiz De Barros Salgado.

Fuente: Instituto de Pesquisas y Estudios Forestales, 2005.

<http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr36/cap02.pdf>

Resumen:

Muestras de Cañas de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* , *B. vulgaris* , *B.tuldoidesgiganteus* y *Guadua angustifolia* se recogió a varias alturas, tallos adultos eran carbonizados en condiciones de laboratorio caracterizando esos carbones obtenidos. Se utilizaron muestras de madera de eucalipto en el proceso de carbonización para comparar los resultados. Se destacó entre el las diferencias observadas, la mayor densidad, menor contenido de lignina, holocelulose y mayor contenido de extractivos de los tallos. Estos mostraron mayores rendimientos de carbono y gases no condensables. Se observó que el carbón de bambú es más denso y tiene un mayor contenido de cenizas en comparación con la madera de carbón.

Artículo científico: Método y dispositivo para la fabricación de carbón vegetal a partir de biomasa.

Autores: Aguilar Lozano, María Isabel; García Sancho, Aitor; García García, Francisco y Sánchez López, Leopoldo

Fuente: Oficina española de patentes y marcas. España-2014

http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/43/77/ES-2437717_B1.pdf

Resumen:

Según Lozano, García y Sánchez su investigación está hecha con un método de fabricación de carbón vegetal a partir de biomasa, donde ellos utilizaron la energía obtenida de la combustión de gases emitidos por calentamiento de la biomasa para obtener y establecer temperatura necesaria para la carbonización. Esto se logró mediante la fabricación de carbón vegetal a partir de biomasa vegetal mediante una investigación siguiendo una secuencia de pasos “a) calentar la biomasa en un reactor con salida de gases hasta llegar a una temperatura mínima de 400°C, b) aumentar la temperatura de carbonización hasta una temperatura mínima de 600°C, con la salida de gases de la etapa “a)”, c) la carbonización de la biomasa se continua en ausencia de oxígeno carbonizar la biomasa en ausencia de oxígeno hasta que se hayan desprendido los gases, d) quitar la alimentación de energía al reactor para poder disminuir la temperatura, y e) sacar el carbón vegetal.” (Aguilar et al, 2014, p.34)

Artículo científico: Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el salvador.

Autores: Melvin Benjamín Guardado Gómez, José Alberto Rodríguez Rivera, Luis Ernesto Monge Hernández.

Fuente: Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas. 2010

http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluacion_de_la_calidad_del_carbon_vegetal_producido_en_hornos_retorta_y_hornos_metalicos_portatiles_en_El_Salvador.pdf

Resumen:

Este trabajo busca determinar la calidad del carbón vegetal producido por los hornos de retorta y horno metálico portátil, ya que el consumo de carbón vegetal en El Salvador es de uso común y este es fabricado en forma artesanal, su calidad se ve afectado por una variedad de factores que modifican las propiedades del carbón y la influencia que tiene la materia prima. Para poder

determinar la calidad se determinó algunas propiedades que fueron medidas en pruebas de laboratorio y con una cantidad representativa de muestras para obtener un valor promedio. Dichas propiedades se seleccionaron partiendo de los usos a los que estaba predestinado el carbón y es el doméstico. Todas las pruebas de laboratorio se realizaron en igualdad de condiciones para poder homogenizarlos. Por último para determinarse cuál de los carbones es el de mejor calidad para las condiciones específicas a las cuales se usa, se comparó cada una de las propiedades que se seleccionaron con este propósito y se concluyó cuál de los dos es el más apropiado.

Con las propiedades también se determinó cual es el mejor procedimiento para producirse dicho carbón, cuál de los hornos produce las mejores propiedades y bajo qué condiciones se producen variaciones en ellas. De esta forma se concluyó cual horno produce mejores propiedades.

Artículo científico: Análisis de la calidad del carbón vegetal de Encino producido en horno tipo colmena Brasileño en Huayacocotla, Veracruz.

Autores: Juan Carlos Ordaz Hernández.

Fuente: Universidad Autónoma Chapingo. 2003

<http://chapingo.mx/dicifo/tesislic/2003/Ordaz%20Hernandez%20Juan%20Carlos%202003.pdf>

Resumen:

Esta tesis se elaboró con el objetivo de poder implantar la disimilitud de la calidad mostrada en el carbón vegetal elaborado con un solo método: horno de “Colmena Brasileño”, haciendo un análisis en las diferentes posiciones y alturas al interior de este tipo de horno. En donde se tuvo en cuenta los antecedentes, las opiniones de los productores locales que usan este método para la elaboración de este producto.

El proceso y la toma de muestras se realizó en la batería de hornos del “ejido la selva” que pertenece al municipio de Huayacocotla en Veracruz, estas muestras

fueron analizadas en la empresa de carbón vegetal “NORAM de México SA de CV”(Durango) y en la universidad autónoma de Chapingo (laboratorios de “Anatomía de la Madera” y de “Ecología”). De las muestras obtenidas se analizó la humedad, densidad, poder calórico, carbón fijo, materia volátil, cenizas. Estos resultados se analizaron con el diseño estadístico: DBCA, tomaron este diseño ya que las muestras se juntaron en tres niveles (bloques completos), representación de todos los tratamientos por experimentar.

Finalmente se analizó una marcada tendencia de variación en la calidad del producto, correspondientes a los niveles analizados, esta tendencia es por la altura de producción del carbón vegetal el carbón fijo y poder calórico son mayores y la densidad, humedad y volátiles son más bajos.

Esto representa que la calidad del carbón vegetal de los niveles intermedio y superior según lo analizado es de más calidad que el carbón producido a nivel del piso. Solo en el caso de cenizas estos resultados se mantuvieron constantes.

Artículo científico: Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa

Autores: Artemio Carrillo Parra, Rahim Foroughbakhch Pournavab y Verónica Bustamante García.

Fuente: Universidad Autónoma de Nuevo León. 2013

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711322013000300007&script=sci_arttext

Resumen:

La biomasa se utiliza para la generación de calor y la preparación de alimentos. En el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León el consumo de carbón vegetal con fines recreativos tiene una demanda de 5500 t al mes. En México su comercialización se basa en conocimientos empíricos: especie, duración del encendido, producción de chispas y cenizas.

Sin embargo, para su exportación se deben cumplir esquemas de calidad. Por lo anterior, en la presente investigación se comparó el rendimiento y calidad del carbón de *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano* producido en un horno tipo fosa. La calidad se determinó mediante el contenido de humedad, material volátil, cenizas, carbón fijo y poder calorífico, en función de estándares internacionales. Los datos se analizaron con un diseño experimental con arreglo factorial. Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el rendimiento entre las dos especies, lo mismo que para las cenizas y el poder calorífico ($p < 0.05$).

Se determinó un rendimiento de 2.8, 2.3 m³t⁻¹, contenido de humedad de 3.6, 3.5%; material volátil de 22.8, 24.9%; porcentaje de cenizas de 2.8, 3.2%; carbón fijo de 70.8, 68.6%, y poder calorífico de 30 241, 29 725 kJ kg⁻¹ para *P. laevigata* y *E. ebano*, respectivamente. El rendimiento en los dos casos fue alto, el contenido de humedad y cenizas se estimó dentro de los límites establecidos a nivel mundial.

El material volátil y carbón fijo no cumplieron con los porcentajes permitidos en las normas vigentes del comercio exterior.

Artículo científico: Calidad de carbón vegetal de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh producido en horno metálico de tambor tipo japonés mejorado.

Autores: Elba Rojas Díaz

Fuente: Universidad Autónoma Chapingo

http://www.chapingo.mx/dicifo/tesislic/2014/rojas_diaz_elba_2014.pdf

Resumen:

La cantidad total de la materia (biomasa) en los últimos tiempos se emplea para la generación de energía (calor) y para la elaboración de los alimentos por todos los habitantes del mundo. En México-Monterrey la demanda para el uso recreativo del carbón vegetal en nuevo león específicamente es de 5500 t mensual.

Su consumo se fundamenta en una cultura práctica: especie, duración del encendido, producción de chispas y cenizas. No obstante este producto debe de cumplir con normas de calidad, que se analizaron en este trabajo donde se comparó el rendimiento y la calidad del carbón elaborado en un horno tipo fosa de dos especies: *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ébano*. Se realizaron los análisis de materia volátil, humedad, carbón fijo, cenizas y poder calorífico según los estándares de calidad internacionales. Los resultados se examinaron con un diseño experimental con arreglo factorial. En lo que se observó diferencias significativas en las dos especies, cenizas y poder calórico ($p < 0.05$), y rendimiento ($p < 0.01$).

Se obtuvo en porcentaje de humedad: 3.6%, 3,5%, porcentaje de cenizas: 2.8%, 3.2%, porcentaje de materia volátil: 22.8%, 24.9%, porcentaje de carbón fijo: 70.8%, 68.6% y poder calorífico: 30241 kJ kg⁻¹ *laevigata*, 29 725 kJ kg⁻¹ *E. ébano* y rendimiento de 2.8, 2.3 m³t⁻¹, alto en los dos casos, y los otros análisis donde se establecieron dentro de los rangos establecidos salvo el porcentaje de materia volátil y carbón fijo que no cumplieron con los estándares.

Artículo científico: Evaluación del proceso de carbonización y calidad del carbón de *acacia caven* (mol.) Mol. Producido en hornos de barro.

Autores: Germán Enrique Pacheco Marín

Fuente: Universidad De Chile

http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/pacheco_g/html/index-frames.html

Resumen:

Esta investigación se realizó con el objetivo principal de analizar el proceso de carbonización y la calidad del carbón vegetal de espino elaborado en hornos de barro. Se empezó por determinar el rendimiento de los reactores (hornos de barro), y las propiedades físico- químicas esenciales para conocer la calidad del mismo como índice de calidad y finalmente se propuso una opción de producción para el carbón vegetal de espino.

El rendimiento se evaluó según el peso de la madera entrante y el peso del producto final el cual fue 23.1%.

Como también en las propiedades físico-químicas se obtuvieron los siguientes resultados en las propiedades físicas: Humedad 3.54%, densidad 0.68 g/cm³, poder calórico 6,45 kcal /g y químicas: carbón fijo 58.01%, cenizas 4.53% y materia volátil 4.53%.

La propuesta para mejorar el rendimiento fue el uso de hornos metálicos portables, en especial el horno Mark V, y se hizo la estimación de ingresos a obtener entre el tipo de horno que contaban vs el propuesto. Las ganancias fueron: \$798.000 horno de barro y el horno Mark V vario dependiendo el espesor del material del horno y del aprovechamiento espacial del mismo. Se concluyó que los hornos metálicos son más recomendables para la producción de carbón vegetal.

Artículo científico: Evaluación del proceso de producción de carbón vegetal de residuos de *quercus sideroxylla* humb & bonpl., en hornos tipo colmena brasileño.

Autores: Verónica Bustamante García

Fuente: Universidad Autónoma de Nuevo León. 2011

<http://eprints.uanl.mx/2324/1/1080224670.pdf>

Resumen:

En México, el principal problema que enfrenta la cadena productiva del carbón son los bajos rendimientos en la carbonización, que se reflejan en altos costos de producción y mayor desperdicio de los recursos. Por lo anterior y en la búsqueda de mejorar la eficiencia en la producción de carbón, en el presente estudio se evaluó la calidad, rendimientos y eficiencia energética en la producción del carbón vegetal producido a partir de residuos de ramas y leña cuarteada de *Quercus sideroxylla* Humb. & Bonpl., en hornos tipo colmena brasileño en el estado de Durango.

2.2. Estado del arte

EL Bambú es una gramínea antigua y su uso está a aproximadamente 10.000 años atrás en los continentes asiáticos y americano. La cultura “bambú” en China y Japón es muy fuerte, debido a que ellos piensan que los nudos y los huecos que el árbol posee representan la modestia y la moderación.

El bambú tiene una importancia a través de los años como lo dice Perubambú en el 2012 “El principal productor de bambú en el mundo es China, que posee aproximadamente 500 de las 1.200 especies que se conocen en el mundo. En el Perú se han identificado 9 géneros con más de 40 especies nativas, además de un número de especies introducidas especialmente de Asia durante la época de la colonización”. (Perubambú, 2012).

Hoy en día las personas están tomando interés y preocupación por temas como la deforestación y la posibilidad de un desarrollo sostenible de árboles y bosques en general, basado en todo lo dicho el bambú ha captado gran importancia por sus características como son su rápido desarrollo, el mínimo cuidado que este necesita, por estas razones es que se han venido desarrollando numerables investigaciones para determinar propiedades y sus posibles usos como son la obtención de muebles, instrumentos musicales, adornos y ahora para obtener carbón vegetal.

En nuestro país el uso del bambú se ve desde épocas inmemorable, Perubambú afirma que “se conocen más de 1500 posibles utilidades, con aproximadamente 2.5 billones de personas que utilizan artículos diversos de bambú y más de 1 billón de personas viven en casas fabricadas de bambú; proporcionando a nivel mundial alrededor de 2.7 billones de dólares al año a nivel de uso local, generando 4.5 billones de dólares el comercio derivado del bambú”. (Perubambú, 2012).

En un principio el carbón de bambú y el carbón vegetal en general, eran utilizados principalmente como combustible, pero también destacan por sus propiedades de absorción y reducción también fueron aprovechadas por los antiguos para la purificación de aguas, preservar objetos y regular la humedad del ambiente.

Debido a que este producto es relativamente nuevo, el carbón de bambú no ha tenido una penetración completa en nuestro país y en nuestra región es desconocido, esto se debe a que la difusión ha sido muy poca ya que en nuestra región no se produce. Actualmente existen instituciones encargadas de difundir la variedad de usos que poseen el bambú y sus derivados como el CICAP, PERUBAMBÚ entre otras.

2.3. Bases teórico científicas

2.3.1. El bambú

2.3.1.1. Aspectos Generales

El nombre de Bambú. Etim. Bambu, palabra de origen Martí (India); se designa a un grupo de especies de plantas que pertenecen a la familia de las Gramíneas (*Poaceae*), una de las familias botánicas, más grandes e importantes para el hombre. Los bambúes pueden ser plantas pequeñas de menos de 1 m de largo y con tallos (culmos) de medio centímetro de diámetro, también los hay de gran tamaño, de unos 25 m de alto y 30 cm de diámetro. Aunque los verdaderos bambúes siempre tienen sus tallos leñosos, hay especies donde esto no es evidente. Orjeda en su investigación nos dice que “Erróneamente se maneja el nombre de Bambú para designar a aquellas plantas que son utilizadas en construcción o a bambúes exóticos ornamentales. Sin embargo, es importante señalar que cuando nos referimos - al bambú - no se está especificando de qué especie se trata”. (Orjeda, 2009, pág. 22)

2.3.1.2. Descripción Botánica:

Tabla 2.1

Taxonomía del bambú

División	Espermatophyta
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Monocotiledónea
Orden	Poales, Glumiflorae o gramineae
Familia	Poaceae
Sub-Familia	<i>Bambusoideae</i>
Nombre Vulgar	Caña Brava, Bambú, Guadua

Fuente: (Cárdenas, 2011)

Elaboración propia

Las características que hacen a esta gramínea una buena opción según Dimitri, M. J, en el año 1978 son las siguientes:

Tienen hábito perenne; Los rizomas generalmente son bien desarrollados; Los tallos tienden a ser lignificados y fuertes; Las hojas presentan un pseudopécíolo; El antecio presenta tres lodículas; y El período de floración puede tomar muchos años, en algunas especies más de cien años. Dimitri, M. J, (1978) describe la Fig. 3.1 algunas de las características típicas del bambú. (Mercedes, 2006, pág. 36)

Los bambúes poseen dos características biológicas que los hacen ser plantas extraordinarias las que menciona el autor Mercedes a continuación: la floración y su rápido crecimiento. Es bien difundido que algunas especies de bambú pueden llegar a crecer 1.25 m cada 24 horas, y esto se ha observado experimentalmente en una de las especies más utilizadas como ornamental en el mundo que es *Phyllostachys bambusoides*, No obstante, también existen especies que tardan muchos años en crecer hasta llegar a ser plantas adultas. (Mercedes, 2006, pág. 36).



Figura 2.1

“*Pseudosasa japónica*; **a.** vástago, **b.** rama con hojas, **B.** *Bambusa Bambos*, vaina espatácea; **c.** Lámina dejando ver los pelos en la cara superior; **d.** lígula; **e.** vaina **C.** *Bambusa Multiplex*, rizoma y caña. **f.** rizoma definido. **D.** *Pteloblastus Simonty*; **g.** Hoja, **h.** rama florífera. **E.** *Phyllostachys aurea*, **i.** rísoma indefinido; **j.** brote que origina el vástago **k.** base de la caña con intermedios cortos; **l.** catáfilas; **m.** ramas apareadas dejando ver la caña canaliculada”.

Fuente: (Mercedes, 2006) tomada de Dimitri, N.J., 1978

2.3.1.3. Género y especie: *Guadua angustifolia*

Espinoza, 2010 nos dice que el género *Guadua Kunth* contiene 30 especies aproximadamente donde solo 24 están descritas y otras más aún no catalogadas. El autor menciona que varían desde plantas delgadas y espinosas con culmos trepadores a espinosas con culmos erectos (Young y Judd 1992; Londoño, 1998) citado por (Espinoza, 2010)

En la Tabla 2.2 presentación de la clasificación taxonómica de *G. angustifolia*.

Tabla 2.2
Clasificación taxonómica de G. angustifolia

Reino	Plantae
División	Espermatofita
Sub-división	Angiospermae
Clase	Monocotiledónea
Familia	Poaceae
Sub-familia	Bambusoidae
Super-tribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Sub-tribu	Guaduinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia
Nombre científico	Guadua angustifolia Kunth

Fuente: (López V, Sterrett, & McDonald, 1987)

a) Descripción morfológica

La *G. angustifolia* es caracterizada por sus culmos de hábito erecto, con posibilidad de presentar arqueamiento en el ápice aproximadamente entre 15 y 30 metros de altura, con diámetros variables de 9 y 22 centímetros en la parte baja y ya disminuyendo en la parte más alta. Judd & Walter en el año 1992 describen en su investigación “Los culmos presentan ramas provistas de espinas, especialmente en los entrenudos de la base, característica típica del género *Guadua*, los entrenudos tienden a ser huecos con bandas de pelos blancos en la región del nudo de diámetros de 20 y 45 centímetros de largo, cada culmo presenta entre 60 y 85 entrenudos y siendo la rama principal espinosa con espinas aproximadamente de 2 y 5 espinas por cada nudo. La inflorescencia presenta forma de espiguilla, con pseudoespiguilla multiflora, de forma delgada y alargada hasta 9 centímetros de longitud. El ovario presenta 3 estigmas plumosos de color púrpura, cuenta además con 6 estambres. El fruto es un cariopsis seco”. (Judd & Walter, 1992, pág. 79).

La figura 3 representa las partes descritas de la especie.

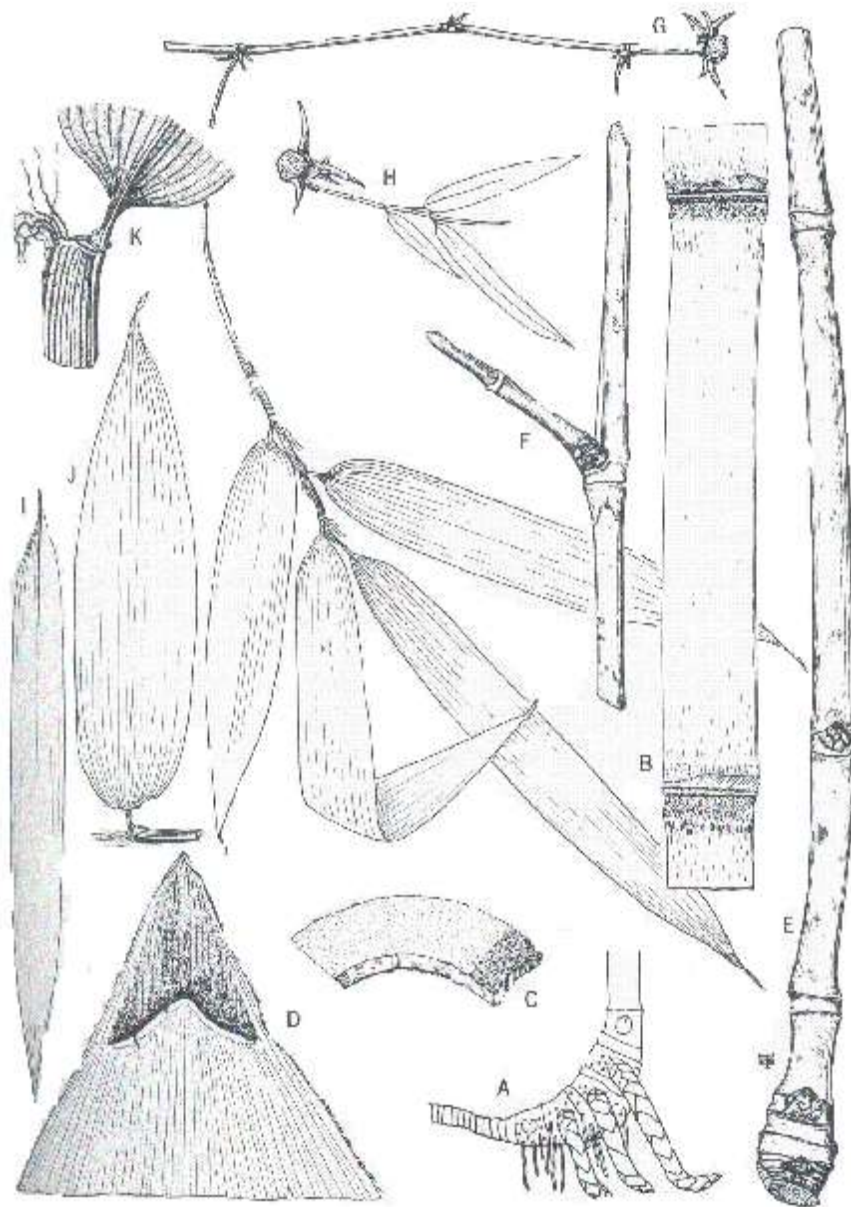


Figura 2.2 *Guadua angustifolia.*, la imagen muestra las partes del bambú en la A: Base del culmo con su rizoma. B: El corte del internudo y nudos. C. Sector de la sección transversal de la pared del culmo. D. Ápice de la bráctea del culmo, vista por el lado interno. E. Parte basal de ramas mostrando las yemas intactas. F. Ramas de segundo orden con yemas intactas. G. Ramas de tercer orden mostrando espinas y follaje. H. Complemento de la espina con una rama que sale del nudo. I y J. ejemplos de formas de hojas K. ápice de la bráctea de la hoja y su base

Fuente: (Hidalgo, 1974)

2.3.1.4. Estadios de madurez

Un gradual o mancha es un conjunto de guaduas, constituido por individuos o culmos en diferentes estados de madurez que conforman un excelente ecosistema. La mayoría de los graduales carecen de manejo técnico o por el contrario son exageradamente intervenidos. Estas manchas deben manejarse con criterios de sostenibilidad bajo normas de productividad sin afectar el ecosistema y garantizar el doble propósito que cumplen en la naturaleza que es la protección de suelos, aguas, aire, vegetación y fauna asociada y simultáneamente la producción de madera para diversidad de usos. (Botero, Reproducción de la Guadua Angustifolia por el método de Chusquines., 2004)

La guadua por ser una monocotiledónea carece de tejido de cambium, es decir que no incrementa su diámetro con el paso del tiempo, emerge del suelo con su diámetro establecido. Es una planta que se desarrolla de manera muy rápida en comparación a otros maderables logrando alcanzar alturas ente los 18 y 30 metros en los primeros seis meses después de haberse dado la etapa de renuevo y de haber alcanzado la maduración. Se diferencian cuatro fases de desarrollo de la planta desde que brota del suelo hasta que muere. (Botero, Reproducción de la Guadua Angustifolia por el método de Chusquines., 2004)



Figura 2.3: Características externas de culmos de *Guadua angustifolia*.

Fuente: (Fischer & Rodríguez. 2007)

La primera etapa es llamada brote o rebrote se caracteriza por estar cubierto por las hojas caulinares que son las hojas de color café que protegen al culmo del ataque de insectos en etapa de crecimiento inicial.

Todos los renuevos emergen del suelo con su diámetro definitivo y los nudos juntos como un acordeón cerrado. Según Botero en el año 2004 describe el desarrollo de la longitud del bambu que empieza a estirarse los nudos formando los entrenudos, normalmente ocurre de abajo hacia arriba en un lapso de seis meses en promedio (Botero, Reproducción de la *Guadua Angustifolia* por el método de Chusquines., 2004)



Figura 2.4 *Brote o Renuevo*

Fuente: Google Imágenes.

b) Verdes o biches

El bambú se caracteriza por su color verde intenso, inicialmente posee ramas y conserva algunas hojas caulinares en su parte inferior y se aprecian claramente las bandas nodales el autor Perea en el 2006 dice que esta fase tiene una duración aproximada de un año a un año y medio y cuando el tallo presenta color verde claro y se visualizan manchas blancas en su corteza se puede decir que está dando inicio a la etapa de maduración. (Perea, 2006)

c) Madura, hecha

Cuando se adquiere resistencia físico mecánica y se pierde la coloración verdusca, se torna más amarillenta aparecen en su tallo manchas de color blanco o gris claro que son indicadores de que la caña ha llegado a su madurez y debe ser cosechada. En éste grado de madurez el tallo puede tardar de 3 a 5 años dependiendo del clima y las condiciones del sitio donde se desarrolla. (Botero, Reproducción de la Guadua Angustifolia por el método de Chusquines., 2004)

d) Sobremadura

Perea describe esta etapa de la siguiente manera: Se distingue en esta etapa la presencia de hongos y líquenes en los tallos, también se visualizan algunas capas vegetales en los nudos de color gris, blanco y de apariencia seca y se espera que esta etapa dure un año. (Perea, 2006)

2.3.1.5. Ventajas comparativas del bambú vs. Otras maderas

El bambú a diferencia de otros maderables es una especie que se reproduce por si solo es decir se multiplica de manera radial lo que hace que se considere un recurso sostenible en el tiempo y renovable.

Tiene una velocidad de crecimiento muy alta, reportando incremento de 10 cm en altura por día, y alcanzando su altura máxima (30 metros) en 6 meses. Este crecimiento difícilmente es superado por otras especies madereras. Según la organización Artesanías litoral el bambú de la variedad guadúa tiene las siguientes características “fibras naturales livianas y muy resistentes que nos sirven para obtener aglomerados, laminados, pisos, paneles, esteras, pulpas y papel. Muchos de estos artículos de alta calidad se podrían ofrecer en el mercado nacional o internacional, compitiendo sustituyendo a productos de plásticos, concreto e inclusive hierro. La Guadua es gran fijador de carbono”. (Litoral, 2015, pág. 18)

Así mismo Litoral resalta que esta planta resalta dentro de su género por sus propiedades de resistencia- peso y la capacidad de absorción.

2.3.1.6. Especies de bambú

El bambú ha sido una planta que ha sido usada por el hombre desde tiempos prehistóricos y aun así no todas sus características botánicas no se conocen completamente debido a su largo e irregular período de floración, lo que hace difícil coleccionar las flores y frutos que son indispensables para la clasificación de estos.

Lo que hace que una especie sea clasificada por diferentes botánicos en géneros diferentes. Un dato importante es que Europa, a excepción de otros continentes no posee especies nativas de bambú. A la fecha ha sido imposible determinar con precisión el número de especies existentes en el mundo. Un dato preciso es que se conoce 107 géneros y 1300 especies de bambú en el mundo, de las que 140 tienen usos industriales o artesanales y en América se calcula que hay unos 20 géneros y más de 400 especies.

2.3.2. Carbón vegetal

2.3.2.1. Aspectos generales

Existen diversas definiciones de carbón vegetal el que atribuye la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación “el residuo sólido, que se obtiene, por efecto del proceso de carbonización de la madera, el cual se realiza controlando la entrada de aire en un espacio cerrado, como lo es el horno, el que puede ser de tierra, ladrillo, cemento armado o metal. El control se ejecuta durante el proceso de pirolisis, con el objetivo que la madera no se quemara”. (FAO, 2001)

El carbón vegetal es el resultado del proceso de carbonización que hace referencia al siguiente proceso: someter la madera al fuego en ausencia de oxígeno y en condiciones donde se controla el tiempo de exposición al calor y la temperatura de este calor.

Las condiciones controladas de este proceso implican tener control de los accesos de aire en el área de descomposición térmica, este control se define según el método de carbonización que se decida realizar y/o forma de calentamiento aplicada. Los rendimientos de carbonización tienen las siguientes variaciones: en hornos de retortas de laboratorio se muestran valores de 25 a 30% y en métodos de carbonización comercial con hornos sus valores son de 20 a 25% y en métodos artesanales de 10 a 20%.

Los productos de carbonización están comprendidos por 3 partes:

a) Productos de la fase sólida

Se considera comercialmente que el más importante es el carbón vegetal, aunque también se considera en esta fase a la carbonilla o cisco que es nada más que el mismo carbón que tiene un tamaño menor a 1 cm y la brea solidificada.

b) Productos de fase gaseosa

Durante el proceso de carbonización se forman gases por las reacciones pirolíticas en la madera, dichos gases e algunos método comercial de estos gases se liberan al exterior.

En esta fase se encuentran dos fracciones una de gases no condensables, referenciales a las condiciones ambientales en que se realiza la carbonización, conformada por gases no combustibles (CO_2) y combustibles (CH_4 , C_2H_6). Fracción de gases condensables, a las condiciones ambientales.

c) Productos de fase líquida

Estos productos son nada más que la recuperación de gases condensables que son conocidos como licor piroleñoso también denominado ácido piroleñoso por el pH bajo de esta fracción. Estos productos se obtienen cuando se realiza la condensación sin embargo hay sistemas que solo son para obtener el producto sólido que es el carbón vegetal. El proceso de carbonización que incluye además un sistema de recuperación de los gases condensables se denomina destilación seca de la madera.

2.3.2.2. Propiedades físico- químicas del carbón vegetal:

El carbón vegetal tiene muchas propiedades entre ellas están las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y físicas. El criterio de clasificación para que un carbón sea de buena calidad dependerá para que aplicación vaya destinado dicho carbón. En este caso el uso que se le dará al carbón será un uso de índole doméstico.

a) Humedad:

La humedad se ausenta al cesar la etapa de carbonización. El porcentaje de humedad en el carbón vegetal depende de las circunstancias atmosféricas y de las condiciones de los espacios de almacenamiento, donde el producto este completamente aislado de cualquier contacto con agua o humedad abundante, insulsamente la humedad va más del 5%, aunque algunas cifras obtenidas para el caso del carbón vegetal producido en Malasia, muestran que son comunes porcentajes de humedad de 14% o más. Para fines industriales se considera deseable que el porcentaje de humedad sea inferior al 4%, (Rojas, 2014).

b) Material volátil

Según Pacheco hace referencia que la materia volátil abarca los restos alquitranosos y líquidos que en la carbonización no se alcanzó poder extinguirlos completamente. El porcentaje en el cual se puede calificar un carbón de calidad es el que tenga alrededor de 30% de materia volátil. El contenido de materia volátil alta hace del carbón vegetal un producto de fácil manipulación al prenderse por consecuencia la producción de humo es mayor que la de un carbón con bajo porcentaje de materia volátil, pero su manipulación en el encendido es más complejo, como también es quebradizo. La materia volátil que es aceptable en el carbón vegetal oscila entre un mínimo de 10% a un máximo de 40%, (Pacheco, 2005).

c) Carbono fijo

El producto que como combustible que supera a la madera es el carbón vegetal ya que tiene mayor contenido de carbono fijo, por ende su poder calórico también está por encima de la madera además es mejor combustible estas características están relacionadas a las condiciones en que se producen en la etapa de carbonización, y en menor nivel del porcentaje de carbono que contenga la materia prima original. Con la etapa de carbonización lenta y en altas temperaturas se desperdicia aproximadamente todas las sustancias volátiles, por lo tanto el % de carbono fijo es elevado alrededor de 90%, (Ordaz, 2003).

d) Cenizas:

Estas son el resultado de la combustión completa del carbón vegetal, son un residuo inorgánico principalmente son minerales que se encontraban en la materia prima utilizada, que eran sustancias contaminadas de los suelos.

La cantidad de estas sustancias está dentro de un 0,5 % a más de 5% relacionando a la madera, la porción de corteza y los contaminantes de tierra y arena. Para un carbón de buena calidad el porcentaje de cenizas debe de estar alrededor de 3%, (Pacheco, 2005).

e) Densidad:

Entre las propiedades físicas del carbón vegetal encontramos a la densidad, por lo que una alta densidad en el producto se puede resumir en que se cuenta con el mismo peso, entonces tomando esta referencia se supone menos volumen, como resultado hay reducción de costos de transportes. Por otro lado cabe resaltar que en las industrias se buscan que el carbón a utilizar sea más denso, por lo mismo que se mencionó antes y también por su capacidad energética durante su uso,(Ordaz, 2003)

Esta propiedad que como se refiere es muy importante se relaciona directamente proporcional con la densidad de la madera y a la densidad en seco de la misma, utilizada para la producción del carbón vegetal. Generalmente, la densidad de las coníferas es menor que las frondosas, (Ordaz, 2003).

f) Poder calorífico.

El poder calorífico de un combustible viene a ser la cantidad de calorías que ése combustible puede producir al quemarse. El poder calorífico de un combustible puede ser presentado como Poder Calorífico Superior (PCS), o como Poder Calorífico Inferior (PCI), dependiendo si el calor liberado por la condensación del agua de constitución del combustible es o no considerado, (Rojas, 2014)

Uno de los factores que pueden afectar el poder calorífico y, por ende, la eficiencia y el proceso de conversión, es el contenido de humedad.

La presencia de humedad significa una disminución del poder calorífico de la madera, ya que se requiere un consumo de calor para evaporarla, (Rojas, 2014).

2.3.2.3. Usos del Carbón Vegetal

Según (Patiño, 1989) citado por (Ordaz, 2003) los principales tipos de carbón, en función a su utilización, son los siguientes:

- a) El Carbón en la vida cotidiana. Este carbón vegetal es producido en bajas temperaturas alrededor de 350°C, este debe producir la menor cantidad de humo al momento de su uso, debe ser suave, fácil de prender y no reventar. (p. 32)
- b) Carbón metalúrgico. La producción de este tipo de carbón vegetal requiere diversas técnicas mucho más exigentes, en la etapa de carbonización debe conducirse a temperaturas elevadas como mínimo 650°C por lo mismo que suele ser procesos de mayor tiempo, que se toma para el carbón vegetal doméstico. La calidad de este carbón tiene normas estrictas de calidad desde el punto de vista mecánico donde se exige que sea denso, poco quebradizo y buena resistencia y la composición química debe tener bajo porcentaje de cenizas, materia volátil y el porcentaje de carbón fijo no debe ser menor al 80%. Este producto es utilizado en la industria metalúrgica, en la fundición, en la reducción de mineral de hierro en altos hornos. (p.32)

Los empleos del carbón vegetal en la vida cotidiana son principalmente como combustible para las cocinas artesanales, es también utilizado para calefacción, en parrillas y barbacoas en el exterior (aire libre), además los usos industriales que se le dan son en actividades como el secado directo e indirecto de otros productos, en la obtención de la cal y de cemento.

Así también Pacheco dice que en la industria el carbón vegetal se usa para la separación de metales y operaciones de fundición, además es usado en la pigmentación de tinta para imprentas y las pinturas, para los fuegos artificiales, la producción de plásticos, de caucho, etcétera, (Pacheco, 2005)

2.3.2.4. Proceso de carbonización en horno metálico:

El rendimiento del proceso de carbonización puede variar por diversas razones, por ejemplo, dependerá del tipo de madera, de su contenido de humedad, de las condiciones ambientales, del tipo de horno y de los parámetros de tiempo y temperatura de operación del horno. Normalmente para un horno tipo retorta se espera un rendimiento del 83%, para un horno cilíndrico metálico un rendimiento máximo del 31% y para el método tradicional de parvas un rendimiento máximo del 16%, (Guardado, Rodríguez, & Monge, 2010).

Las ventajas que tienen los hornos metálicos transportables es la optimización de la etapa de carbonización ya que se tiene mejor control sobre el aire que ingresa, disminuye la inspección que se debe tener en la producción de carbón vegetal, más independencia de los agentes ambientales existentes, más diversidad de materia prima para ser procesadas y sobretodo la capacitación del personal es más rápida, (Pacheco, 2005).

El proceso de producción de carbón vegetal consta de cuatro etapas: combustión, deshidratación, reacción exotérmica y enfriamiento, (Seboka, 2010)

a) Combustión

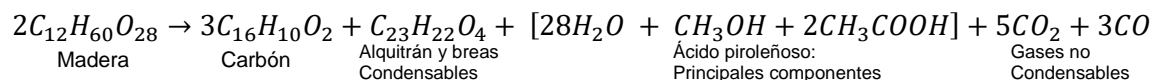
El primer paso en la carbonización es encender el horno. La fase de combustión es la única fase durante el proceso de carbonización donde se requieren grandes cantidades de oxígeno, un pequeño fuego es iniciado en una parte de la carga de madera,

hasta que esa sección alcance el grado de ignición, para que arda por sí solo. Durante esta etapa, el horno se calienta desde la temperatura ambiente a más de 120°C.

En la fase de deshidratación, el calor proporcionado por la combustión impulsa la humedad de la carga en la forma de vapor. Toda el agua en los poros de la madera es expulsada. A medida que la carga se seca, la temperatura se eleva lentamente aproximadamente a 270°C. La deshidratación continúa hasta que toda la humedad libre es expulsada. Esta fase es fuertemente endotérmica y una gran cantidad de energía debe utilizarse si la materia prima es muy húmeda.

b) Ecuación de la carbonización:

Según la ecuación propuesta por Klason, Novlin y Heidenstamm (1958) “El proceso de carbonización se puede resumir en la siguiente ecuación general de reacción durante la carbonización” (p. 27)



Fuente: (Mora, 2010)

Por relación de masas moleculares, de la ecuación se puede concluir que el rendimiento teórico de conversión de madera a carbón vegetal es 34,7% con un contenido de carbono fijo de 82%. El proceso de carbonización comienza con la emisión del agua contenida en la madera, esto se puede evidenciar en forma de humo color blanco – amarrillento, luego se lleva a cabo la

carbonización la cual culmina con la emisión de humo color azulado.

Los colores del humo sirven como indicadores, es así que el humo azul indica que se debe interrumpir la entrada de aire, cerrando los agujeros, el estado de carbonización se comprueba introduciendo una varilla en el horno, si no presenta mucha resistencia la madera ya está transformada en carbón, entre el tiempo de carbonización y el de enfriamiento existe una relación de 3 a 5, (Wolf & Vogel, 1985).

c) En la fase exotérmica

Una vez que se completa la deshidratación, la propia madera comienza a descomponerse bajo la influencia de calor. El aire se corta completamente en este punto para evitar la combustión.

El proceso de ruptura espontánea continúa hasta que sólo el carbón permanezca. A menos que se proporcione más calor externo, el proceso se detiene y la temperatura alcanza un máximo de aproximadamente 400°C.

Después de que el proceso de pirolisis se ha detenido y la carga de un horno se ha carbonizado, en la fase de enfriamiento se debe llevar la carga por debajo de la temperatura de ignición del carbón.

d) Enfriamiento

La etapa de enfriamiento permite que temperatura del carbón obtenido caiga a un punto en el que se puede extraer desde el horno. Ventilación forzada (pulverización de agua) o el enfriamiento natural son posibles opciones. El proceso de carbonización implica una serie de reacciones químicas bastante complejas. Básicamente, diferentes fases se resumen como sigue.

2.3.2.5. Factores que afectan la carbonización:

De acuerdo con (Ordaz, 2003, pág. 21) el método de producción, la posición y distribución de la carga dentro del reactor, la presión, la especie forestal (los elementos y densidad de la materia prima (madera)), el % de humedad de la madera, la temperatura y el tiempo en la etapa de carbonización son las variables externas que intervienen en la obtención de un carbón vegetal de buena calidad.

a) Temperatura de carbonización:

El carbón vegetal que se obtiene de la destilación seca de la madera nunca es puro, pero tiende a serlo a medida que la temperatura de obtención es más elevada. El carbón vegetal es obtenido en una temperatura no mas a 260°C como se dice en la teoría; pero este producto no es muy limpio y es de mala calidad, porque contiene materia volátiles que serán desprendidas cuando este se queme produciendo mucho humo, (Rojas, 2014).

b) Tiempo de carbonización:

Lo primordial que se debe conocer es lo que se produce en la combinación de los diferentes tiempos de la etapa de carbonización y temperaturas en la cual se obtiene el carbón vegetal, ya que se conoce que esto influye en la calidad del carbón vegetal producto de la carbonización prolongada y la temperatura es alta dando un porcentaje bajo de volátiles. En otros casos cuando la temperatura en la etapa de carbonización es baja y el tiempo en el horno es poco, dan como resultado un alto porcentaje de volátiles, (Rojas, 2014).

2.4. Definición de términos básicos

Bambú: Planta de gran tamaño, alcanza hasta los 20 m. de altura, de origen tropical, de tallo en forma de caña, leñoso y resistente, hojas alargadas y grandes, de color verde claro y flores en panojas.

Carbón: Sustancia sólida, ligera, negra y combustible, que resulta de la destilación o de la combustión incompleta de la leña o de otros cuerpos orgánicos.

Carbón Vegetal: es producto del calentamiento de la madera y residuos vegetales a temperaturas entre 400 y 700 °C, material sólido y combustible con alto contenido de carbono (80%).

Carbonización o carbonificación: son restos orgánicos acumulados en estratos de la corteza terrestre en épocas pasadas los cuales han perdido hidrógeno, oxígeno y nitrógeno aumentando así su proporción de carbono.

Oxígeno: Gas incoloro e inodoro que se encuentra en el aire, en el agua, en los seres vivos y en la mayor parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

Rizoma: Tallo subterráneo de ciertas plantas, generalmente horizontal, que por un lado echa ramas aéreas verticales y por el otro raíces.

Temperatura: Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.

III. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación científica fue aplicada para poder comprobar si el carbón vegetal de bambú puede ser utilizado como fuente energética sustituyendo así al carbón comercial.

En la investigación se estudiaron las variables independientes de tiempo de carbonización y estadio de madurez para la obtención de carbón vegetal de bambú en un horno metálico; y se utilizó un diseño experimental ya que analizó la influencia de las variables independientes anteriormente mencionadas sobre las variables dependientes las cuales fueron: porcentaje de humedad, materia volátil, carbón fijo, cenizas y poder calorífico.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Carbón vegetal de bambú.

Muestra

Carbón vegetal de bambú en dos estadios de madurez procedente de La Florida-Cajamarca.

3.2.2. Unidad experimental

2g de Carbón vegetal a partir de bambú de la variedad *Guadua angustifolia* de la localidad de La Florida por corrida de las pruebas experimentales.

3.3. Hipótesis

Hi: EL carbón vegetal obtenido de bambú en dos estadios de madurez (verde y sobre maduro) puede sustituir al carbón vegetal comercial actual como fuente energética.

Ho: EL carbón vegetal obtenido de bambú en dos estadios de madurez (verde y sobre maduro) no puede sustituir al carbón vegetal comercial actual como fuente energética.

3.4. Variables

Variable independiente:

Tiempo de carbonización
Estadio de Madurez

Variable dependiente:

Capacidad calorífica.

3.5. Operacionalización

Tabla 3.1

Operacionalización de variables

Variables		Dimensión	Rangos	Instrumento y/o Métodos
Independiente	Tiempo de carbonización	Horas	2 Horas 3 Horas	Cronometro Reloj
	Índice de Madurez	Meses	Verde	Inspección
			Maduro	Visual
Dependiente	Capacidad Calorífica	KJ	-	Bomba calorimétrica

Fuente: Elaboración propia

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Métodos y técnicas e instrumentos para obtener carbón vegetal a partir del bambú

3.6.1.1. Materia prima

1 Caña de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) verde con una longitud de 5 cm, procedente de La Florida – Cajamarca.

1 caña de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) maduro con una longitud de 5 cm, procedente de La Florida – Cajamarca.

3.6.1.2. Materiales y equipos

Horno metálico

Balanza

Fósforo

Leña

Plástico

Reloj

3.6.1.3. Descripción del proceso

a) Recepción y acondicionamiento

La elección de la materia prima se basó en dos aspectos principales: consideraciones económicas, y la capacidad de la materia prima para poder obtener carbón vegetal. El acondicionamiento del bambú como materia prima o precursor para la preparación de los carbones, consistió en separar la caña de bambú por estadios de madurez (verde y maduro) y la reducción del tamaño de las cañas.

b) Secado

Se realizó el secado del bambú ya acondicionado a temperatura ambiente para eliminar el agua adsorbida por la materia prima, este periodo tuvo variación de acuerdo al porcentaje de humedad que las cañas de bambú presentaron.

c) Carbonización:

En primera instancia se realizó la carga del horno de la manera más eficiente con las cañas de bambú del mismo estadio de

madurez, ocupando todo los espacios posibles del horno metálico horizontal. Se cuidó que durante la carga se rellenara la mayor cantidad posible de vacíos entre cañas, con los más delgadas y pequeñas para mejorar la eficiencia volumétrica y tener una buena carbonización. Este proceso se controló mediante la emisión de humo y su determinado color.

d) Enfriamiento:

El enfriamiento se realizó con el horno cerrado, cuando se presentó fugas, estas fueron selladas, para esto se tuvo preparado una mezcla de barro con agua, la cual también acelera el enfriamiento.

En la figura 4.1 se muestra el proceso de obtención del carbón vegetal a partir del bambú cumpliendo con los lineamientos ya establecidos:

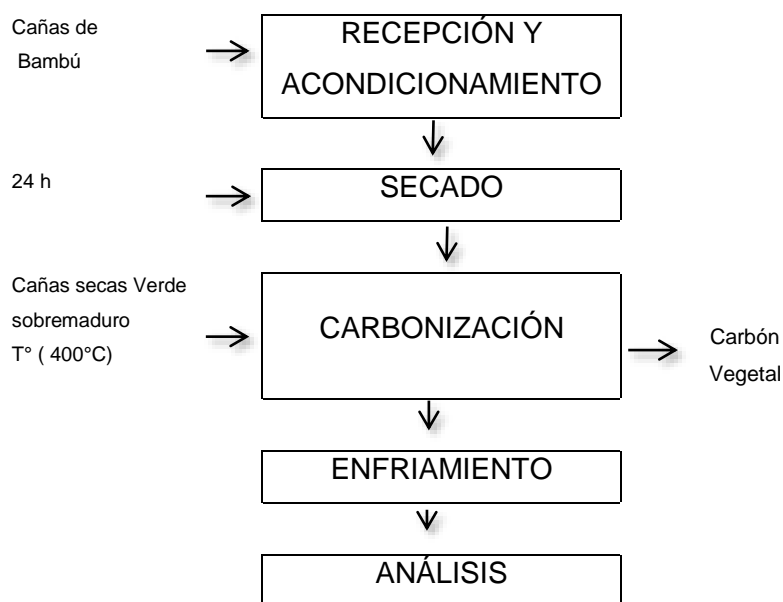


Figura 3.1

Diagrama de flujo para la elaboración de carbón vegetal a partir de bambú.

3.6.2. Métodos y técnicas e instrumentos para caracterizar el carbón vegetal en dos estadios de madurez (verde y maduro)

3.6.2.1. Para la determinación la capacidad calorífica:

La capacidad calorífica se determinó, en el laboratorio de la universidad nacional de Trujillo, mediante calorimetría por el instrumento de bomba calorimetría, modelo: PARR STIRRER DRIVE V: 220, CY: 50.

Compresión de la muestra; se empleó un compresor manual para obtener una pastilla de carbón vegetal para disponer de una muestra compacta de esta manera se pudo hacer la combustión de una manera adecuada y no se desperdició el carbón vegetal.

Pesado de la muestra; se pesa la pastilla en una balanza analítica con cuatro decimales.

Acondicionamiento de la muestra; se conectaron los electrodos con un alambre de Nicron que tiene un calor de combustión determinando por el fabricante. Este alambre envuelve la pastilla y en ella se produjo la gran chispa para que se combustione la muestra, este primer recipiente tiene dos válvulas, una permite la entrada de oxígeno para una buena combustión de la muestra y la otra válvula libera los gases de combustión. Luego se colocó la bomba en un recipiente de acero que tenía dos litros de agua y a su vez todo este sistema estuvo contenido en un recipiente de paredes adiabáticas que contiene un agitador para homogenizar la temperatura del agua y un orificio de entrada para el termómetro.

Inyección de oxígeno, se conectó un tanque de oxígeno a la primera válvula de la bomba a través de una manguera, se abre la llave del

tanque hasta que llegue a los 20 atmosferas y luego se elimina el oxígeno que quedo en la manguera y se retira la manguera.

Purgado de la bomba, después que se llenó la bomba de oxigeno se abrió la segunda válvula de la bomba calorimétrica para desagotar el aire contenido en la bomba para que esta solo contenga oxígeno.

Luego de cerrado todo el sistema de la bomba calorimétrica se colocó el termómetro, para permitir ver como varía la temperatura de la muestra mientras se va quemando. Posteriormente se conecta todo el sistema mediante dos cables al equipo de unidad de ignición, para controlar el grado de ignición de la sustancia.

La combustión se dio por terminada cuando en el lector se observó una temperatura constante, se apaga todo y se desarma el sistema se retira la bomba y se elimina los gases que se ha producido por la combustión abriendo la segunda válvula.

Se anota la temperatura inicial y se sigue el control de la temperatura hasta que sea constante, se anota la temperatura final. Con la diferencia de temperatura, el peso de la pastilla, el volumen de agua, temperatura inicial del agua y la utilización de la expresión numérica de cálculo de calor se determinan el calor de combustión de la muestra de carbón.

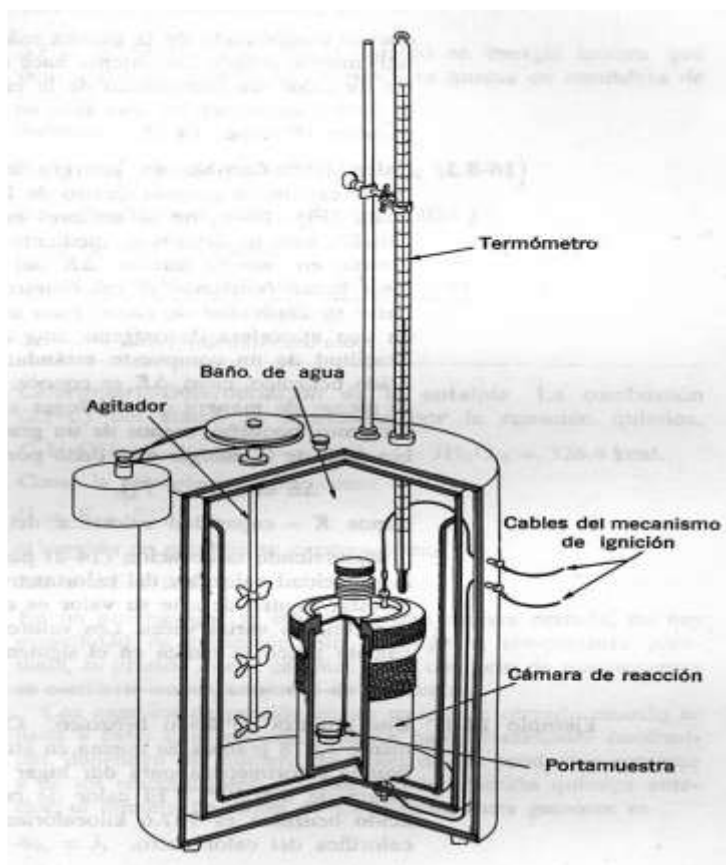


Figura 3.1
Bomba Calorimétrica.

3.6.2.2. Para la determinación el porcentaje de humedad:

El porcentaje de humedad se determinó mediante la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón de la empresa Noram de México (NORAM, s/f):

Materiales y equipo:

Ziplop adhesivas.

Cronómetro.

Estufa eléctrica.

Mortero.

Balanza analítica.

Crisoles.

Procedimiento:

1. Se pesó los crisoles a utilizar y se anotó su peso en el formato de análisis.
2. Se pesó los crisoles a utilizar y anoto los pesos de cada uno.
3. El carbón vegetal obtenido a analizar se partió en dos partes cada muestra y se almaceno una parte como respaldo de la prueba.
4. Una a una de las muestras fueron pulverizadas y tamizadas con una malla de 50, luego se pesaron y se anotó los resultados del peso del crisol más la muestra y se le resto el peso del crisol vacío para conocer el peso neto de la muestra.
5. Las muestras en el crisol fueron llevadas dentro de la estufa (la temperatura de la estufa estuvo en valores de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente previo al análisis).
6. Al cabo de tres horas se comprobó que la temperatura estaba en $105\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Las muestras se sacaron para volver a pesarlas, luego se regresó la muestra si la presenta una variación de 0.1 a menos se da por terminada, de lo contrario se regresa las muestras hasta que la variación sea de 0.1 a menos.

Para la determinación del porcentaje de humedad:

Para calcular la humedad se aplicó la fórmula siguiente:

$$\%humedad = \frac{(Ph - Po)}{P, h} \times 100$$

Dónde:

Ph: Peso en gramos de muestra humedad.

Po: Peso seco, obtenido después del secado en estufa.

3.6.2.3. Para la determinación el porcentaje de cenizas

El porcentaje de cenizas se procedió según la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón de la empresa Noram de México (Noram, s/f):

Materiales y equipo:

Cronometro.

Mufla eléctrica.

Balanza analítica.

Crisol.

Procedimiento:

1. Se tomó una muestra del carbón pulverizado al cual se le determino la humedad.
2. Se pesaron los crisoles para anotar sus pesos de cada uno en los formatos de recopilación de datos.
3. Las muestras a las cuales se les determino la humedad fueron guardadas en un desecador, para que no absorben la humedad mientras se hacían los análisis.

4. Se llenó el recipiente crisol con 1.5g de carbón vegetal pulverizado (aprox. la mitad) se pesaron las muestras y se apuntó los datos de peso y hora.
5. Se introdujo el crisol en el horno (mufla) a 750 °C por 6 hrs. Se realizó el pesado para obtener el resultado final.

Luego del tiempo transcurrido (6 horas) la muestra utilizada estaba en cenizas libre de carbón vegetal (fragmentos negros) y sin observarse rojo. Si hay presencia de fragmentos de carbon vegetal se regresa la muestra a la mufla por 30 minutos aproximadamente, la variación aceptada debe ser menor a 0.1.

$$\text{contenido de cenizas} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

3.6.2.4. Para determinar volátiles

En este análisis para la determinación del porcentaje de volátiles se siguió el procedimiento de la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón vegetal de la empresa Noram de México (Noram, s/f):

Materiales y equipo:

Carbón Vegetal acondicionado.

Cronómetro.

Crisoles.

Desecador.

Procedimiento:

1. Las muestras se tomaron de las que pasaron por el análisis de humedad totalmente pulverizado y libre de humedad.
2. Se realizó el pesado de los recipientes (crisoles), luego se apuntó el dato de tara.
3. Se puso 1 g de carbón vegetal dentro de cada crisol y se tomó el dato (peso de la muestra).
4. Se calentó el horno a 950°C, con la puerta abierta, durante 2 minutos a 300°C se colocó el crisol en la parte inicial del horno y luego durante 3 minutos en el borde del horno, luego se pasó la muestra a la parte trasera del horno por 6 minutos con la puerta cerrada.
5. Se retiró la muestra pasado los 6 minutos, se pesó y registro los pesos, de cada muestra.
6. Cuando el recipiente se enfrió, se realizó el pesado de la muestra y posteriormente se hizo el cálculo del porcentaje de Materia volátil. En el caso que excediera el 5% entre los resultados de las otras muestras, por ende se debe de realizar el análisis de una tercera muestra. El promedio de las muestras hechas ya sean dos o tres será el resultado final.

$$\text{Porcentaje volatiles} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

Fuente: (Guardado, Rodríguez, & Monge, 2010).

3.6.2.5. Carbón fijo

La determinación del carbón fijo según la norma CEN/TC281 (1996) y el Manual de Procedimientos para el Análisis Químico de Carbón de la empresa Noram de México (NORAM, s/f): la fórmula utilizada es comprende que al 100% se le restará el % de cenizas y % de volátiles que nos da el total de carbón fijo.

$$\text{Carbon fijo} = 100\% - \% \text{ de cenizas} - \% \text{ de volatiles.}$$

3.7. Plan de análisis estadísticos de datos

Los resultados obtenidos se evaluaron con un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un diseño estadístico de bloques completamente al azar (DBCA). Donde los factores fueron los diferentes tiempos y el índice de madurez. Como se muestra en la tabla:

Tabla 3.3

Diseño estadístico de bloques completamente al azar.

BLOQUE 1		
BLOQUE 2	VERDE=1	MADURO=2
T'=2	CV _{2,1}	CV _{2,2}
	CV _{2,1}	CV _{2,2}
	CV _{2,1}	CV _{2,2}
T'=3	CV _{3,1}	CV _{3,2}
	CV _{3,1}	CV _{3,2}
	CV _{3,1}	CV _{3,2}

FUENTE: Elaboración propia.

Se determinó la capacidad calorífica en el carbón vegetal de bambú, realizado a las muestras que en los análisis de porcentaje de humedad, cenizas, carbón fijo y volátil arrojaron mejores resultados dentro de los rangos esperados.

3.8. Criterios éticos

En la investigación se aplicó y uso de manera determinante los siguientes principios. Respetando las normas establecidas y ya mencionadas anteriormente para la realización de los objetivos.

a. El principio de la autonomía

Este principio nos dice que toda persona tiene el derecho de decidir en todo por sí misma como afecten a esta, con conocimiento y sin coacción de ningún tipo. La presente investigación respetara el principio de autonomía para la recolección de datos necesarios para la investigación.

b. El principio de beneficencia

Este principio se relaciona íntimamente con el principio de autonomía ya que esta se define como derecho de toda persona de vivir de acuerdo con su propia concepción de la vida, a sus ideales de perfección y felicidad; teniendo el deber de buscar el bien de otros en función a la otra persona. Esta investigación también respetará este principio ya que el derecho de una persona acaba donde empieza de la otra persona.

c. El principio de justicia.

De acuerdo con este principio que nos dice que se debe respetar la diversidad de culturas ideologías políticas sociales o económicas y de la colaboración en la equidad de distribución de los beneficios y riesgos entre los miembros de la sociedad.

d. Valor científico:

Se respetara los valores científicos como Provisionalidad, Racionalidad, Autocrítica para un logro óptimo de esta investigación.

3.9. Criterios de rigor científico

Al realizar la caracterización del carbón vegetal de bambú serán garantizados los resultados de los análisis ya detallados anteriormente como el % de cenizas, % de humedad, capacidad calorífica, etc. que en el caso de la capacidad calorífica se realizarán los análisis en la Universidad Nacional de Trujillo – Trujillo, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Credibilidad: los resultados serán auténticos, estos resultados serán reconocidos por el asesor especialista.

Validez: los instrumentos de recolección de datos han serán validados mediante los debidos instrumentos.

IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Determinación del tiempo del proceso de obtención de carbón vegetal a partir de bambú en un horno metálico.

A continuación se muestran los pasos que se siguieron para determinar el tiempo de carbonización para la producción de carbón vegetal a partir de bambú en un horno metálico.

- a) Se cargó el horno con la respectiva muestra de carbón vegetal de bambú con un índice de madurez en maduro y verde.
- b) Se siguió los procedimientos de la figura 3.1 (Diagrama de flujo) para empezar el proceso de obtención del carbón vegetal.
- c) En la etapa de carbonización se determinó los tiempos de carbonización mediante el control del color del humo (Blanco-Azul) que salía de la carga de la caña de bambú. En la figuras 4.1 se muestra la emisión del humo blanco de las cañas empezando el proceso de carbonización; como también en la Figura 4.2 se muestra la emisión del humo azul indicador que se tomó en cuenta para detener la etapa de carbonización.

En la figura 4.1 observamos las cañas acondicionadas colocadas en el interior del horno, cañas maduras y verdes.



Figura 4.1: *Horno con carga de caña Madura.*
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.2, en esta figura se aprecia el humo emitido al inicio de la carbonización, cuando las cañas empiezan a eliminar el agua contenida mediante vapor.



Figura 4.2: Emisión de humo Blanco durante la carbonización.
Fuente: Elaboración Propia.

En la etapa de carbonización se determinó los tiempos de carbonización, mediante el control del color del humo (Blanco-Azul) que salía de la carga de la caña de bambú. En la figuras 5.3 se muestra la emisión del humo azul indicador que es momento donde se detiene la etapa de carbonización.



Figura 4.3: Emisión de humo Azul durante la carbonización.
Fuente: Elaboración Propia.

Con una serie de pruebas preliminares se determinó que los tiempos de carbonización mediante el control del humo fueron dos Horas y tres horas. Como se muestran en la tabla 5.1

Tabla 4.1

Horas de carbonización del bambú en dos estadios de madurez.

Muestra preliminar	Hora de inicio	Hora de termino	N° Horas
MP1	7:00pm	10:10pm	3 y 10´
MP2	9:30am	12:00pm	2:30
MP3	4:00pm	7:00pm	3
MP4	9:20am	11:20am	2
MP5	11:45am	1:56pm	2 y 11´
MP6	8:45am	11:23pm	2:30

Fuente: Elaboración propia

De todas las pruebas realizadas se eligió los tiempos en los cuales había un mejor carbón vegetal, sin presencia de cenizas en las cañas carbonizadas.

4.2. Caracterización del carbón vegetal de bambú en dos estadios de madurez producido en un horno metálico.

Los análisis realizados para la caracterización de las muestras del carbón vegetal fueron: porcentaje de humedad, materia volátil, cenizas, carbón fijo y su poder calorífico a las 12 muestras obtenidas de todos los tratamientos hechos. Se procedió con la evaluación química basada en el método Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal ASTM D 1762-84 (reaprobada en 2007), en el cual se fundamentaron los análisis de laboratorio para las pruebas sucesivas ya mencionadas.

Tomando como base los resultados conseguidos en los ensayos de laboratorio se inició la agrupación de los datos obtenidos de acuerdo a los tiempos utilizados en la etapa de carbonización del carbón vegetal, para proceder al análisis estadístico, con el método de comparación de medias ANOVA (diseño experimental bloques completos al azar).

4.2.1. Resultados de Humedad.

En la tabla 4.2 se muestran los porcentajes de humedad de las muestras en tiempo de carbonización de dos horas con un porcentaje de humedad promedio de 5.82 y una desviación estándar de 1.05

Tabla 4.2

% de Humedad del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACION (Horas)	Humedad (%)
1	2	4.74
1	2	6.84
1	2	5.88
PROMEDIO		5.82
DESVIACION ESTANDAR		1.05

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.3 se muestra los porcentajes de humedad correspondientes a la muestra de caña verde: 1 sometida a un tiempo de carbonización de 3 horas, los cuales son de 6.01%, 5.05% y 6.83% con un promedio en los tres tratamientos de 5.96 % y su desviación estándar de 0.89.

Tabla 4.3

% de Humedad del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACION (Horas)	Humedad (%)
1	3	6.01
1	3	5.05
1	3	6.83
PROMEDIO		5.96
DESVIACION ESTANDAR		0.89

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.4 se muestra los porcentajes de humedad correspondientes a la muestra de caña Madura sometida a un tiempo de carbonización de 2 horas, los cuales son de 9.98%, 6.91% y 4.42% con un promedio en los tres tratamientos de 7.10 % y su desviación estándar de 2.79.

Tabla 4.4

% de Humedad del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACION (Horas)	Humedad (%)
2	2	9.98
2	2	6.91
2	2	4.42
PROMEDIO		7.10
DESVIACION ESTANDAR		2.79

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.5 se muestra los porcentajes de humedad correspondientes a la muestra de caña Madura sometida a un tiempo de carbonización de 3 horas, los cuales son de 4.32%, 4.12% y 4.69% con un promedio en los tres tratamientos de 4.38% y su desviación estándar de 0.29.

Tabla 4.5

% de Humedad del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACION (Horas)	Humedad (%)
2	3	4.32
2	3	4.12
2	3	4.69
PROMEDIO		4.38
DESVIACION ESTANDAR		0.29

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.6 se muestra el análisis de varianza de las variables independientes (tiempo y madurez) en la variable humedad.

Tabla 4.6

ANOVA para el porcentaje de Humedad

	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INTER GRUPOS	8.436	9	1.832	8,956,043	,001
INTRA GRUPOS	0.002	3	0.000		
TOTAL	8.438	12			

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Resultados de contenido de Materia Volátil.

La tabla 4.7 refleja el contenido de materia volátil del carbón vegetal con promedio de todas las muestras de caña verde del 21.12 % de materia volátil, los valores que cada una de las muestras obtuvo fue de 22.5% 21.75% y 19.1% respectivamente y la desviación estándar de 1.79.

Tabla 4.7

% de volátiles de carbón vegetal (CMI; 2 hrs/car)..

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Volátiles (%)
1	2	22.5
1	2	21.75
1	2	19.1
PROMEDIO		21.12
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.79

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.8 muestra resultados de materia volátil de la caña verde en 3 horas de carbonización obteniéndose los siguientes valores 13.85%, 11.47% y 10.87% con un promedio de 12.06 % y una desviación estándar de 1.58.

Tabla 4.8

% de Volátiles del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Volátiles (%)
1	3	13.85
1	3	11.47
1	3	10.87
PROMEDIO		12.06
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.58

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 4.9 muestra el resultado del contenido de materia volátil en tiempo de tratamiento de 2 horas con promedio de 20.03%, valores que cada una de las muestras obtuvo en este análisis es de 18.1% 20.4% y 21.6% respectivamente y la desviación estándar de 1.78.

Tabla 4.9

% de Volátiles del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Volátiles (%)
2	2	18.1
2	2	20.4
2	2	21.6
PROMEDIO		20.03
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.78

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.10, muestra los resultados del porcentaje de materia volátil de la muestra de 3 horas de carbonización utilizando como materia prima a la caña de bambú madura son: 16.89%, 17.5% y 20.22% respectivamente para cada muestra obteniendo un promedio y desviación estándar de 18.20% y 1.77 respectivamente.

Tabla 4.10

% de Volátiles del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Volátiles (%)
2	3	16.89
2	3	17.5
2	3	23.22
PROMEDIO		19.20
DESVIACIÓN ESTANDAR		3.49

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.11 se muestra el análisis de varianza de las variables independientes (tiempo y madurez) en el porcentaje de sustancias volátiles que se ha obtenido.

Tabla 4.11

ANOVA para el porcentaje de sustancias volátiles.

	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INTER GRUPOS	3.635	10	.392	3,786,342	,004
INTRA GRUPOS	0,003	2	,000		
TOTAL	3.638	11			

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Resultados de contenido de cenizas.

La tabla 4.12 muestra el promedio de los resultados del carbón vegetal en un tratamiento de carbonización de 2 horas con caña verde, siendo el valor promedio de 6.84%, los porcentajes por cada muestra son: 8.27%, 6.20% y 6.07% de cenizas respectivamente, la desviación estándar de 1.23.

Tabla 4.12

% de Cenizas del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Cenizas (%)
1	2	8.27
1	2	6.20
1	2	6.07
PROMEDIO		6.84
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.23

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 4.13 muestra los resultados del porcentaje de cenizas de carbón vegetal de caña verde en tiempo de carbonización de tres horas, con un promedio de porcentaje de cenizas de 5.33 % y una desviación estándar de 2.34.

Tabla 4.13

% de Cenizas del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Cenizas (%)
1	3	8.00
1	3	10.00
1	3	5.33
PROMEDIO		7.78
DESVIACIÓN ESTANDAR		2.34

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.14 se ve los datos de porcentaje de cenizas de carbón vegetal a partir de caña madura en tiempo de carbonización de dos horas, con un promedio de 6.27 % de cenizas con la desviación estándar de 0.90,

Tabla 4.14

% de Cenizas del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Cenizas (%)
2	2	6.20
2	2	5.40
2	2	7.20
PROMEDIO		6.27
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.90

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.15 muestra los resultados del carbón vegetal obtenido de caña madura en tres horas de carbonización, con un promedio de 7.47 % de cenizas y una desviación estándar de 3, valor alejado las variaciones que se encontraron en las tablas anteriores 5.12, 5.13, 5.14, que tienen desviaciones estándares de 1.23, 2.34, 0.90,. Se asume que pudo a ver sido por las condiciones de carbonización y almacenamiento.

Tabla 4.15

% de Cenizas del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Cenizas (%)
2	3	6.33
2	3	10.87
2	3	5.20
PROMEDIO		7.47
DESVIACIÓN ESTANDAR		3.00

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 4.16 refleja los valores de varianza de las variables independientes sobre los resultados obtenidos de los análisis de porcentaje de cenizas presente en el carbón vegetal.

Tabla 4.16

ANOVA para el porcentaje de Cenizas.

	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INTER GRUPOS	3.651	11	2.727	24	,147
INTRA GRUPOS	0.007	1			
TOTAL	3.658	12			

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Resultados del contenido de carbón fijo.

En la tabla 4.17 muestran los porcentajes de carbón fijo obtenidos, el promedio de este análisis fue de 72.04% de carbón fijo del tratamiento de caña verde en tiempo de dos horas de carbonización con una desviación de 2.80, el porcentaje de carbón fijo del carbón vegetal está dentro de un rango máximo del 74.83% y de 69.23% como mínimo.

Tabla 4.17

% de Carbón Fijo del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Carbón Fijo (%)
1	2	69.23
1	2	72.05
1	2	74.83
PROMEDIO		72.04
DESVIACIÓN ESTANDAR		2.80

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4.18 se refleja los resultados de porcentaje de carbón fijo de las muestras de carbón vegetal obtenidas de caña verde en tres horas de carbonización con un promedio de 80.16 % con desviación estándar de 3.16.

Tabla 4.18

% de Carbón Fijo del carbón vegetal (CV1; 3hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Carbón Fijo (%)
1	3	78.15
1	3	78.53
1	3	83.80
PROMEDIO		80.16
DESVIACIÓN ESTANDAR		3.16

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.19 refleja el porcentaje de carbón fijo que contiene el carbón vegetal a partir de caña madura en tratamiento de dos horas, el promedio es de 73.70% y la desviación de 2.29.

Tabla 4.19

% de Carbón Fijo del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Carbón Fijo (%)
2	2	75.70
2	2	74.20
2	2	71.20
PROMEDIO		73.70
DESVIACIÓN ESTANDAR		2.29

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4.20 detalla el porcentaje de carbón fijo obtenido de las muestras de cañas maduras en tratamiento de carbonización de tres horas, con un promedio de 73.33 % de carbón fijo y una desviación estándar de 2.99, Por lo generalmente, cuanto mayor sea el contenido de carbono fijo, mejor será la calidad del carbón obtenido.

Tabla 4.20

% de Carbón Fijo del carbón vegetal (CM2; 3hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Carbón Fijo (%)
2	3	76.78
2	3	71.63
2	3	71.58
PROMEDIO		73.33
DESVIACIÓN ESTANDAR		2.99

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.21 muestra el análisis de varianza de las variables independientes sobre las variable dependiente carbón fijo.

Tabla 4.21

ANOVA para el porcentaje de Carbón Fijo.

	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INTER GRUPOS	3.000	9	2.433	12,178	,001
INTRA GRUPOS	0.483	3			
TOTAL	3.483	12			

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5. Resultados del poder calorífico.

En la tabla 4.22 se aprecia el poder calorífico obtenido de cada una de las muestras de cañas verdes en tratamientos de dos horas. El promedio de este análisis fue de 5870.23 Kcal/Kg de poder calorífico con una desviación de 11.02. El poder calorífico del producto obtenido es básicamente al contenido de carbono.

Tabla 4.22

Poder Calorífico del carbón vegetal (CV1; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
1	2	6 072.38
1	2	5 618.42
1	2	5 919.89
PROMEDIO		5870.23
DESVIACIÓN ESTANDAR		11.02

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.23 refleja los resultados de las muestras de carbón vegetal a partir de cala verde en tres horas de carbonización, el promedio es de 6134.56 kcal/kg y desviación de 5.23. El poder calorífico depende fundamentalmente de su composición química y de la humedad.

Tabla 4.23

Poder Calorífico del carbón vegetal (CV1; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
1	3	6138.26
1	3	6130.86
1	3	5 927.71
PROMEDIO		6134.56
DESVIACIÓN ESTANDAR		5.23

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.24 muestra los resultados de poder calorífico del carbón vegetal a partir de caña madura en tiempo de dos horas con un promedio de 6151.15 kcal/kg con una desviación de 8.45.

Tabla 4.24

Poder Calorífico del carbón vegetal (CM2; 2 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN N (Horas)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
2	2	6261.28
2	2	6041.01
2	2	6 271.16
PROMEDIO		6151.15
DESVIACIÓN ESTANDAR		8.45

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 4.25 muestra el resultado de las muestras de carbón vegetal a partir de caña madura en tiempo de carbonización de tres horas con un promedio de 6313.82 kcal/kg con una desviación estándar de 5.70.

Tabla 4.25

Poder Calorífico del carbón vegetal (CM2; 3 hrs/car).

ESTADIO DE MADUREZ (1:verde;2:Madura)	TIEMPO DE CARBONIZACIÓN (Horas)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
2	3	6 117.76
2	3	6172.37
2	3	6455.26
PROMEDIO		6313.82
DESVIACIÓN ESTANDAR		5.70

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 4.26 muestra el análisis de varianza de las variables independientes tiempo y madurez sobre los resultados de la variable dependiente de poder calorífico.

Tabla 4.26

ANOVA para el poder calórico

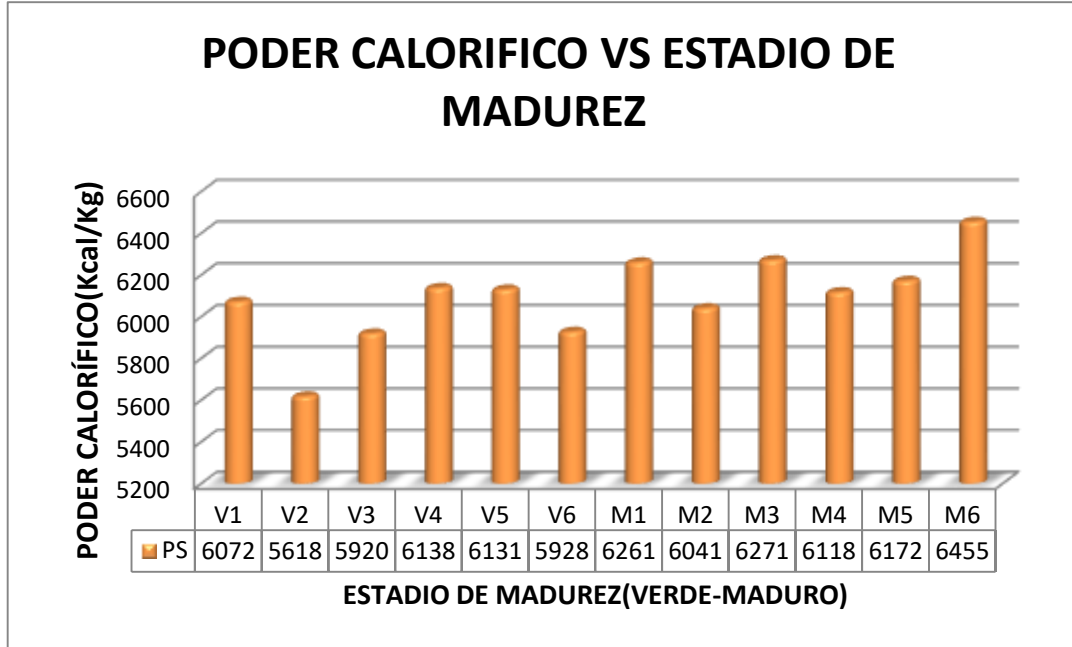
	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INTER GRUPOS	3.762	9	2.067	2.75	,064
INTRA GRUPOS	0.667	4			
TOTAL	4.429	13			

Fuente: Elaboración Propia.

Según la figura 4.4 presente, el poder calorífico que dio como resultado el valor más alto fue la muestra M6 (Caña Madura en un tiempo de carbonización de 3 h) 6455.26 Kcal/kg, en relación al valor más bajo de la muestra V2 (Caña verde en un tiempo de carbonización de 2h), que arrojo un valor de 5618.42 Kcal/kg de poder calorífico. Según los resultados podemos decir que el carbón vegetal a partir de bambú con mejor poder calorífico se obtuvo de la caña madura en un tiempo de carbonización de 3h, en un horno metálico.

Figura 4.4

Poder Calorífico vs Estadio de Madurez



Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4.27 se muestra todos los resultados alcanzados después de haber realizado los análisis que nos permitieron caracterizar el carbón vegetal a partir de bambú en dos estadios de madurez.

Tabla 4.27

Resumen de análisis practicados al carbón vegetal de bambú en dos estadios de madurez

Muestra	Estadio de madurez (Verde:1; Madura:2)	Tiempo de carbonización (Horas)	Humedad (%)	Volátiles (%)	Cenizas (%)	Carbón fijo (%)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
V 2.1 : Caña verde, 2h	1	2	4.74	22.5	8.267	69.23	6 072.38
V 2.2 : Caña verde, 2h	1	2	6.84	21.75	6.200	72.05	5 618.42
V 2.3: Caña verde. 2h	1	2	5.88	19.1	6.067	74.83	5 919.89
V 3.1 : Caña verde, 3h	1	3	6.01	13.85	8.000	78.15	6138.26
V 3.2 : Caña verde, 3h	1	3	5.05	11.47	10.000	78.53	6130.86
V 3.3: Caña verde. 3h	1	3	6.83	10.87	5.333	83.80	5 927.71
M 2.1: Caña madura, 2h	2	2	9.98	18.1	6.200	75.70	6261.28
M 2.2: Caña madura, 2h	2	2	6.91	20.4	5.400	74.20	6041.01
M 2.3: Caña madura, 2h	2	2	4.42	21.6	7.200	71.20	6 271.16
M 3.1 : Caña madura, 3h	2	3	4.32	16.89	6.333	76.78	6 117.76
M 3.2: Caña madura, 3h	2	3	4.12	17.5	10.867	71.63	6172.37
M 3.3: Caña madura, 3h	2	3	4.69	23.22	5.200	71.58	6455.26
VP 4.1: Caña Verde, 2:30h	1	2:30	7.91	17.09	7.8	75.11	6017.3
VP 4.2: Caña Verde, 2:30h	1	2:30	5.62	13.9	12	74.10	6144.38
VP 4.3: Caña Verde, 2:30h	1	2:30	3.02	21.3	7.6	71.10	6343.98
MP 4.1: Caña madura, 2:30h	2	2:30	4.19	25	11.5	63.50	6390.45
MP 4.2: Caña madura, 2:30h	2	2:30	5.99	23.8	10.3	65.90	6292.4
MP 4.3: Caña madura, 2:30h	2	2:30	4.2	28.9	9.6	61.50	5876.58

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Discusión de resultados

La FAO en el año 1983 según (Pacheco, 2005) limita el contenido de humedad de un carbón vegetal al 15% máximo; pues a mayor contenido de humedad se disminuye el poder calorífico del carbón vegetal, por otro lado Rojas en el 2014 menciona que las especificaciones de calidad limitan el contenido de humedad en un nivel de 5 – 15 % ya que los carbones con una humedad elevada se desmenuzan y producen carbonilla cuando se calienta. De acuerdo con esto los resultados de contenido de humedad del carbón vegetal mostrados en las tablas 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 son de calidad pues todas las muestras presentan valores dentro de límite permitido en el control de calidad establecido. Profundizando más en acuerdo con Rojas, 2014 es preferible un carbón con el menor contenido de humedad, entonces el carbón vegetal a partir de bambú que tuvo un valor más óptimo fue el de caña madura de tres horas de carbonización con un porcentaje de humedad de 4.12 % y la caña madura de dos horas de carbonización nos da el porcentaje de humedad más alto de todas la muestras que es de 9.98 % de humedad, valor alto en comparación a las demás muestras, sin embargo valor aceptable según los autores mencionados. En la tabla 4.6 se puede observar el valor de significancia está por debajo de $p < 0.05$, lo que revela que las variables tiempo y el índice de madurez si influyeron en los resultados obtenidos del porcentaje de humedad.

Según Pérez y Compean (1989), citados por (Ordaz, 2003) explican que el carbón con mucha materia volátil al ser usado produce humo, se prende rápidamente y con mucha facilidad y el carbón vegetal de bajo contenido de material volátil presenta dificultad al encender pero su combustión es más limpia. Rojas (2014) menciona que las sustancias volátiles en el carbón vegetal pueden cambiar desde un 40%, o más, desde un 5% o menos. Los valores de las muestras analizadas en las tablas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 presentan porcentajes de volátiles entre un rango de 10.87% como máximo obtenido de una muestra de caña verde en tiempo de carbonización de tres horas y un valor máximo de

23.22 % de una caña madura en tiempo de tres horas, valores aceptables dentro del rango establecido, con estos porcentajes se puede deducir que este carbón genera una combustión limpia y no emitirá tanto humo. En la tabla 4.11 se tuvo un valor de significancia por debajo de $p < 0.05$, de lo que se deduce que las variables independientes influenciaron en los resultados de la variable dependiente (porcentaje de volátiles).

Según Rojas, 2014 el porcentaje de ceniza hace referencia a la materia que no puede ser quemada después de que el carbón ha sido totalmente calcinado.

según La FAO (1983) y Pérez y Compean (1989), Señala que el porcentaje de cenizas del carbón vegetal oscila desde el 0.5% sobrepasando el 5%, según esto los valores obtenidos de las muestras analizadas en las tablas 4.12, 4.13, 4.14, 4,15 no se encuentran dentro de este rango establecido, pues el valor mínimo es de 5.2 % de cenizas y el valor máximo es 10.8 % de cenizas Esta propiedad varía según la especie de árbol de la cual provenga la madera, vinculando varios factores los cuales son: la especie de la madera, la proporción de corteza puesta y la limpieza(libre de tierra, arena) de la carga introducida en el horno, dicho esto podemos contrastamos nuestros resultados de Otávio, Tomazello Y Barros(2005), quienes en los resultados de su investigación determinaron los valores de cenizas para cinco variedades de bambú (*B. vulgaris vittata* 5,1%, *B. tuldooides* 3,0%, *B. vulgaris* 3,5%, *D. giganteus* 5,0%, *G. angustifolia* %12,3) En la tabla 4,16 se obtuvo un valor de significancia por encima de $p < 0.05$, lo que refleja que las variables tiempo y madurez no influyeron en los resultados obtenidos de porcentaje de cenizas.

Marcos (1989), manifiesta que la madera tiene menor contenido de carbono que el carbón vegetal y el contenido alto de carbono del carbón vegetal se vincula esencialmente a las condiciones en la etapa de carbonización y en menor nivel la cantidad de carbono que engloba la madera.(Pacheco, 2005) Afirma que los porcentajes de carbón fijo presentes en el carbón vegetal está en un mínimo

con 50% y en un máximo con 95%, por ende los resultados reflejados en las tablas 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 están dentro del rango aceptable y el producto obtenido es de buena calidad teniendo como características su consistencia y su resistencia. Esto deja ver que la técnica utilizada (horno metálico) nos da mejores condiciones de carbonización para obtener resultados aceptables según los parámetros establecidos, en la tabla 4.21 se dejan ver el valor de significancia por debajo de $p < 0.05$, de las variables tiempo e índice de madurez sobre el carbón fijo.

Según Marcos (1989), indica que una de las fundamentales razones debido a la cual se carboniza la madera a causa del poder calorífico del carbón, pues es mayor que el de la madera. Así mismo, señala que la media es de 7,000Kcal/Kg de poder calórico del carbón vegetal en comparación a la madera que el poder calórico fluctúa entre los 3,500 y 4,000 Kcal/Kg. Citado por (Ordaz, 2003) . Sin embargos estos valores mencionados para el carbón vegetal no guardan relación con el poder calorífico obtenido en las tablas 4.22, 4.23, 4.24, 4.25. El poder calorífico del carbón vegetal a partir de bambú en dos estadios de madures verde y maduro, nos dio doce muestras que fueron analizadas de las cuales la muestra con mayor poder calorífico fue la de caña madura de tres horas de carbonización, con un poder calorífico de 6455.26 Kcal/kg , dicho valor está por debajo del rango aceptado, pero tomando en cuenta que la materia prima utilizada, es una gramínea que no es un recurso maderable y su composición química también es diferente, pero los resultados del poder calorífico son aceptables según Otávio, Tomazello, & De Barros (2005) quienes en los resultados de su investigación determinaron que el poder calorífico de la especie *G. angustifolia* es de 6490 kcal/kg. En la tabla 4.26 se obtuvo un valor de significancia por debajo de $p < 0.05$ de la variable independiente tiempo e índice de madurez sobre los resultados de poder calorífico.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se caracterizó el carbón vegetal a partir de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) en dos estadios de madurez producido en un horno metálico porcentaje de humedad de: caña verde y madura en 2 horas de carbonización es 5.82% y 7.10%, en tiempo de 3 horas cañas verde y madura 5.96% y 4.38% de humedad. Materia volátil: caña verde y madura en 2 horas de carbonización 21.12% y 20.03%, caña verde y madura en 3 horas de carbonización 12.06% y 19.20%. Cenizas: caña verde y madura a 2 horas de carbonización 6.84% y 6.27%, caña verde y madura en 3 horas de carbonización 7.78% y 7.47%. Carbón fijo: caña verde y madura en 2 horas de carbonización 72.04% y 73.33%, caña verde y madura en 3 horas de carbonización 80.16% y 73.33%. Poder calorífico: caña verde y madura en 2 horas de carbonización 5870.23kcal/kg y 6151.15kcal/kg, caña verde y madura en 3 horas de carbonización 6134.56kcal/kg y 6313.82kcal/kg.

El tiempo de carbonización óptimo para obtener carbón vegetal a partir de bambú con mejores características en un horno metálico, fue un tiempo de tres horas con cañas maduras, se concluyó que el tiempo de carbonización es un factor muy importantes que afectan a la calidad del carbón vegetal, calidad que está determinada según el uso (domestico) de este, por ello es muy importante realizar el proceso de la mejor manera, tomando en cuenta el tamaño del horno condiciones de producción , almacenamiento y el porcentaje de humedad de la materia prima para este carbón vegetal obtenido se mostrados valores dentro de los rangos aceptados según los autores citados.

Se pudo determinar el poder calorífico del carbón vegetal a partir de bambú en dos estadios de madurez producido en un horno metálico, el carbón vegetal obtenido de cañas maduras en tiempo de carbonización de tres horas nos dio el valor más alto de poder calorífico que es de 6455.26 Kcal/kg.

5.2. Recomendaciones

Controlar durante todo el proceso la entra y salida de aire sobre todo en la etapa de carbonización, esto ayudara al mejorar el rendimiento de carbonización, pues las fugas de aire pueden consumir el carbón, convirtiéndolo en cenizas, y afectara a la absorción de humedad, lo que puede disminuir la capacidad calorífica del carbón.

Para la carbonización, se recomienda colocar cañas con similares características, en cuanto a humedad, formas, diámetros y estadio de madurez de esta manera se puede obtener una carbonización homogénea con características idénticas.

Dar las condiciones opimas en el almacenamiento, para que este evitar la absorción de la humedad del ambiente, pues esto disminuye directamente su poder calorífico.

Caracterizar el carbón vegetal a partir de bambú con otros métodos de carbonización, de esta manera definir por cual método o equipo de carbonización se obtienen mejores característica, o si esto no afectaría en sus propiedades y rendimiento de producción.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Botero, L. F. (2004). *Reproducción de la guadua angustifolia por el método de chusquines*. Ecuador: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR).
- Botero, L. F. (2004). *Reproducción de la Guadua Angustifolia por el método de Chusquines*. Ecuador: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR).
- Carbajal., I. M. (2012). *“Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales” informe técnico*. Perú: Direccion General forestal y de fauna silvestre.
- Cárdenas, L. (2011). *Biblioteca Virtual Agropecuaria MINAGRI*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de AGROCENDOC:
<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/bambu>
- Chicago, C. d. (2011). *Estudio de mercado de carbón vegetal en el medio Oeste de los Estados Unidos*. Chicago: Oficina Comercial.
- Consulado de la Republica Argentina en Chicago. (2011). *Estudio de mercado de carbón vegetal en el medio Oeste de los Estados Unidos*. Chicago: Oficina Comercial.
- Espinoza, A. J. (2010). *Aptitud de Guadua angustifolia Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (Métodos simples para fabricar carbón vegetal de 1983). Roma, Estudio FAO-Montes, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (Deposito de documentos de la fao de 2000). Recuperado el 14 de Abril de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/005/y4450s/y4450s10.htm>
- FAO. (MARZO de 2001). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/J0926s00.htm#TopOfPage>
- FAO. (Marzo de 2001). FAO. Obtenido de FAO:
<http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/J0926s00.htm#TopOfPage>
- Fischer, C., & Rodríguez, A. (2007). *“Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa”*. Sangolquí.: Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el 23 de mayo de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1562/1/T-ESPE-025178.pdf>

- Fuentes, H. A., & Recio, R. A. (2011). Estudio de los parámetros que influyen en el proceso de pirólisis de la cáscara de arroz, para la obtención de carbon vegetal. *Tecnología Química*, 44-45. Obtenido de E-libro.
- González, L. (1989). Utilización de taninos de corteza de pino en la preparación de adhesivos para vigas laminadas. *UNBAMARI*.
- Guardado, G., Rodríguez, R., & Monge, H. (2010). *Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el salvador*. Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Hidalgo, O. (1974). En *Bambú, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería y artesanía*. (pág. 318). Bogotá, CO.: Estudios Técnicos Colombianos.
- Islas S., F. J. (1991.). Dendroenergía en México; problemática y perspectivas. *Tesis de licenciatura*. Chapingo, Estado de México.: Universidad Autónoma Chapingo.
- ITC. (2014). *TRADEMAP*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de http://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx
- Judd, S. M., & Walter, S. (1992). Systematics of the *Guadua angustifolia* Complex (Poaceae: Bambusoideae). En *Annals of the Missouri Botanical Garden* (págs. 79 : 737-769). EU: St. Louis,.
- Litoral, O. A. (noviembre de 2015). *ARTESANIAS LITORAL*. Obtenido de Artesanias Litoral: <https://www.artesantiaslitoral.org/usos-beneficios-cana-guadua>
- López V, A., Sterrett, W. R., & McDonald, M. J. (1987). Árboles comunes del Paraguay: Ñande yvyra mata kuera. En W. R. J Alberto López Villalba, *Árboles comunes del Paraguay: Ñande yvyra mata kuera* (pág. 425). Cuerpo de Paz: Colección e Intercambio de Información.
- Marcos, M. (1996). *El carbón vegetal en Japón*. Japón: Agencia de Cooperación Internacional Japonesa, (JICA).
- Menéndez, J. Á. (2008). *EL MUNDO DEL RESIDUO: CARACTERIZACIÓN, TRATAMIENTO*,. España: Universidad de Oviedo.
- Mercedes, J. (Octubre de 2006). *Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal*. Recuperado el 03 de Marzo de 2015, de <http://www.cedaf.org.do/>: <http://www.cedaf.org.do/CENTRODOC/EBOOK/BAMBU.PDF>
- Montes, D. d. (2000). *Deposito de documentos de la fao*. Recuperado el 14 de Abril de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/005/y4450s/y4450s10.htm>
- Mora, H. E. (2010). *DESCOMPOSICION TERMICA DE LA MADERA* . Lima: UNALM-Dpto. Industrias Forestales. .

- NTE. (2011). *Alimentos funcionales*. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ordaz Hernandez, J. C. (2003). *Análisis de calidad del carbón vegetal de encino producido en horno tipo colmena brasileño en Huayacocotla, Veracruz*. Chapingo: Universidad Autonoma de Chapingo .
- ORDAZ HERNANDEZ, J. C. (2003). *ANÁLISIS DE CALIDAD DEL CARBÓN VEGETAL DE ENCINO PRODUCIDO EN HORNO TIPO COLMENA BRASILEÑO EN HUAYACOCOTLA, VERACRUZ*. CHAPINGO: UNIVERSIDAD U;AUTONOMA DE CHAPINGO.
- Ordaz, H. (2003). *Análisis de calidad del carbón vegetal de encino producido en horno tipo colmena brasileño en Huayacocotla, Veracruz*. Chapingo: Universidad Autonoma de Chapingo.
- Orjeda, J. M. (07 de Octubre de 2009). *PERUBAMBÚ*. Recuperado el 03 de Marzo de 2015, de http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INVENTARIO%20DE%20BOSQUES%20DE%20BAMBU%20PD428-1.pdf
- Otávio, B. J., Tomazello, F. M., & De Barros, S. A. (2005). *PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES E VARIEDADES DE BAMBU*. Brasil: Depto. de Ciências Florestais- Piracicaba.
- Pacheco, M. (2005). *Evaluación del proceso de carbonización y calidad del carbón de Acacia caven (Mol.) Mol. producido en hornos de barro*. Santiago.: Universidad de Chile.
- Patiño, V. (1989). *Utilización del carbón vegetal. En memorias de la Primera Reunión Nacional sobre Dendroenergía*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- Perea, J. d. (2006). *Evaluación y documentación de prácticas Sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y Maduración de la guadua en el departamento del Huila*. Nieva: Fundacion para el desarrollo de la ingeniería.
- Perubambú. (2012). Recuperado el 12 de Abril de 2015, de <http://perubambu.org.pe/>
- Perubambú. (2012). Recuperado el 12 de Abril de 2015, de <http://perubambu.org.pe/>
- PERUBAMBÚ. (2012). *PERUBAMBÚ*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de PERUBAMBÚ: <http://perubambu.org.pe/>
- Rojas, D. (2014). *Evaluación de la calidad de carbon vegetal Eucalyptus camaldulensis dehnh producido en horno metálico de tambor tipo japonés mejorado*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- Seboka, Y. (2010). *Bamboo charcoal & charcoal briquette production manual*. Etiophia: INBAR-NPMU .

- Ubillús, A. (2014). La tala ilegal del bosque seco en la región Lambeyeque-Perú: Problemas y soluciones. *Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliene.*, 1-7.
- Wolf, F., & Vogel, E. (1985). *Manual para producción de carbon con métodos simples*. México.: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Zhang, Q., Jiang, S., & Xiao, P. (2002). *Transfer of technology model, Bamboo charcoal unit*. Nanjing, China: International Network for bamboo and rattan (INBAR).

VII. ANEXOS

ANEXO7.1

Contrastes multivariados

	Efecto	Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Sig.
Intersección	Traza de Pillai	1,000	690873,855 ^b	5,000	8,000	,000
	Lambda de Wilks	,000	690873,855 ^b	5,000	8,000	,000
	Traza de Hotelling	431796,160	690873,855 ^b	5,000	8,000	,000
	Raíz mayor de Roy	431796,160	690873,855 ^b	5,000	8,000	,000
TIEMPOCAR	Traza de Pillai	1,608	7,378	10,000	18,000	,000
	Lambda de Wilks	,016	11,158 ^b	10,000	16,000	,000
	B Traza de Hotelling	22,940	16,058	10,000	14,000	,000
	Raíz mayor de Roy	21,057	37,902 ^c	5,000	9,000	,000
IM	Traza de Pillai	,784	5,820 ^b	5,000	8,000	,015
	Lambda de Wilks	,216	5,820 ^b	5,000	8,000	,015
	Traza de Hotelling	3,637	5,820 ^b	5,000	8,000	,015
	Raíz mayor de Roy	3,637	5,820 ^b	5,000	8,000	,015
TIEMPOCAR	Traza de Pillai	,909	1,500	10,000	18,000	,218
	Lambda de Wilks	,249	1,603 ^b	10,000	16,000	,193
	B * IM Traza de Hotelling	2,372	1,661	10,000	14,000	,187
	Raíz mayor de Roy	2,064	3,716 ^c	5,000	9,000	,042

a. Diseño: Intersección + TIEMPOCARB + IM + TIEMPOCARB * IM

b. Estadístico exacto

c. El estadístico es un límite superior para la F el cual ofrece un límite inferior para el nivel de significación.

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 7.2

FOTOS



Figura 7.1: *Recepcion de las cañas verdes. Fuente: Elaboración propia.*



Figura 7.2: *Recepcion de las cañas maduras. Fuente: Elaboración propia.*



Figura 7.3: Encendido del horno metalico utilizado para la carbonizacion.



Figura 7.4: muestras de carbón vegetal con cañas maduras. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.5: muestras de carbón vegetal con cañas maduras.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.6: muestras de carbón vegetal con cañas verdes.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.7: muestras de carbón vegetal de tres horas de carbonización. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.8: muestras de carbón vegetal de dos horas de carbonización. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.9: muestras de carbón vegetal de dos horas de carbonización. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.10: muestras de carbón vegetal en el desecador. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.11: Mufia utilizada para determinar cenizas-
uss. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.12: muestras de carbón vegetal para determinar
porcentaje de cenizas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.13: Mufla utilizada para determinar materia volátil -ucv. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.14: Muestra de análisis de material volátil -ucv. Fuente: Elaboración propia.