UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
06/4/16
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

"ANALISIS COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL DE DOS ESPECIES FORESTALES DE TAMBOPATA - MADRE DE DIOS "

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ALEX OCHOA LANDA

Pucallpa - Perú

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL DE DOS ESPECIES FORESTALES DE TAMBOPATA - MADRE DE DIOS".

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ALEX OCHOA LANDA

Pucallpa-Perú

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA SUSTENTACIÓN DE TESIS
303/2015-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a los veintidós días (22) días del mes de julio del año dos mil quince (2015), siendo las 10:08 a.m. de acuerdo a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron en la Sala de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, los integrantes del Jurado Calificador, nombrado por la Comisión de Grados y Títulos, para proceder a la Sustentación Pública de la tesis titulada **"ANALISIS COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE CARBÓN VEGETAL DE DOS ESPECIES FORESTALES DE TAMBOPATA – MADRE DE DIOS"** presentado por el **Bach. ALEX OCHOA LANDA**, ante los docentes miembros del Jurado:

Ing. M. Sc. MANUEL I. SALVADOR CARDENAS	**: Presidente**
Ing. M. Sc. DAVID LLUNCOR MENDOZA	**: Miembro**
Ing. M. Sc. MELCHOR DOLMOS CASTRO	**: Miembro**

Finalizada la sustentación se procedió a la evaluación respectiva. Durante la deliberación, el jurado calificador llegó a la siguiente conclusión:

La Tesis fue aprobada por **MAYORIA** quedando el sustentante expedito para optar el título de **Ingeniero Forestal**, previo levantamiento de las observaciones realizadas.

Siendo las 11:45 a.m., el acto se dio por concluido.

.....
Ing. M. Sc. MANUEL I. SALVADOR CARDENAS
Presidente

.....
Ing. M. Sc. DAVID LLUNCOR MENDOZA
Miembro

.....
Ing.M. Sc. MELCHOR DOLMOS CASTRO
Miembro

DEDICATORIA

A Alex Enrique y Rosa Victoria mis padres; Karen Margaret mi esposa;. Alessandra y Oriana mis hijas; Roldan, Frank, Ander mis hermanos; quienes me apoyan continuamente para cumplir con mis metas propuestas.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias a mi familia por su apoyo incondicional y comprensión en este proceso de desarrollo personal y profesional.

A la empresa Forestal Rio Piedras Sac – Grupo Bozovich – Unidad de Producción Puerto Maldonado, que me permitió desarrollar en sus instalaciones la presente investigación.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por su gran colaboración en el proceso del estudio.

A mi asesor Ing. M. Sc. Carlos Panduro Carbajal por su apoyo y gran colaboración en la planificación y ejecución del presente estudio.

Al Ing. German Cornejo Macarlupú por su apoyo incondicional y a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron en la realización del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCION 1

CAPITULO I: MARCO TEORICO **3**

1.1 Características generales del género

Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) 3

1.2 Características generales del género

Dypterix odorata (shihuahuaco) 5

1.3 Estudios realizados sobre carbonización 8

1.4 Carbonización. 9

1.4.1 Fases de la carbonización. 10

1.4.2 Influencia de las características de la madera

sobre los métodos de carbonización. 21

1.5 Tecnología de hornos 22

1.5.1 Horno tipo colmena brasileño. 22

1.5.1.1 Características del horno tipo artesanal o parvas 22

1.5.1.2 Características del horno tipo colmena brasileño 27

1.6 Rendimientos de hornos tipo artesanal y artificial. 29

1.7 Costos en la producción de carbón 29

1.8 Definición de términos básicos. 32

CAPITULO II: METODOLOGÍA **35**

2.1Lugar de ejecución 35

2.2Método de investigación 35

2.3Población y tamaño de muestra 35

2.4Materiales y equipos 36

2.4.1 Maderas 36

2.4.2 Equipos e instrumentos 37

2.5Métodos y procedimientos 38

2.5.1 Madera 38

2.5.2 Procedimiento de recolección de datos 38

2.5.2.1 Características de los hornos tipo artesanales 38

2.5.2.2 Características de los hornos tipo colmena 39

2.5.3 Contenido de humedad de las piezas de madera 42

2.5.4 Densidad de las piezas de madera 43

2.5.5 Caracterización del proceso de carbonización 44

2.5.5.1 Descripción del proceso de producción de hornos tipo artesanales 44

2.5.5.2 Descripción del proceso de producción de hornos tipo colmena 48

2.5.6 Acondicionamiento de muestras carbonizadas. 56

2.5.7 Rendimiento del carbón 56

2.5.8 Costo de producción 56

2.5.9 Análisis del carbón 57

2.5.9.1 Densidad aparente 57

2.5.9.2 Contenido de humedad del carbón. 57

2.5.9.3 Contenido de cenizas. 58

2.5.9.4 Contenido de materias volátiles. 59

2.5.9.5 Carbono fijo. 59

2.5.9.6 Poder calorífico superior 60

2.5.9.7 Análisis estadístico 61

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES 62

3.1 Rendimiento del carbón 62

3.2 Densidad del carbón 66

3.3 Contenido de humedad del carbón 70

3.4 Materia volátil del carbón 74

3.5 Cenizas del carbón 78

3.6 Carbono fijo 82

3.7 Poder calorífico del carbón 86

3.8 Balance de materia 90

3.9 Análisis de costo en la producción del carbón 93

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 97

CONCLUSIONES 97

RECOMENDACIONES 99

BIBLIOGRAFIA 100

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Variación de la composición del carbón y rendimiento en función de la temperatura de carbonización(Martins, 1980). 13

Cuadro 2: Composición química del carbón vegetal (FAO, 1983). 14

Cuadro 3: Composición química del carbón Vegetal (Burrel, 1980). 14

Cuadro 4: Rendimiento en porcentaje de carbón y de líquido piroleñoso con dos especies forestales. 15

Cuadro 5: Rendimiento gravimétrico de carbón, alquitrán, ácido piroleñoso y gases no condensables en relación a madera seca. 16

Cuadro 6: Días empleados por actividad en el proceso de carbonización en sistemas de producción tipo artesanal. 44

Cuadro 7: Días empleados por actividad en el proceso de carbonización en sistemas de producción tipo colmena. 48

Cuadro 8: Promedio del rendimiento del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno artesanal y horno tipo colmena 62

Cuadro 9: Análisis de varianza del rendimiento del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena 63

Cuadro 10: Promedio del rendimiento del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco). 63

Cuadro 11: Comparación del promedio del rendimiento del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco). 63

Cuadro 12: Promedio del rendimiento del carbón producido en horno artesanal y horno tipo colmena 64

Cuadro 13: Comparación del promedio del rendimiento del carbón de producido en horno artesanal y horno tipo colmena 64

Cuadro 14: Promedio de la densidad del carbón (g/cm3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 66

Cuadro 15: Análisis de variancia de la densidad del carbón (g/cm3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena 67

Cuadro 16: Promedio de la densidad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) 67

Cuadro 17: Comparación del promedio de la densidad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco). 67

Cuadro 18: Promedio de la densidad del carbón producidos en horno artesanal y horno tipo colmena 68

Cuadro 19: Comparación del promedio de la densidad del carbón de producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 68

Cuadro 20: Promedio del contenido de humedad del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 70

Cuadro 21: Análisis de variancia del contenido de humedad del carbón (%) ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 71

Cuadro 22: Promedio del contenido de humedad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) 71

Cuadro 23: Comparación de los promedios del contenido de humedad del carbón de la madera de azúcar huayo y shihuahuaco 71

Cuadro 24: Promedio del contenido de humedad del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 72

Cuadro 25: Comparación de los promedios del contenido de humedad del carbón de producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 72

Cuadro 26: Promedio de materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 74

Cuadro 27: Análisis de variancia de la materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 75

Cuadro 28: Promedio de la materia volátil del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 75

Cuadro 29: Comparación de los promedios de la materia volátil del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 75

Cuadro 30: Promedio de la materia volátil del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 76

Cuadro 31: Comparación del promedio de la materia volátil del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 76

Cuadro 32: Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 78

Cuadro 33: Análisis de variancia del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 79

Cuadro 34: Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 79

Cuadro 35: Comparación del promedio del contenido de cenizas del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 79

Cuadro 36: Promedio del contenido de cenizas del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 80

Cuadro 37: Comparación del promedio del contenido de cenizas del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 80

Cuadro 38: Promedio del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 82

Cuadro 39: Análisis de variancia del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 83

Cuadro 40: Promedio del carbono fijo del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 83

Cuadro 41: Comparación del promedio del carbono fijo del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 83

Cuadro 42: Promedio del carbono fijo del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 84

Cuadro 43: Comparación del promedio del carbono fijo del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 84

Cuadro 44: Promedio del poder calorífico del carbón (Kcal/kg) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 86

Cuadro 45: Análisis de variancia del poder calorífico del carbón (Kcal/kg) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 87

Cuadro 46: Promedio del poder calorífico del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 87

Cuadro 47: Comparación del promedio del poder calorífico del carbón de especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 87

Cuadro 48: Promedio del poder calorífico del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 88

Cuadro 49: Comparación del promedio del poder calorífico del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 88

Cuadro 50: Balance de materia de la madera al ser carbonizada de la especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco). 90

Cuadro 51: Participación porcentual de los costos de producción de carbón (%) en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 93

Cuadro 52: Participación porcentual de los costos de producción de carbón (%) por horno tipo artesanal y horno tipo colmena de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco). 94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipo de horno artesanal cubierta de aserrín lista para la carbonización. 39

Figura 2: Puerta de horno tipo colmena en proceso de carga. 40

Figura 3: Chimeneas controladores y verificadores de la carbonización en hornos tipo colmena. 41

Figura 4: Ventanas de ingreso de aire y salida de gases por carbonización en hornos tipo colmena. 42

Figura 5: Armado de piezas de madera para formar un horno tipo artesanal. 45

Figura 6: Tapado con aserrín de un horno tipo artesanal. 45

Figura 7: Encendido de un horno tipo artesanal. 46

Figura 8: Proceso de carbonización de un horno tipo artesanal. 46

Figura 9: Proceso de apagado y enfriado de un horno tipo artesanal. 47

Figura 10: Proceso de cosecha, ensacado, pesado y almacenado de un horno tipo artesanal. 48

Figura 11: Resanado del horno tipo colmena. 49

Figura 12: Cargado del horno tipo colmena. 51

Figura 13: Cargado estibado del horno tipo colmena finalizado. 51

Figura 14: Encendido del horno tipo colmena. 52

Figura 15: Carbonización del horno tipo colmena. 52

Figura 16: Apagado y enfriado del horno tipo colmena. 53

Figura 17: Cosecha del carbón del horno tipo colmena. 54

Figura 18: Ensacado y pesado del carbón del horno tipo colmena. 55

Figura 19: Almacenado de carbón del horno tipo colmena. 55

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Promedio del rendimiento del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena 62

Gráfico 2: Promedio de la densidad del carbón (g/cm3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 66

Gráfico 3: Promedio del contenido de humedad del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena 70

Gráfico 4: Promedio de la materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 74

Gráfico 5: Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 78

Gráfico 6: Promedio del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 82

Gráfico 7: Promedio del poder calorífico del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 86

Gráfico 8: Promedio de los productos finales de la carbonización (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena. 91

ANEXOS

Anexo 1: Rendimiento del carbón

Anexo 2: Contenido de humedad del carbón

Anexo 3: Densidad del carbón

Anexo 4: Contenido de material volátil del carbón

Anexo 5: Contenido de cenizas del carbón

Anexo 6: Contenido de carbono fijo del carbón

Anexo 7: Contenido de poder calorífico del carbón

Anexo 08: Costos de producción de carbón Shi-HTC

Anexo 09: Costos de producción de carbón Az-HTC

Anexo 10: Costos de producción de carbón Shi-HTAr.

Anexo 11: Costos de producción de carbón Az-HTAr.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ha realizado en los sistemas de producción tipo colmena y artesanal de carbón situados en el área de carbonización de la Empresa Forestal Rio Piedras SAC, ubicada en el Km. 1.800 de la carretera a la cachuela de la provincia de Tambopata, región de Madre de Dios, margen derecho y ubicado en las coordenadas geográficas: 69º 11' 00" de Longitud Oeste, 12º 36' 00" de Latitud Sur y a la altitud de 139 m.s.n.m.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) determinar el rendimiento de la producción de carbón vegetal de las especies *Dypterix odorata* (shihuahuaco) e *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en las cámaras del horno artesanal y tipo colmena brasilero; 2) evaluar el tiempo de carbonización en cada uno de los sistemas de producción de las dos especies forestales; 3) determinar los análisis físico-químicos de las especies forestales; 4) determinar el poder calorífico por especie y tipo de horno y 5) determinar el análisis de costo de producción del carbón vegetal de las especies *Dypterix odorata* (shihuahuaco) e *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en las cámaras del horno artesanal y tipo colmena brasilero.

La materia prima de la carbonización fueron desperdicios resultantes de la primera línea de aserrío, línea de recuperación (reaserradoras) y mesas de recuperación, cuyo tamaño de muestra fue 31.76 toneladas, con 09 ensayos de 3.53 toneladas cada una, obteniéndose los siguientes resultados: rendimiento del carbón de la especie *Dypterix odorata* (shihuahuaco) en el horno tipo artesanal fue 31.68 % y en el horno tipo colmena fue 34.12 %; en la especie *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en el horno tipo artesanal fue 22.42 % y en el horno tipo colmena fue 24.67 %.El tiempo de carbonización en el horno tipo artesanal fue 32 días y en el horno tipo colmena fue 16 días.

El poder calorífico del carbón de la especie *Dypterix odorata* (shihuahuaco) en el horno tipo artesanal fue 7,512.49 Kcal/kg y en el horno tipo colmena fue 7,671.37 Kcal/kg; en la especie *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en el horno tipo artesanal fue 6,524.16 Kcal/kg y en el horno tipo colmena fue 7,374.56 Kcal/kg.

Palabras claves: Rendimiento en carbón, costos de producción, tiempo de carbonización, poder calorífico, horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

ABSTRACT

This research was conducted in production systems and artisan beehive coal located in the area of Forest Enterprise carbonization of Rio Piedras SAC, located at Km. 1,800 cachuela the road to the province of Tambopata region of Madre de Dios, right margin and located in the geographical coordinates: 69 ° 11 '00 "W, 12 ° 36' 00" south latitude and altitude of 139 m

The objectives of this study were 1) to determine the performance of charcoal production Dypterix species odorata (shihuahuaco) and Hymenaea courbaril var (huayo sugar) in the chambers of handicraft and Brazilian beehive type furnace ; 2) assessing the time of carbonization in each of the production systems of the two forest crops; 3) determine the physical and chemical analysis of forest species ; 4) determine the calorific value by species and type of oven and 5) determine the production cost analysis charcoal species Dypterix odorata (shihuahuaco) and Hymenaea courbaril var (huayo sugar) in the chambers of craft and beehive oven Brazilian.

The raw material carbonization were waste resulting from the first line of sawmill, recovery line (reaserradoras) and recovery tables, whose sample size was 35.76 tons, 3.53 tons 09 trials each, with the following results: performance Carbon Dypterix species odorata (shihuahuaco) in the oven artisan was 31.68% and the type beehive kiln was 34.12%; in the species Hymenaea courbaril var (huayo sugar) in the artisanal oven was 22.42% and the type beehive kiln was 24.67% .The time of carbonization in the artisan furnace was 32 days and the type beehive kiln was 16 days. The calorific value of coal Dypterix species odorata (shihuahuaco) in the oven artisan was 7512.49 Kcal / kg and type beehive kiln was 7671.37 Kcal / kg; in the species Hymenaea courbaril var (huayo sugar) in the oven artisan was 6524.16 Kcal / kg and type beehive kiln was 7374.56 Kcal / kg.

Keywords: Performance in coal production costs, carbonization time, calorific value, type and oven baked artisan beehive.

INTRODUCCION

Se conoce que la ciudades ubicadas en las regiones donde existan bosques tiene la tendencia al desarrollo industrial maderero donde se realiza el aprovechamiento industrializado, realizándose cambios como es el desarrollo socio-económico de la población, instalándose industrias madereras dedicadas a la transformación primaria de la madera, transformándose enormes volúmenes de madera (madera rolliza) a productos terminados, pero este proceso con lleva a una producción enorme de residuos de madera que no son aprovechados y supuestamente no poseen un valor agregado como producto y son almacenados en grandes montículos, apoderándose de grandes áreas de almacenamiento y con tendencia a causar accidentes por la sobre saturación de esto residuos en las industrias . Se estima que le sesenta por ciento de toda la madera extraída anualmente en el mundo (cerca de 1,600 millones de metros cúbicos), se quema a modo de combustible, ya sea directamente, o transformándola en carbón vegetal. La proporción de leña utilizada para la fabricación de carbón vegetal, puede estimarse, alrededor del veinticinco por ciento de la cantidad arriba mencionada, o sea cerca de cuatrocientos millones de metros cúbicos por año FAO (1983).

La madera, componente principal de la biomasa forestal, históricamente ha contribuido a satisfacer las necesidades prioritarias de la humanidad. En la actualidad, debido a que los combustibles fósiles se van agotando, la madera como biocombustible recobra importancia y se vislumbra como alternativa de uso energético. Este potencial de energía demanda el desarrollo de estudios que permitan aprovechar la biomasa forestal maderable, sin dejar de lado el uso racional y sostenido de este recurso valioso. Así, una forma de uso es el carbón vegetal, producto de la combustión incompleta de la madera, que es utilizado como fuente de energía en algunas industrias. Su uso apropiado implica conocer las características físico-químicas que, como es obvio, dependen de las características originales de la madera Rivera (1987).

El carbón vegetal, en los países en desarrollo, se usa principalmente como combustible doméstico, para cocinar y calefacción, pero es también un importante combustible industrial. Grandes cantidades se emplean en fundiciones y forjas; en la extracción y refinado de metales especialmente de hierro, y en otras numerosas aplicaciones metalúrgicas y químicas. Para los países en vía de desarrollo, abundantemente dotados de bosques, la exportación de carbón vegetal puede ser una industria provechosa, FAO (1983).

La producción de carbón vegetal, en el Departamento de Madre de Dios, representa una de las mejores opciones para contribuir al crecimiento y desarrollo socio económico del porcentaje de población desempleada, evitando así la migración a otras ciudades en busca de oportunidades de trabajo. Además con esto contribuimos a minimizar el crecimiento de los residuos en las industrias madereras, con métodos de producción eficientes y que beneficien los aspectos medio ambientales en las zonas donde se producen quemas de estos residuos por el industrial tratando de eliminarlos. Pero no se tiene estudios que contribuyan a cuantificar la cantidad de carbón producida a partir de una cierta cantidad de residuos de madera. Este vacío contribuye a que los productores de carbón no planifiquen sus producciones o de lo contrario produzcan carbón de mala calidad, el cual repercute en sus ingresos económicos y en su bienestar social, ESFAL (2004).

Por lo expuesto, el presente estudio tiene por objetivos: 1) determinar el rendimiento de la producción de carbón vegetal de las especies *Dypterix odorata* (shihuahuaco) e *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en las cámaras del horno artesanal y tipo colmena brasilero; 2) evaluar el tiempo de carbonización en cada uno de los sistemas de producción de las dos especies forestales; 3) determinar los análisis físico-químicos de las especies forestales; 4) determinar el poder calorífico por especie y tipo de horno y 5) determinar el análisis de costo de producción del carbón vegetal de las especies *Dypterix odorata* (shihuahuaco) e *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo) en las cámaras del horno artesanal y tipo colmena brasilero.

CAPITULO I:

MARCO TEORICO

1.1 Características generales de la especie *Hymenaea courbaril var* (azúcar huayo)

Chavesta (1966) describe a este género como sigue:

A. Distribución y hábitat

En el Perú se encuentra en los departamentos de Loreto (Iquitos), Ucayali (Pucallpa), Huánuco (Tingo María, Iparía) y Madre de Dios. Especie ampliamente distribuida en las formaciones ecológicas de bosques húmedos tropicales, bosques muy húmedos sub tropicales y menos frecuente en bosques seco tropical de nuestra amazonia. Asociada con **Aniba** sp, **Ocotea** sp, **Schizolobium** sp, **Eschweilera** sp, **Lecythis** sp, y otras.

B. Descripción del árbol

Fuste recto, cilíndrico, altura total de 40m y comercial de 31m; DAP de 0.60m, ramifica en los extremos del árbol formando copa redonda abierta, con pequeñas aletas basales. Corteza marrón oscura, con lenticelas, textura compacta y secreción amarillo pálido.

C. Descripción de la madera

- **Características generales**

En condición seca al aire, la albura es de color crema y el duramen de color rojo. Anillos de crecimiento diferenciados por líneas claras. Grano entrecruzado. Textura media. Brillo ausente. Veteado en arcos superpuestos. Medula fija y excéntrica.

- **Descripción macroscópica**

Poros: Madera de porosidad difusa. Poros visibles con lupa de 10x, solitarios y múltiples radicales de forma redonda y ovalada.

Parénquima: Visible con lupa de 10x, del tipo paratraqueal aliforme y marginal.

Radios: Visibles con lupa de 10x. No estratificados.

- **Descripción microscópica**

  Poros: Muy pocos, en promedio 3 poros por mm^2. Diámetro tangencial mediano, en promedio 171u. Platina de perforación horizontal con perforación simple y punteando intervascular cribiforme.

  Parénquima: Del tipo paratraqueal aliforme y marginal. Presencia de células oleosas asociadas al parénquima longitudinal.

  Radios: Homogéneos, multiseriados. En promedio 4/mm. Altura promedio de 420u.

D. Propiedades físicas

La madera de azúcar huayo tiene una densidad básica de 0.80. La contracción volumétrica es de 12.27%, la contracción tangencial de 10.36% y la radial de 5.63%; la relación de contracción: T/R=1.8. Lo que indica que es una madera estable y de buen comportamiento al secado.

E. Propiedades mecánicas

Los valores de resistencia mecánica son generalmente altos para las diferentes propiedades, las que están acorde con su densidad.

F. Propiedades de durabilidad y preservación

Es una madera muy resistente al ataque de hongos xilófagos, en cambio es poco resistente al ataque de termitas. En la preservación a presión (célula llena) con sales; la albura tiene una absorción alta y es fácilmente penetrable (total regular), en cambio el duramen es poco permeable a las soluciones persevantes.

G. Usos

Pisos (parquet), construcciones pesadas, construcción de barcos (estructuras de pisos y quilla), chapas decorativas y piezas torneadas.

1.2 Características generales de la especie *Dypterix odorata* (shihuahuaco)

Chavesta (1966) describe a este género como sigue:

A. Distribución y hábitat

Se encuentra en los departamentos de Loreto (Yurimaguas e Iquitos), Huánuco (Tingo María y Bosque Nacional de Iparia), Madre de Dios y Ucayali; en altitud entre 0 a 500 msnm. Sobre suelos inundados, generalmente asociado con ***Eschweilera timbuchensis***, ***Protium*** sp, ***Sterculia*** sp, ***Chorisia integrifolia***, ***Guarea*** sp y otros.

B. Descripción del árbol

Fuste cilíndrico, altura total de 25m y comercial de 13m; DAP 0.90m. Ramifica en la parte terminal conformado una copa abierta, amplia y redondeada. Presenta aletas basales pequeñas y gruesas. Corteza parda oscura, de textura compacta y con un espesor de 15 mm; profundamente fisurada a lo largo del fuste formando surcos paralelos. Segrega látex de consistencia lechosa y de sabor dulce.

C. Descripción de la madera

- **Características generales**

Albura de color crema, ocupa el 21% de la sección transversal; duramen de color rojo a marrón. Seco al aire se mantiene la coloración con pequeña variación en la zona de transición entre la albura y el duramen, a manera de manchas oscuras. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras y regulares, en promedio 8 anillos en 2.5 cm. Presenta grano entrecruzado. Textura media. Brillo medio. Olor y sabor no distintivos. Veteado, en arcos superpuestos y bandas paralelas.

- **Descripción macroscópica**

Poros: Madera de porosidad difusa. Poros visibles a simple vista, solitarios y escasos múltiples radiales.

Parénquima: Visible con lupa de 10x, del tipo paratraqueal vasicentrico y aliforme.

Radios: Visibles con lupa de 10x. Estratificados.

- **Descripción microscópica**

Poros: Pocos, en promedio 5 poros por mm^2. Diámetro tangencial mediano, en promedio 114u. Platina de perforación simple.

Parénquima: Del tipo paratraqueal vasicentrico y aliforme.

***Radios*:** Homogéneos. Muy numerosos, en promedio 11/mm. Altura promedio de 239u, exclusivamente uniseriados.

D. Propiedades físicas

La madera es muy pesada, tiene una densidad básica de 0.87. La contracción volumétrica es de 15%, la contracción tangencial de 9.1% y la radial de 5.5%; la relación de contracción: T/R=1.6. Lo que indica que es una madera muy estable y de buen comportamiento al secado.

E. Propiedades mecánicas

La madera de shihuahuaco tiene valores muy altos en sus propiedades mecánicas las que están acorde con su alta densidad.

F. Propiedades de durabilidad y preservación

La madera de esta especie en ensayos de laboratorio, ha demostrado ser de alta resistencia al ataque de hongos xilófagos, así como de los termites. De secado natural lento y de buen comportamiento al secado artificial con programa suave.

G. Propiedades de trabajabilidad y preservación

Es una madera de aserrío difícil, por lo que se recomienda estelitar las sierras para procesar la madera.

En tratamiento con creosota, utilizando durmientes ferroviarios, alcanzo un promedio de absorción de 16Kg/m3, lo que permite afirmar que esta madera puede ser considerada impermeable o de muy baja permeabilidad a las soluciones persevantes.

H. Usos

Construcción civil (vigas, columnas), postes, durmientes, parquet, machihembrados, construcción naval, carrocerías y mangos de herramientas.

1.3 Estudios realizados sobre carbonización

FAO (1983) encontró lo siguiente:

Por lo general todas las especies de madera pueden ser carbonizadas para producir carbón vegetal utilizable. Hay una variación en el contenido de cenizas en diferentes maderas, pero por lo general esto no es significativo. La corteza, sin embargo tiene un contenido de ceniza alto, inaceptable y la estructura del carbón vegetal de corteza es demasiado friable como para que pueda ser útil en la mayoría de sus utilizaciones. La corteza, por lo tanto, no debería ser usada en lo posible, o la cantidad de corteza que se carga con la madera debe ser mínima.

Así mismo indica que, para carbonizar troncos de gran diámetro y cargas de madera de tamaños mezclados, son mejores los hornos lentos, siendo óptimo el método de la fosa. Entre los hornos de mampostería, los mejores son los hornos más grandes, representando un método bien demostrado para carbonizar madera densa, de gran diámetro (alrededor de 0,5 m) de bosques naturales. Los problemas de la carbonización pueden reducirse, colocando los bloques de gran diámetro en el centro de la carga. Los hornos metálicos, que pierden mucho calor por las paredes y se enfrían rápidamente, son inefectivos para carbonizar la madera de gran sección.

Según Earl (1975), a medida que aumentan los costos del combustible, del obrero y del capital, el costo de recortar la madera es grave y creciente, favoreciendo el uso de las fosas de tierra, de parvas y hornos en ladrillo. Es también, por lo general, más fácil y más rápido cargar los hornos con madera de grandes dimensiones, especialmente si sus longitudes corresponden a los tamaños de la carbonera, de fosa o de parva. Merece estudiarse con cuidado las relaciones entre el cultivo, la corta, el secado y el cargado del horno para decidir sobre las dimensiones óptimas de la madera, sea longitud que diámetro, para reducir al mínimo los costos globales del manipuleo y carbonización, y obtener carbón vegetal con propiedades óptimas para su uso final.

Así mismo indica que, los habitantes rurales pobres, que no pueden adquirir sierras ni hachas, convierten a menudo la madera de gran diámetro en carbón vegetal, para poder quebrarlo para su empleo en sus fogones de cocina. Hay muchos motivos prácticos para recomendarlo si se comparan la eficiencia relativa de la conversión de la madera en carbón vegetal y la eficiencia de combustión en fuegos de cocina para la leña y para el carbón vegetal. Además, el carbón vegetal es seco y puede ser almacenado indefinidamente, sin que se eche a perder. Los cálculos demuestran que la carbonización de la madera de gran diámetro y el quemado del carbón vegetal es técnicamente alrededor de dos veces más eficiente que el quemado directo de la madera en un fogón de cocina abierto. Además, sin hachas o sierras o cuñas, la madera de gran diámetro no se emplea y puede pudrirse antes de que se pueda quemar.

1.4 Carbonización.

Olade/Cetec (1983), mencionan que la carbonización de la madera consiste en la transformación en carbón por la acción del calor y en presencia de cantidades controladas de oxígeno. Durante el proceso se desprenden vapor de agua, líquidos orgánicos y gases no condensables, quedando como residuo sólido el carbón.

Briane y Doat (1985), aseguran que la carbonización es un proceso de descomposición térmica en condiciones controladas, donde son volatilizados los gases y líquidos, quedando como residuo sólido el carbón vegetal.

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

1.4.1 Fases de la carbonización.

Browne citado por Beall (1970), ha dividido el proceso de la pirolisis en cuatro zonas o grados de temperaturas, todos los cuales se pueden presentar simultáneamente en la madera de apreciable dureza:

Zona A. Debajo de 200 °C, en la cual solamente se produce gases no condensables: Vapor de agua con trazos de dióxido de carbono, ácido fórmico y acético.

Zona B. Desde 200 °C a 280 °C, en la cual se producen los mismos gases de la zona A, pero con una cantidad mucho más reducida de vapor de agua y algo de carbono; en esta zona las reacciones son endotérmicas y los productos son casi íntegramente inflamables.

Zona C. De 280 °C a 500 °C, en la cual la pirolisis activa tiene lugar bajo condiciones que producen reacciones secundarias entre los productos. Los productos son ampliamente combustibles (monóxido de carbono, metano).

Zona D. Sobre 500 °C, en la cual el residuo consiste principalmente de carbón de leña, el cual constituye un substrato extremadamente activo para posteriores reacciones secundarias.

Martins (1980) y Cals (1982), sostienen que en el proceso de conversión por carbonización, la hemicelulosa que es el componente menos estable se descompone entre 225 °C y 325 °C; la celulosa entre 325 y 375 °C y la lignina que es la más estable se descompone gradualmente entre 200 y 500 °C.

Flugge (1960), señala que en la destilación seca de la madera realizada en una retorta, es decir el calentamiento de la madera en recinto cerrado sin acceso de aire, transcurre aproximadamente de la manera siguiente:

a. De 150 °C a 170 °C, eliminación de agua retenida mecánicamente.10

b. De 170 °C a 270 °C, formación de gases (monóxido y dióxido de carbono), formación de algunos vapores condensables que contiene algo de ácido acético y de alcohol metílico y formación de cantidades ínfimas de alquitrán.

c. De 270 °C a 280 °C, inicia la reacción exotérmica, es decir comienzo del proceso espontáneo que produce calor, durante la cual va disminuyendo el desprendimiento de monóxido y dióxido de carbono y llega a su punto culminante la formación de ácido acético, alcohol metílico y alquitrán.

d. De 280 °C a 400 °C, el proceso se completa sin aporte de calor externo. Durante este Período llega al máximo el desprendimiento de los hidrocarburos, mientras sigue siendo todavía muy escasa la formación de hidrógeno.

Según Batista *et al.* (1983), el comportamiento de la madera durante el proceso de carbonización, puede ser representado por la sumatoria de los comportamientos aislados de sus tres componentes principales: Celulosa, Hemicelulosa y Lignina. Además aseveran que existe una interacción si estos componentes están juntos, pero los efectos algunas veces pueden ser considerados casi despreciables, por lo que el estudio de cada separadamente, puede representar una buena aproximación del fenómeno como un todo.

Batista *et al.* (1983), haciendo un análisis por separado del comportamiento de cada uno de los principales componentes señalan lo siguiente:

a. La degradación de la celulosa se produce rápidamente en un corto intervalo de temperatura, provocando drásticos cambios en su comportamiento y perdiendo cerca del 77 % de su peso.

b. La Hemicelulosa es el componente menos estable debido a su naturaleza amorfa; comienza a degradarse a una temperatura próxima a los 225 °C, perdiendo peso continuamente por acción del calor y su degradación es casi completa a la temperatura de 325 °C.10

c. La lignina comienza a degradarse a partir de los 150 °C, al contrario del comportamiento de la celulosa y la hemicelulosa, la degradación de ésta es

más lenta, perdiendo peso a una temperatura superior a los 500 °C, dando como resultado un residuo carbonoso. La pérdida de peso final experimentada por la lignina es mucho menor que la de otras dos componentes de la madera.

Briane y Doat (1985) sostienen que la composición del carbón depende de la técnica de carbonización y, en particular, de la temperatura aplicada y la duración del recocido. Además señala que el carbón está principalmente constituido por carbono acompañado de materias minerales de la madera y compuestos volátiles en cantidades más menos importantes que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Además menciona que las materias minerales del carbón de madera son aquellas que existen en la madera inicial, subsistiendo en su totalidad en el carbón resultante. A causa del rendimiento de la carbonización, su porcentaje en el carbón es el triple o cuádruple que el de la madera. Las cenizas del carbón contienen sílice, fierro, calcio metales alcalinos, algunas veces fósforo, un poco de nitrógeno y en general un poco de azufre, la presencia de altos elementos depende de la naturaleza del árbol o del suelo.

Ullman (1958) expone que cuando la carbonización se realiza en retorta se obtienen carbones rojos entre 250 y 350 °C; a 250 °C se obtienen los carbones rojos con un contenido de 70% de carbono y 5% de hidrógeno; si los carbones no deben desprender olor al arder, deben carbonizarse por lo menos hasta los 350 °C a más de 400 °C se obtienen los carbones llamados de retorta, con un contenido de 80.8% de carbono; 3.8% de hidrógeno y 15.4% de oxígeno, estos carbones se caracterizan por que son sonoros y negros y su calor de combustión es de 7800 Kcal. Si la destilación de la madera prosigue hasta 500 °C, se obtienen los carbones de muela, cuya composición media es aproximadamente 89.7% de carbono, 2.8% de hidrógeno y 7.5% de oxígeno.
Los carbones de muela se asemejan a la antracita, mientras que el carbón de retorta es semejante a la hulla, aunque la hulla es más rica en hidrógeno. El mismo autor, considera que el rendimiento de carbón de madera en peso y la

proporción de carbono contenido en ella, depende de la temperatura final de carbonización.

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

Cuadro 1. Variación de la composición del carbón y rendimiento en función de la temperatura de carbonización.

Temperatura de carbonización ° C	Análisis químico Inmediato		Rendimiento carbón (%)base madera seca
	C. Fijo	M. Volátiles	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

Fuente: Martins, 1980

FAO (1983) señala la materia volátil comprende todos esos residuos líquidos y alquitrinosos que no fueron eliminados completamente. El contenido de cenizas en el carbón depende de la especie de la madera, la cantidad de corteza incluida con la madera en horno y cantidad de contaminación con la tierra y arena.

Esta misma fuente presenta para el carbón vegetal la siguiente composición química:

Cuadro 2: Composición química del carbón vegetal.

Componentes	Rango
Cenizas	0.5 - 5
Materia volátiles	5 - 40
Carbono fijo	50 - 96

Fuente: FAO, 1983

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

Cuadro 3. Composición química del carbón Vegetal

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

Fuente: Burrel, 1980

Remigio (1983), en su estudio encuentra un rendimiento en peso promedio de carbón entre 27.47% y 32.89% y el rendimiento en volumen varía de 40.20% a 53.80% además, establece una correlación (r) de 0.62 entre el rendimiento de carbón y la densidad básica de las maderas estudiadas.

Brito *et al* (1984), estudiaron el comportamiento de las maderas de 14 especies de *Eucalyptus* el proceso de destilación seca con temperaturas máximas de 450 °C obteniéndose los siguientes rendimiento carbón 30% a 39.4%, gases condensables 39.4% a 50.4% y gases no condensables de 18% a 26.7%.

Meder (1985), estudió el rendimiento del carbón vegetal y cuantificación del líquido piroleñoso de las especies *Lecythis peruviana* L. Williams; *Miconia poeppegu triana* procedentes del bosque del centro de investigación y enseñanza forestal. Puerto Almendras (CIEFOR), Loreto; se ensayó, temperaturas de destilación seca de 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C; reportando los siguientes resultados:

Cuadro 4. Rendimiento en porcentaje de carbón y de líquido piroleñoso con dos especies forestales.

Especies	Temp. (°C)	Sin Corteza		Con Corteza	
		Carbón (%)	Líquido Piroleñoso	Carbón (%)	Líquido Piroleñoso
Machimango blanco	300	23.25	41.86	38.87	51.83
	350	32.10	58.86	32.23	61.46
	400	29.67	62.00	27.07	52.46
	450	27.50	61.16	26.90	52.53
	500	29.97	55.00	28.33	51.50
Rifari	300	31.23	49.83	28.34	35.20
	350	29.77	54.86	26.40	51.56
	400	23.60	55.23	26.17	54.36
	450	24.13	55.20	25.87	56.36
	500	25.10	55.03	26.05	54.70

Fuente: Meder, 1985

Ferreira, de Almeida y Rocha (1985) carbonizaron *Eucaliptos grandis* W. Hill ex – Maiden, en horno eléctrico de laboratorio, encontrando los siguientes resultados:

Cuadro 5: Rendimiento gravimétrico de carbón, alquitrán, ácido piroleñoso y gases no condensables en relación a madera seca.

Tratamiento (°C)	Carbón (%)	Alquitrán (%)	Ácido piroleñoso (%)	Gases no condensables (%)
300	44.49	2.92	20.06	32.53
375	36.42	3.55	18.27	41.77
450	32.79	3.81	13.77	49.63
525	30.05	3.49	14.85	51.61
600	28.63	4.39	14.97	52.01

Fuente: Ferreira, De Almeida y Rocha (1985)

Morí (1994) investigó sobre influencia de la temperatura en los productos de destilación seca de seis maderas, concluye que el mayor rendimiento de carbón se obtiene en *Maquira coreaceae* (capinuri de bajo) y *Bombax munguuba* (punga); liquido piroleñoso en la especie *Anaueria sp* (añuje noena) y *Guatteria hyposeriacea* (carahuasca); alquitrán solubles en añuje noena y *Virola albidiflora* (aguano cumala); alquitrán insolubles en añuje moena y carahuasca, la mayor concentración volumétrico de madera a carbón fue en capinuri de bajo y carahuasca. El rendimiento del carbón decrece significativamente con un aumento de temperatura.

Sobre las propiedades físicas del carbón vegetal Kollman (1960) indica que la densidad aparente del carbón depende principalmente de la estructura anatómica de la madera original y es consecuencia del volumen de los poros; el peso específico del carbón oscila entre 0.25 – 0.40 g/cm^3, correspondiendo los valores más altos alas maderas duras.

Briane y Doat (1985) describen las siguientes características para el carbón de madera:

- Masa especifica puede variar de 0.2 a 0.6 t/m^3 está fuertemente correlacionado con las propiedades de la madera inicial, es así que una madera densa dará un carbón denso y una madera ligera, un carbón ligero. La pérdida en masa (70 – 75 %) es, en efecto un peso compensado por la contracción registrada durante la

carbonización, contracción que conserva sin embargo en el carbón la estructura del material.

- Tanto el poder calorífico del carbón de madera como el contenido de carbono fijo dependen básicamente de la temperatura de carbonización. El poder calorífico superior del carbón puede variar de 6500 a 8000 Kcal/ Kg.

Earl (1975) establece las siguientes características físicas para el carbón de madera:

✓Peso específico.....0.2 – 0.5
✓Peso específico real.....1.3 – 1.5
✓Valor calorífico.....7.1 Kcal/g
✓Estabilidad.....Inerte si se condiciona durante 24 horas
✓Dureza .....variable según densidad de la madera

Remigio (1983) en su estudio de carbón procedente de cuatro maderas del Perú, Licania elata (apacharama), Eschweilera equitoensis (machimango colorado), Guarea trichilioides (requia colorada), Eucalyptus globulus del valle del Mantaro, determino las características físicas siguientes:

✓Densidad aparente .....0.34 – 0.55 g/cm^3
✓Poder calorífico superior.....8000 – 8665 Kcal /kg

Vicente (2006) encontró en su investigación sobre el efecto de la temperatura de carbonización en el rendimiento y análisis del carbón obtenido a partir del aserrín de tres especies forestales concluye, que el rendimiento promedio en carbón de aserrín de Manilkara sp (quinilla colorada), Dypterix odorata , (shihuahuaco) y aguano masha tiene una relación inversa con respecto a la temperatura de carbonización, el mayor rendimiento se obtiene cuando la temperatura de carbonización es de 350 °C, siendo la de quinilla colorada de 35.65 %; el de shihuahuaco de 38.77 % y el de Aguano masha de 41.76 %; mientras que el menor rendimiento se obtiene cuando la temperatura de carbonización es de 550 °C , siendo la de quinilla colorada de 19.60 %, shihuahuaco de 30.42 % y del aguano masha 31.72 %.

Burrel (1980) indica que la calidad del carbón a ser obtenida depende de:
Especies de la madera
Densidades de la madera
Método de carbonización
Tiempo de carbonización

La especie de la madera es muy importante porque la densidad del carbón esta en relación con la densidad de la madera. Para altos hornos es deseable un elevado peso a granel del carbón (Kg. de carbón/ m^3) porque permite introducir más carbono al volumen útil del horno.

Las dimensiones de la madera influyen mucho en la calidad del carbón. La madera en pedazos pequeños produce carbón más duro y más denso que la madera en pedazos grandes porque tiene menos tendencias a detonar durante la carbonización y las grietas producidas por la contracción son menos numerosas

El método de carbonización influye en el tamaño del carbón producido. La carbonización lenta quiebra menos el carbón que en los métodos rápidos. Los grandes hornos continuos deben, por eso ser cargados con maderas de menores dimensiones.

La temperatura de carbonización también influye en el peso por metro cúbico y en el porcentaje del carbono fijo del carbón obtenido.

El mismo el autor asevera que de un método general un buen carbón vegetal para altos hornos debe ser:
Físicamente: denso, de granulometría uniforme y suficientemente resistente a la compresión
Químicamente: alto porcentaje de carbono fijo, bajo porcentaje de cenizas.

Aguinelio y Batista (1980), Brito y Barrichelo (1984), FAO (1983) y Martins (1980) existen evidencias donde el contenido de lignina tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del carbón; mientras que los polisacáridos son la principal fuente de productos volátiles.

Batista *et al* (1983) sostiene que en la carbonización en hornos de albañilería, tanto la hemicelulosa como la celulosa contribuyen muy poco en la formación de carbón.

Uceda (1980), sostiene que el poder calorífico superior de las distintas maderas es similar. Las maderas que tienen resinas o aceites poseen mayor poder calorífico. En un estudio de 20 maderas latífoliadas peruanas determinó un poder calorífico superior (PCS) entre 4,885 Kcal/kg.

Kollman (1960), menciona que la madera de coníferas resinosas tienen un PCS de 5,000 a 5,300 Kcal/kg.

GIT (1984), determinó que la antracita tiene 7,100 Kcal/kg; el carbón de piedra bituminoso 7,300 Kcal/kg; y el petróleo bruto 10,800 Kcal/Kg. Así mismo menciona que el poder calorífico del Kerosene varía de 11,000 a 11,700 Kcal/Kg; el Butano comercial el poder calorífico inferior (PCI) es 10,938 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (PCS) es 11,867 Kcal/Kg; el Propano comercial su poder calorífico inferior (PCI) es 11,082 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (PCS) es 12,052 Kcal/Kg.

Doat, mencionado por Uceda (1980), en su estudio efectuado con 111 especies de maderas tropicales, encontró un poder calorífico promedio de 4,770 cal/g; así mismo determinó que no existe correlación entre la densidad de la madera y el poder calorífico expresado en cal/g; pero sí encontró una excelente correlación cuando el poder calorífico es expresado en cal/cm^3.

Batista *et. al.* (1983), indican que el poder calorífico del carbón vegetal varía con la temperatura de carbonización, es así que el carbón producido a 500 °C tiene un poder calorífico mayor que el producido a 300 °C y 700 °C, mientras que el de 700 °C tiene un poder calorífico mayor que el de 300 °C.

Remigio (1983), determinó una correlación (r) de 0.84 entre el poder calorífico superior del carbón y lignina más extractivos en alcohol - benceno; asimismo encontró un poder calorífico superior de 8,000 – 8,665 cal/g.

Briane y Doat (1985), sostienen que tanto el poder calorífico del carbón de madera como el contenido de carbono fijo dependen básicamente de la temperatura de carbonización. El poder calorífico superior del carbón puede variar de 6,500 a 8,000 cal/kg.

Earl (1975), en la carbonización realizada determinó un poder calorífico de 7.1 Kcal/kg.

Kollman (1960), sostiene que el poder calorífico del carbón vegetal, es mayor que el de la madera y sus variaciones se deben a la composición química bruta del carbón.

Petroff y Doat (1978), encontraron que el poder calórico superior de los carbones depende de su constitución química, es decir, de los productos volátiles, carbono fijo y cenizas.

Rivera (1987), concluye que entre el poder calorífico superior del carbón y la composición química de la madera no se ha encontrado una relación definida en las maderas estudiadas; así mismo entre las siguientes tendencias:

- Que, el rendimiento, el contenido de materias volátiles y cenizas respecto al poder calorífico superior del carbón, guardan una relación inversa.

- Que, entre el carbono fijo y el poder calorífico superior del carbón guardan una relación directa.

Del mismo modo el autor determinó entre las especies estudiadas que su poder calorífico superior fluctúa entre 7,736.73 y 8,755.6 cal/g; esto permitió agruparlos en tres categorías (A: > 8,500 cal/g; B: 8,000 – 8,500 cal/g; C: < 8,000 cal/g).

1.4.2 Influencia de las características de la madera sobre los métodos de carbonización.

Earl (1975), las características de la madera como materia prima tienen un efecto significativo sobre la elección y el comportamiento del equipo de carbonización. Los tres factores importantes son, las especies, el contenido de humedad y las dimensiones de la madera misma. La velocidad de carbonización se relaciona estrechamente con el tamaño de la madera. Las piezas grandes de madera se carbonizan lentamente, puesto que la transferencia del calor en el interior de la madera es un proceso relativamente lento. El aserrín, por ejemplo, puede ser carbonizado muy rápidamente, pero la carbonilla en polvo, así producida, tiene bajo valor en el mercado. Por otro lado, los troncos de diámetro grande de especies densas se quiebran al carbonizar, dando carbón vegetal más friable del común. Ciertos estudios han mostrado que se produce carbón vegetal con óptimas propiedades para la industria del hierro, con pedazos de madera que miden alrededor de 25-80 mm transversalmente al grano, mientras que la longitud a lo largo del grano tiene poca influencia.

1.5 Tecnología de hornos

1.5.1 Horno tipo colmena brasileño.

Mayer (1978), la industria del carbón vegetal en Brasil, fundamental para la industria siderúrgica por carbón vegetal en ese país, es para dicho producto, en la actualidad, una de las industrias de mayor éxito en el mundo entero, basado sobre la tecnología de carboneras en ladrillo. Todo país que desee ampliar su producción de carbón vegetal sobre criterios válidos, podrá beneficiarse mucho con la experiencia del Brasil. Los hornos que funcionan ampliamente y con éxito en el Brasil, y especialmente en el Estado de Minas Gerais, son del tipo fijo, de calcinación interna y producción en tandas. Las importantes empresas siderúrgicas tienen en funcionamiento varios millares de estos hornos, que son circulares, con techo en cúpula o domo, y construidos con ladrillos comunes. La pared circular está totalmente en contacto con el aire externo. Este tipo de horno se identifica por el nombre de "Horno colmena en ladrillo.

1.5.1.1 Características del horno tipo artesanal o parvas

Según la FAO (1983) menciona lo siguiente:

- La alternativa a excavar una fosa es la de apilar la madera sobre el suelo y cubrir la parva con tierra, aserrín. Este también es un método muy antiguo y se usa ampliamente en muchos países, encontrándose con muchas variaciones al método fundamental. En algunos países se han realizado estudios para mejorar su diseño al máximo. Es notable el trabajo que hace algunos años realizaron los suecos en esta materia. Esencialmente, el proceso es el mismo del de la fosa: la madera que debe ser carbonizada se encierra dentro de un involucro, cámara, impermeable al aire, hecho con tierra, que es un material accesible en cualquier parte donde crece la madera. Se prefiere la parva de tierra a la fosa donde el suelo es rocoso, duro o delgado, o donde la capa freática está cerca de la superficie. En contraposición, la fosa es ideal donde el suelo es bien drenado, profundo y franco. La parva es también más práctica en zonas agrícolas, donde

las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los pueblos u otros emplazamientos permanentes, El sitio de una parva puede ser usado repetidamente, mientras que la tendencia con las fosas es de usarlas pocas veces, para luego abrir otras nuevas para estar detrás del recurso maderero. Así también cuando la capa freática está cerca de la superficie o el drenaje es pobre, las fosas no son prácticas. La continua excavación de fosas interrumpe también los cultivos o los pastoreas. La leña que será carbonizada en una parva puede también ser juntada sin apuro durante un lapso de meses, apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar. Ello va de acuerdo con la manera de vivir de un pequeño agricultor, quien puede juntar pedazos de madera, ramas y trazas y apilarlos con cuidado para formar el montón. Al cabo de algunos meses, según la estación, según los precios del carbón vegetal etc., recubre el montón con tierra y quema el carbón. Genera de esta manera un pequeño ingreso en efectivo, sin tener necesidad de un gasto inicial en moneda.

- El sistema de parvas (artesanales) o de hornos de tierra es versátil. Se adaptan a la producción esporádica en pequeña escala de carbón vegetal y sin embargo también se adaptan para la producción en gran escala. La hoy difunta industria siderúrgica sueca a base de carbón vegetal, produjo en 1940, en esta manera, más del 80%. De su carbón vegetal. El sistema de la parva fue mejorado en Suecia con la investigación, y sus principales mejoras fueron, la optimización del sistema de las corrientes o flujos y el empleo de una chimenea externa para mejorar la circulación del gas. En algunas partes de África se usan sistemas híbridos que contienen elementos de las parvas de tierra y de las fosas. Un montón rectangular de rollizos uniformemente troceados se apila sobre una tejedura de trazas cruzadas, que permite la circulación del gas. El volumen del apilado es generalmente de 5-8 metros cúbicos. El montón acabado viene luego sellado detrás de paredes de tierra hechas comprimiendo la tierra entre la madera apilada cubierta con hojas y una pared de sostén de varas o de tablas, retenidas con estacas. Se cubre la cabecera de la pila con hojas y con tierra, como en los sistemas de carboneras de fosa. Se deja una apertura en la pared lateral para

iniciar la quema, y cuando este fuego ha prendido bien, se cierra la pared en la misma manera con tierra y con tablas. Se abren entradas de aire en la base de la parva y se usan para controlar el ritmo de combustión. Se ha probado de hacer *funcionar* formas modificadas de este sistema en una mayor escala, usando equipos de remoción de tierra. Usando un buldócer se hacen rodar troncos grandes en una excavación no profunda y otras trazas se hacen rodar y amontonar. Se desparrama follaje sobre la pila y se empuja la tierra con el buldócer sobre el cúmulo para tapar la leña El fuego se enciende en uno o más puntos, y cuando está quemando bien, se sellan con tierra estos puntos de encendido. El método da buenos resultados cuando no se producen infiltraciones de aire en la envoltura. En la práctica, son frecuentes los bajos rendimientos de carbón de leña puesto que es difícil obtener una parva con un buen empaque, con grandes trazas rociadas sobre el lugar; la circulación del gas es errática y, como resultado, se tienen grandes cantidades de madera no carbonizada. Es difícil el sellado de las parvas y, en ciertos momentos resulta peligroso para el operador hacer reparaciones, La consecuencia es que las filtraciones de aire no son controladas y el carbón se reduce a cenizas en algunas partes del montón antes que el resto haya sido carbonizado en forma correcta. Un ulterior problema es que, a menos que se manejen bien las operaciones de los equipos pesados de movimiento de tierra con adecuado mantenimiento y repuestos, los costos de operación -tienden a escaparse de mano y toda la operación se vuelve antieconómica. Por regla general, es difícil combinar equipos de elevado costo de inversión con un sistema tecnológicamente primitivo de quema de carbón vegetal, y esperar que la operación resulte beneficiosa en su conjunto, a menos que la calidad de la gestión sea de primera clase. El problema de obtener y mantener, durante todo el período de quema, un sellado efectivo contra el aire, y una buena circulación, son los principales factores que limitan las dimensiones de los sistemas de fosa y parvas. Es difícil ubicar las infiltraciones sobre la cobertura y es difícil de repararlas en las fosas con parvas muy grandes.

- La típica parva para la quema de carbón vegetal del tipo para pueblo o villa, es de alrededor de 4 metros de diámetro en la base y de alrededor de 1 a 1,5 m de altura, aproximadamente un hemisferio aplastado. En la base, se hacen alrededor de seis a diez tomas de aire, y una apertura arriba, de alrededor de 20 cm de diámetro, permite la salida del humo durante la combustión Todas las aperturas deben ser selladas con tierra cuando se ha concluido la quema, permitiendo el enfriamiento del cúmulo. Se limpia un espacio de alrededor de 6 metros, se lo nivela y compacta, debiendo ser bien drenado. A veces se planta un poste de alrededor de 2 m de alto, en lo que será el centro de la pila de leña, para facilitar la acumulación de la madera, para dar estabilidad a la pila y para dar un soporte al operador cuando se tapa el apilado con tierra y se hace el agujero superior para el humo, y luego cuando se enciende la parva. Normalmente se saca el poste antes del encendido para dejar una apertura central a través de todo el montículo. Se coloca antes, sobre el suelo y radialmente, una tejedura de pequeñas trozas cruzadas, para formar un círculo de alrededor de 4 metros de diámetro. Luego se empaca densamente la madera, que debe ser carbonizada sobre esta plataforma, cuya finalidad es que el fuego y los gases calientes circulen correctamente. Las piezas más largas de leña (de hasta 2 metros de largo) se colocan verticalmente hacia la periferia, con el fin de desarrollar un perfil más o menos regular. Los espacios entre las trozas se rellenan con madera chica, para que la parva resulte lo más densa posible. La superficie de la pila se empaca con leña pequeña en lo necesario, para lograr un perfil lo más uniforme posible, y crear un buen soporte para su recubrimiento con tierra. Una buena norma es la de dejar que la madera apilada se seque por un período más largo posible sobre la pila, primero paja, hojas, pasto grosero etc., y luego se recubre esta capa con tierra o arena. Es preferible un suelo arenoso o franco que encoja poco por el secado, debiéndose evitar las arcillas muy plásticas, con una definida tendencia a rajarse y encogerse cuando se secan y calientan carbón fino puede mezclarse con la tierra. El espesor de la cobertura variará seguí la lisura de la pila de madera, pero es típicamente de 10 - 20 cm, El revestimiento deberá ser revisado para sellar todas las rajas y controlar que queden abiertas las bocas de aire en la base del cúmulo. Si es

necesario, se deja que la capa de tierra se seque durante alrededor de un día, pudiéndose luego comenzar el encendido. Se introduce en el agujero superior de la parva una palada de madera y carbón encendidos, que encienden la madera inflamable colocada en la parte superior de la parva, y cuando un humo denso y blanco sale de arriba, significa que el fuego ha tomado. En el curso de días, el humo se vuelve azulado y finalmente se vuelve prácticamente transparente. El tiempo requerido para completar la combustión depende del contenido de humedad de la leña y de la regularidad de la circulación del gas dentro de la parva. El operador debe darse cuenta de la presencia de puntos fríos o calientes sobre las paredes para abrir o cerrar las bocas de aire al pie. En ningún momento debe llegarse a ver calor rojo a través de ellas, y si apareciera, la boca debe ser cerrada. Las rajaduras que pueden formarse sobre el manto, deben ser rellenadas con tierra arenosa suave. Cuando se cree que la quema ha finalizado, deben cerrarse con cuidado la apertura de arriba y todas las entradas de aire en la base, con ladrillos o piedras con arcilla. Si la parva es pequeña, se enfriarán en alrededor de dos a tres días. Una carbonera de tierra puede abrirse una vez que se ha enfriado. Deberán tenerse al alcance alrededor de 100 litros de agua para apagar fuegos eventuales. Ya que no Be espera, normalmente, una gran productividad de las carboneras de tierra, pueden normalmente dejárselas enfriar todo el tiempo necesario, antes de abrirlas. Se separan los pedazos de carbón vegetal completamente quemados, de la carbonilla y de los tizones, y se colocan en canastos o bolsas para la venta, La tierra quemada de la parva se pone a un costado y se vuelve a usar, una vez que se ha estacionado, para revestir otras parvas.

- Los rendimientos en carbón vegetal varían con la habilidad en el quemado, el grado de sequedad de la leña y la impermeabilización de la parva al aire. Una buena práctica refleja rendimientos de 1 ton de carbón vegetal a partir de 4 ton de leña seca al aire, pero es más común el rendimiento de 1 ton por 6 de leña. Este tipo de parvas ha sido modificado, colocando una chimenea central hecha con viejos tambores de petróleo soldados juntos. Las experiencias llevadas a cabo con este sistema modificado, han dado buenos resultados en Senegal. La

chimenea mejora la circulación del gas, reduciendo la cantidad de tizones y acelera la carbonizaci6n. Menos tizones significan mejores rendimientos de carbón vegetal.

1.5.1.2 Características del horno tipo colmena brasileño

Según Mayer (1978), el horno colmena brasileño tiene las siguientes ventajas:

- Los gases pasan a través de la carga de madera. El calor contenido en los gases es usado parcialmente en el proceso de secado de la madera y de la carbonización.
- Rendimientos buenos, de hasta 62% en volumen, o sea, 1,6 estéreos de madera/m3 de carbón vegetal, cuando ha funcionado correctamente.
- Bajo costo, aproximadamente $US 700 (en 1978) incluso vías de acceso camionables.
- Fácil construcción. Dos hombres pueden construir un horno en 8 días.
- Materiales sencillos. 8-500 ladrillos quemados de arcilla con sólo una banda de acero para el domo. Sin basamento de concreto.
- Larga vida útil. Hasta 6 años en el mismo sitio. Puede ser desmantelado sin importantes pérdidas de ladrillos y vuelto a armar en otro sitio.
- Tiempo de carbonizaci6n. de 9 días con una producción de 5 ton/ciclo.
- Carbonización uniforme.
- Enfriamiento uniforme, ya que las paredes están completamente en contacto con el aire externo.
- Programa de funcionamiento corto; alrededor de nueve días. Esta duración podría ser abreviada por enfriamiento forzado con la pulverización fina de agua.
- Control uniforme de la combustión interna, por medio de 18 bocas de aire para la entrada de aire necesario de combustión.
- Manutención fácil y barata, pocas reparaciones, sin rajaduras de paredes, ni electricidad, muy poca agua, aproximadamente 100 litros por horno y por tanda.

Mayer (1978), el carbón fresco, apenas abierto el horno, contiene muy poca humedad, generalmente menos del 1%. La absorción de humedad del aire mismo

es rápida, y gana con el tiempo humedad que, aun sin mojarse con la lluvia, puede llegar a un contenido del 5 al 10%, aun para el carbón vegetal bien quemado. Cuando no se ha quemado correctamente el carbón o cuando los ácidos piroleñosos y alquitranes solubles han sido retomados por el carbón vegetal a causa de la lluvia, como puede suceder en la quema en fosas o parvas (artesanales) aumenta la higroscopicidad del carbón y su contenido de humedad natural o en equilibrio puede subir al 15% o más. Es virtualmente imposible evitar que el carbón vegetal se moje algo, con la lluvia, durante el transporte al mercado, pero el almacenamiento del carbón bajo techo es una buena práctica, aún si se ha adquirido por volumen, puesto que el agua contenida tiene que evaporar en la combustión y representa una pérdida directa de poder calorífico. Esto sucede porque el agua en forma de vapor pasa en el flujo y raramente se condensa liberando su calor contenido, sobre el objeto que se está calentando en el horno. Es evidente que el carbón vegetal con un elevado contenido de humedad (10% o más) tiende a desmenuzarse y produce carbonilla fina cuando se calienta en las fundiciones, lo que no es deseable en la producción de hierro.

1.6 Rendimientos de hornos tipo artesanal y artificial.

Mayer (1978), estos efectos se reflejan sobre el rendimiento en carbón vegetal obtenido a partir de un determinado peso de madera. A bajas temperaturas (300°C) es posible un rendimiento en carbón de casi el 50%, Con temperaturas de carbonización de 500-600°C los volátiles son escasos y son típicos los rendimientos del 30% en la carbonera. Con temperaturas muy altas (alrededor de 1.000°C) el contenido volátil es casi cero y el rendimiento cae a alrededor del 2%. Como se ha dicho anteriormente, el carbón vegetal puede reabsorber los alquitranes y los ácidos piroleñosos con el lavado de la lluvia en los métodos de quema en fosa o similares. Por ello, el carbón vegetal puede ser bien quemado pero, por este motivo, tener un elevado contenido de sustancia volátil. Se produce así una variación adicional en el carbón quemado en fosas, en climas húmedos. Los ácidos reabsorbidos hacen que el carbón se vuelva corrosivo, provocando la

podredumbre de las bolsas de yute, lo que es un problema durante el transporte; y además, no tiene una combustión limpia.

Los hornos industriales para quemar el Carbón vegetal, tales como los altos hornos, cúpulas, hornos de precipitación etc., son por lo general diseñados y hechos funcionar con eficiencia.

1.7 Costos en la producción de carbón

CATIE (1993) en el estudio de análisis financiero de la producción de carbón vegetal determinaron para carboneras de tierra en Costa Rica el costo de producción es de 0.122 dólares por kilogramo de carbón de encino, mientras que para hornos metálicos transportables es de 0.159 dólares por kilogramo.

FAO (1983) menciona que los productores de carbón vegetal pertenecen a dos grupos. En el primero están los productores de subsistencia que venden el carbón vegetal solamente para conseguir dinero en efectivo para comprar bienes de consumo o pagar impuestos, etc. Para este productor interesa poco la economía y el control de costos, puesto que necesita efectivo y la forma de adquirirlo es vendiendo parte de su carbón.

El segundo grupo produce y vende el carbón vegetal como negocio, en el que les preocupa la circulación y crecimiento del capital que han invertido en la actividad, siendo importante para ellos la economía y el control de los costos.

El control de costos de producción se construye alrededor y forma parte de las operaciones de una empresa en producción. Puede realizarse con un conocimiento básico contable, o aun solamente de teneduría de libros. El principal requisito es de usar siempre datos de producción y estadísticos medidos en la planta misma.

El primer paso en el control de costos es el de identificar las operaciones unitarias en la fabricación del carbón vegetal, y decidir sobre un sistema de costos unitarios, que normalmente coinciden con las sub operaciones.

Estas sub operaciones pueden ser usadas para los sub costos, calculándose por lo tanto los costos unitarios para cada una de ellas. Puesto que el costo total de producción es la suma de cada costo unitario, siempre que sean expresados en unidades de medida comunes.

Collazos (2002), expone que los costos representan los valores de los recursos reales o financieros empleados en la producción de bienes y servicios. Esto implica un sinónimo de "sacrificio", ya sea tangible o intangible, económico o financiero, social o individual, absoluto o relativo, etc.

Gaviria (1984), clasifica a los costos de producción en:

1) Costo fijos, compuesto por la depreciación de equipos y maquinarias e instalaciones, interés sobre la inversión y mano de obra.

2) Costos variables, integrado por la materia prima, combustibles y lubricantes, mantenimiento y repuestos.

Mendoza (1986), por su parte, clasifica a los costos en:

1) **Costo Fijo,** integrado por la depreciación y el interés sobre la inversión media anual.

2) Costo Variable, integrado por el costo de la materia prima, mano de obra, combustible, lubricantes, mantenimiento y repuestos.

3) Costos Total, compuesto por el costo fijo más el costo variable.

1.8 Definición de términos básicos.

Balance de materia: El balance de materia es un método matemático utilizado principalmente en Ingeniería Química. Se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante (excluyendo, por supuesto, las reacciones nucleares o atómicas y la materia cuya velocidad se aproxima a la velocidad de la luz). La masa que entra en un sistema debe, por lo tanto, salir del sistema o acumularse dentro de él (Calleja, 1999).

Calidad del carbón: La calidad del carbón vegetal se define según algunas de sus propiedades y, si bien todas en cierto modo están interrelacionadas, se miden y se valúan por separado; el carbón que tiene alto porcentaje de carbono fijo, bajo contenido de materia volátil, bajo en humedad; entonces la calidad del carbón es muy bueno ya que la combustión será limpia (Earl, 1975)

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

Carbono fijo: Teóricamente corresponde a carbono puro presente en el carbón vegetal y se obtiene por diferencia de 100 % a los demás componentes, restando en porcentaje (dependiendo del método de análisis se resta o no el porcentaje de humedad). El porcentaje de carbono fijo varia de 60 % hasta 80 %, dependiendo del método de obtención del carbono, del tiempo y la temperatura máxima del proceso, aunque para obtener un alto % de carbono fijo se recomienda una carbonización lenta con alta temperatura pudiéndose alcanzar un valor de hasta 90 % pero cuando es rápida y a baja temperatura sucede lo contrario. (FAO, 1983).

Carbón vegetal: Residuo que queda después del proceso de hidrólisis o carbonizado en el quemado de madera, dentro de un espacio con la entrada de aire controlado, donde se evita que se queme totalmente la madera y quede reducido a ceniza (SEMARNAT, 2010).

Cenizas: Son substancias minerales presentes en el carbón vegetal, como la arcilla, sílice y óxidos de calcio y de magnesio, etc., presentes en la madera original y recogida, como contaminaciones del suelo, durante el proceso (Gonzáles, et. al, 1990).

Humedad del carbón: Cantidad de agua contenida en el carbón adquirido luego de alcanzar el equilibrio con el medio ambiente, expresado en forma porcentual. La eliminación de la humedad del carbón se logra a temperaturas mayores o iguales a los 100 °C (Gonzáles, et. al, 1990).

Humedad de la madera: Cantidad de agua contenida en los vasos, fibras y pared celular de la madera, es decir es el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo (JUNAC, 1989)

Materias volátiles: La materia volátil del carbón vegetal está compuesto por sustancias alquitranosas, hidrocarburos pesados, y algo de nitrógeno. (Gonzáles, et. al, 1990).

Poder calorífico: El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible (Briane y Doat, 1985).

Poder calorífico superior: Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase. También es llamado poder calórico neto (Cals, 1982)

Rendimiento: Se refiere a la cantidad de carbón que se produce de una determinada cantidad de madera (FAO 1983) a la vez el rendimiento es un parámetro que mide el grado de aprovechamiento de la materia prima.

Temperatura de carbonización: Se refiere a la temperatura a que está expuesta la madera para producir carbón. Las diferentes temperaturas involucradas en la carbonización, producen cambios físicos y químicos en el carbón, este proceso empieza a partir de 280 °C (Briane y Doat 1985)

Tizón: Madera a medio quemar (SEMARNAT, 2010).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se ha realizado en los hornos tipo colmena y artesanal de producción de carbón situados en el área de carbonización de la Empresa Forestal Rio Piedras SAC, ubicada en el Km. 1.8 de la carretera a la cachuela de la provincia de Tambopata, región de Madre de Dios, margen derecho y ubicado a una:

Longitud: 69° 11' 00" oeste

Latitud : 12° 36' 00" sur

Altitud : 139 m.s.n.m

2.2 Método de investigación

En el desarrollo de este estudio se empleó el método experimental, donde se siguió la secuencia de: observación, anotación, tabulación de datos y análisis de los resultados.

2.3 Población y tamaño de muestra

La población estuvo constituida por todas las piezas de la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) existente en el aserradero Forestal Rio Piedras Sac, que no son recuperables en el aserrío, es decir, residuos.

El tamaño de la muestra determinada estadísticamente sería de 3,529.07 kg de madera húmeda, el cual se obtuvo por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{4(CV)^2}{E^2} = \frac{4(26.59)^2}{(1)^2} = 707.47 \text{ kg de carbón}$$

Dónde:

N = tamaño de muestra

CV = 26.59 % = Coeficiente de variación, obtenida por pruebas preliminares de carbonización en los hornos.

E = 1 % = Error de muestreo

Teniendo en consideración un rendimiento promedio del 28.22 % (obtenido por pruebas preliminares en ambos tipos de horno y especies forestales), se tiene que:

$$N = \frac{707.47}{0.2822} = 2{,}506.98 \text{ Kg de madera seca}$$

Teniendo en cuenta que el contenido de humedad de la madera proveniente del aserradero es 30 % aproximadamente, (FAO, 1983), entonces la mínima cantidad de madera a utilizar seria:

N = 2,506.98 + 0.30 (2,506.98) = 3,529.07 kg de residuos de madera de las especies ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) por repetición.

Considerando la capacidad del horno el tamaño de la muestra estuvo constituido aproximadamente de 31.76 toneladas de madera, con esto se realizó 9 ensayos, siendo el promedio de cada ensayo de 3.53 toneladas de madera, que es la capacidad promedio por cada horneada.

2.4 Materiales y equipos

2.4.1 Maderas

Las especies maderables estudiadas fueron las siguientes:

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA	PROCEDENCIA	ESTADO
Shihuahuaco	***Dypterix odorata***	Fabaceae	Madre de Dios	Aserrado
Azúcar huayo	***Hymenaea courbaril var***	Fabaceae	Madre de Dios	Aserrado

2.4.2 Equipos e instrumentos

- Balanza analítica
- Brocha
- Calorímetro o termocupla
- Calculadora electrónica
- Carretillas
- Capsulas de porcelana
- Crisol filtrante No. 2
- Crisoles filtrantes de porosidad media
- Calibrador digital
- Horno tipo artesanal de medidas: 4.00 metros de diámetro x 3.00 metros de altura, con un volumen de 32.98 m^3.
- Horno tipo colmena de medidas: 4.00 metros de diámetro y 2.50 metros de altura, con un volumen de 32.88 m^3, de forma semi-elipsoide.
- Libreta de campo
- Mufla eléctrica
- Motosierra marca sthill 060
- Palas
- Petróleo
- Rastrillos
- Reloj
- Sacos
- Sierra radial
- Tamices
- Wincha

2.5 Métodos y procedimientos

2.5.1 Madera

Las muestras de madera de la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) se obtuvieron de los desperdicios resultantes de la primera línea de aserrío, línea de recuperación (reaserradoras) y mesas de recuperación de la empresa Forestal Rio Piedras Sac.

2.5.2 Procedimiento de recolección de datos:

2.5.2.1 Características de los hornos tipo artesanales

- Estos hornos estaban constituidos por pedazos de madera, que fueron apiladas de forma sucesiva, una tras otra, presentaban la forma de un cono o cúpula. Estas medidas variaban dependiendo la cantidad de materia prima que se obtenía. Las medidas más comerciales son 4.00 metros de diámetro y 3.00 metros de altura, con un volumen de 32.98 m^3.
- Estos hornos estaban conformados por orificios o ventilas de 10 x 10 cm, cantidad 08, esto con el objetivo de que ingresara el aire a la parte inferior (base del horno), también de una mecha interna donde se iniciaba la combustión y quema, de adentro hacia afuera, que fueron cerradas o tapadas dependiendo de la necesidad de aire interiormente.
- Se les cubría con aserrín húmedo, como protección hermética, para que la carbonización se realizara en su totalidad (Figura 1).



Figura 1. Tipo de horno artesanal cubierta de aserrín lista para la carbonización.

2.5.2.2 Características de los hornos tipo colmena

- Estos hornos estaban fabricados por ladrillos y arcilla, con una forma semi-elipsoide, cuyas bases son de 4 metros de diámetro y 2.50 metros de altura, con un volumen de carga de 32.88 m^3.

- Además estaban conformados por una puerta de alimentación (madera) y descarga (carbón), de forma ojival de 1.70 metros de altura y 0.80 metros de ancho (Figura 2).

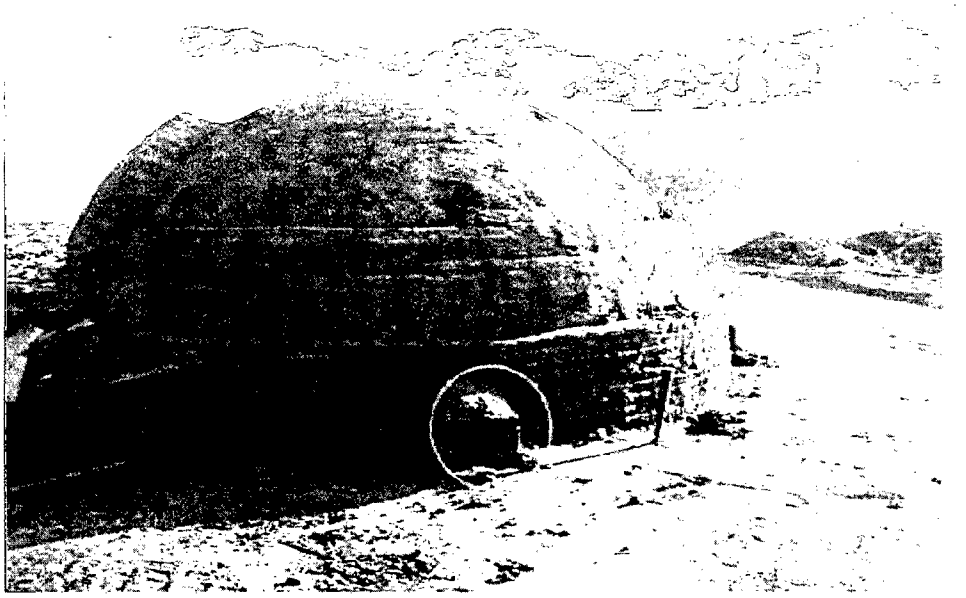


Figura 3. Chimeneas controladoras y verificadoras de la carbonización en hornos tipo colmena.

- Así mismo estos hornos presentaban 09 ventanas de 10 cm de ancho x 12 cm de largo, cuya función era el ingreso del aire para la ventilación interna. Estaban ubicadas en la parte media del horno.

- Además también presentaban 03 ventanas de 10cm de ancho x 12 cm de largo, ubicadas en la parte superior, cuya función era permitir la salida de los gases producto de la carbonización (Figura 4).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

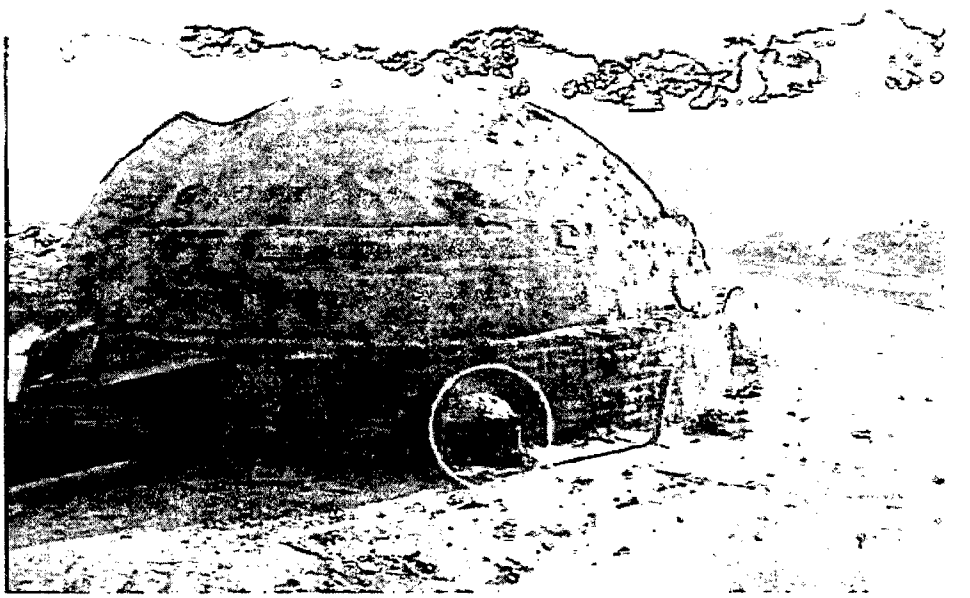


Figura 3. Chimeneas controladoras y verificadoras de la carbonización en hornos tipo colmena.

- Así mismo estos hornos presentaban 09 ventanas de 10 cm de ancho x 12 cm de largo, cuya función era el ingreso del aire para la ventilación interna. Estaban ubicadas en la parte media del horno.

- Además también presentaban 03 ventanas de 10cm de ancho x 12 cm de largo, ubicadas en la parte superior, cuya función era permitir la salida de los gases producto de la carbonización (Figura 4).



Figura 4. Ventanas de ingreso de aire y salida de gases por carbonización en hornos tipo colmena.

2.5.3 Contenido de humedad de las piezas de madera

Para determinar el contenido de humedad de la madera se aplicó la Norma Técnica Peruana (NTP) Nº 251.010.1980:

- Para la determinación del contenido de humedad de las piezas de madera se tomaron al azar 10 muestras de madera, y de cada uno de los cuales se tomaron una muestra pequeña que luego fue pesada.
- Estas muestras fueron colocadas en la estufa a una temperatura de 103 +/- 2 °C para luego ser pesadas diariamente hasta obtener un peso constante.
- Para determinar el contenido de humedad de las piezas se aplicó la fórmula siguiente:

$$CH = \frac{(Pha - Psa)}{Psa} x100$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad de la piezas expresado en porcentaje.

Pha = Peso húmedo de las piezas expresado en gramos.

Psa = Peso seco de las piezas expresado en gramos.

2.5.4 Densidad de las piezas de madera

Para determinar la densidad de la madera, se aplicó la norma NTP 251.011-1980. Se procedió a pesar la muestra, para obtener el peso en gramos (g) en seguida se determinó el volumen de la muestra mediante el principio de Arquímedes o empuje hidrostático, luego se aplicó la siguiente formula:

$$D = \frac{M}{V} x100$$

Dónde:

D = Densidad (g/cm3)

M = Masa (g)

V = Volumen (cm3)

2.5.5 Caracterización del proceso de carbonización

Para mayor comprensión del proceso de carbonización, es necesario describir en forma detallada las actividades que se realizaron.

2.5.5.1 Descripción del proceso de producción de hornos tipo artesanales:

En el cuadro 6, se observa los días empleados por cada actividad en el proceso de carbonización vegetal del sistema de producción de los hornos tipo artesanal, describiendo desde el armado hasta almacenado de sacos de carbón. Para compresión se describió cada uno de las actividades de este proceso.

Cuadro 6. Días empleados por actividad en el proceso de carbonización en sistemas de producción tipo artesanal.

Fecha	Actividad	Días
1	Armado	1
2	Tapado	2
3	Encendido	3
4 al 20	Carbonización	17
21 al 22	Apagado	2
23 al 26	Enfriado	3
27 al 30	Cosecha , ensacado, pesado, almacenado	4
	Total	**32**

- **Armado**, se acomodó las piezas de madera en forma consecutiva dando la forma que se desea al horno, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, etc.



Figura 5. Armado de piezas de madera para formar un horno tipo artesanal.

- **Tapado**, se cubrió con aserrín húmedo, la estructura ya armada o apilada del horno, para dar inicio al encendido.



Figura 6. Tapado con aserrín de un horno tipo artesanal.

- **Encendido**, se encendió la mecha interna para dar inicio a la carbonización de la madera.



Figura 7. Encendido de un horno tipo artesanal.

- **Carbonización,** se produjo la carbonización de la madera a carbón, que fue controlada por medio del ingreso de aire por las ventilas ubicadas en la base del horno, adicionalmente se humedeció con agua el aserrín que cubría todo el horno exteriormente.

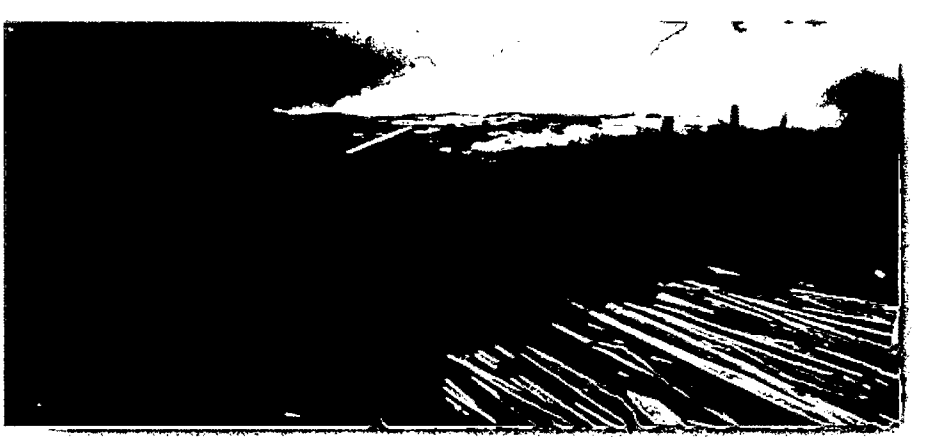


Figura 8. Proceso de carbonización de un horno tipo artesanal.

- **Apagado y enfriado**, se finalizó la etapa de carbonización, por medio del cierre de las ventilas de ingreso de aire. Enfriado, esta es la actividad de reposo del sistema de producción, donde se cuidó, que no se produzca señales de fuego, se cubrió todo los ingresos de aire al interior del horno. Se roseo con agua la parte exterior del horno.



Figura 9. Proceso de apagado y enfriado de un horno tipo artesanal.

- **Cosecha, ensacado, pesado y almacenado**, la cosecha estaba conformada por la extracción de las piezas de carbón por medio de una herramienta llamado trinquete, se iba separando por tamaños, que iban definiendo la calidad del producto. Una vez obtenido las piezas clasificadas por tamaños son inmediatamente empaquetadas o ensacadas por calidades, para luego ser pesadas y almacenadas según el tipo de calidad y tipo de carbón obtenidos.

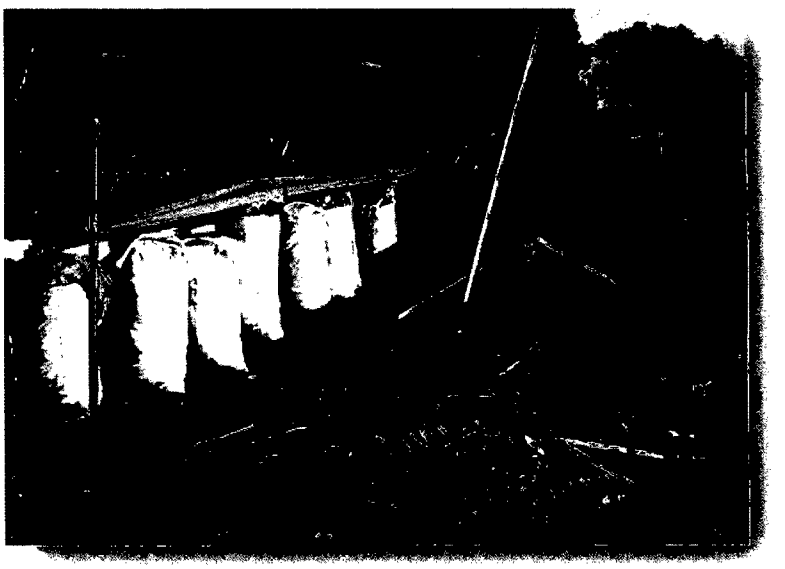


Figura 10. Proceso de cosecha, ensacado, pesado y almacenado de un horno tipo artesanal.

2.5.5.2 Descripción del proceso de producción de hornos tipo colmena:

En el cuadro 7, se observa los días empleados por cada actividad en el proceso de carbonización vegetal del sistema de producción de los hornos tipo colmena brasileros, describiendo desde el armado hasta almacenado de los sacos de carbón. Para compresión describiremos cada uno de las actividades de este proceso.

Cuadro 7. Días empleados por actividad en el proceso de carbonización en sistemas de producción tipo colmena.

Fecha	Actividad	Días
1	Resanado	1
2	Cargado y encendido	2
3 al 10	Carbonización	8
11 al 14	Apagado y enfriado	4
15	cosecha , ensacado, pesado, almacenado	1
	Total	**16**

- **Resanado**, se hizo el curado de las paredes del horno, antes del carguío, de grietas o raspaduras ocasionadas durante las carbonizaciones pasadas. El resanado fue interno como externo. En esta actividad se empleó un jornal durante un día de trabajo, en el cual el material de trabajo utilizado para este resanado o curado es de barro de textura franco arcilloso. Es muy importante indicar que el barro utilizado tenga la característica de al momento de secarse no forme grietas, esto ayuda al sellado de los orificios y por lo tanto a la carbonización optima, si se trabaja con un barro que se agriete al secarse esto alterara el momento de apagar el horno ya que se generara pequeñas rajaduras por donde ingrese el aire, produciendo la explosión e incendio del carbón.



Figura 11. Resanado del horno tipo colmena.

- **Cargado y encendido**, esta etapa se realizó con dos trabajadores. Uno de ellos fue colocado dentro del horno para ordenar las piezas de madera, tratando de ocupar de manera óptima el espacio, y ubicando las piezas más al centro para así incrementar la temperatura del horno. El otro trabajador fue pasando las piezas de madera al interior del horno, se tiene una motosierra para cortar las piezas si fuese necesario. En algunos casos toda la carga la hace una sola persona, pero no es muy común. La forma de ordenar fue apilando adecuadamente, tratando de que no quede muchos espacios, esto ayudo a que ingrese mayor cantidad de material y así tener mayor eficiencia en el cargado.

  Es importante que las piezas sean apiladas lo más ordenado posible y cerca del horno para facilitar el manejo, y también es necesario que se tomen en cuenta factores como la humedad, peso, tamaño y forma. Se recomienda dejar secar la leña cinco a seis semanas antes de su carbonización para hacer más eficiente este proceso.

  La forma de las piezas también es importante, pues los rectos y uniformes son más fáciles de acomodar que los curvos, torcidos. Este tipo de piezas se aprovecharon cortándolos en piezas pequeñas con la motosierra.

  Encendido, una vez cargado, el horno se encendió con carbón ardiendo, o con una mecha, que consta de trapos, ramas secas, pedazos de madera, etc. Ayudándose con un poco de combustible lo recomendable bio diesel para acelerar el encendido de la madera por la parte superior de la puerta del horno, luego sellarlo totalmente con ladrillos y barro. Una vez que la puerta del horno está totalmente sellado a excepción de la abertura superior o ventilas y los agujeros de entra y salida de aire.



Figura 12. Cargado del horno tipo colmena.

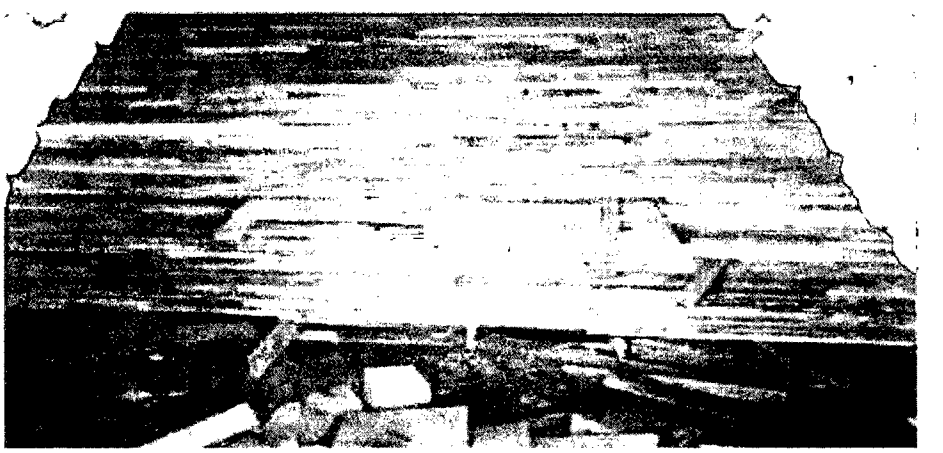


Figura 13. Cargado estibado del horno tipo colmena finalizado.



Figura 14. Encendido del horno tipo colmena.

- **Carbonización**, cabe resaltar la importancia que tiene las ventanas de ventilación, ya que depende de ella la carbonización como muestra en la foto.



Figura 15. Carbonización del horno tipo colmena.

El proceso de quemado y carbonización comienza una vez que el agujero de encendido ha sido sellado, entonces el humo empieza a salir por los respiradores. Luego de acuerdo al avance del quemado de la madera y viendo la intensidad del humo, es decir, si el humo esta débilmente incoloro se empieza a tapar las ventilas como se ve en la foto y así sucesivamente hasta tapara todas las ventilas o ventanas, esto nos indica que la carbonización termino.

- **Apagado y enfriado**, el apagado del horno procedió cuando las chimeneas ya no emanan humo negro intenso indicándonos que ya termino el quemado, es ahí donde se sella totalmente todas las ventanas, de tal manera que no quede ninguna abertura.
  A partir de este momento y sin ninguna entrada de oxígeno, el horno de carbón se sofocó y se apagó para comenzar a enfriarse. Finalmente se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta poder manipular el carbón.

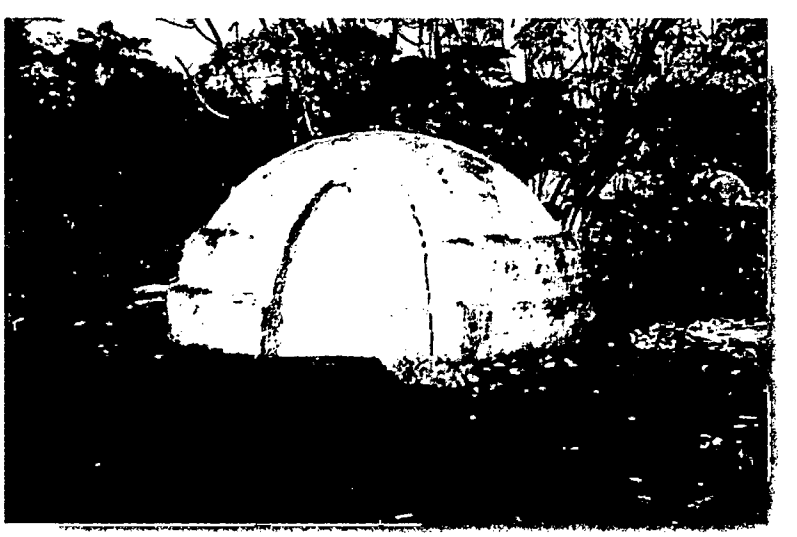


Figura 16. Apagado y enfriado del horno tipo colmena.

Fue necesario acelerar el enfriamiento con agua con barro, ya que esto nos ayuda también a sellar las aberturas más pequeñas que pudieran formarse por causa de la temperatura y a la vez es una forma de acortar el tiempo de producción, luego cada cierto tiempo se toca con la palma de la mano al contorno del horno para calcular el enfriamiento adecuado.

- **Cosecha, ensacado, pesado y almacenado**, cuando ya se enfrió el horno completamente, se procedió a abrir la puerta del horno. Uno de los trabajadores ingresa y poco a poco va sacando las piezas carbonizadas, colocándolos para el posterior clasificado y embolsado. Se embolsa las piezas de carbón según la calidad de estas en diferentes sacos de 80 a 100 kilogramos aproximadamente. Esta proceso fue realizado en el mismo lugar donde están los hornos, esto con la finalidad de no realizar demasiado manipuleo, evitando que las piezas de carbón se rompas y bajen de una calidad superior a otra inferior, ya que la calidad del carbón es determinada por el tamaño, peso, poder calorífico de las piezas. Una vez llenado los sacos son cosidos y pesados, para posteriormente ser apilados en los almacenes de venta.



Figura 17. Cosecha del carbón del horno tipo colmena.



Figura 18. Ensacado y pesado del carbón del horno tipo colmena.

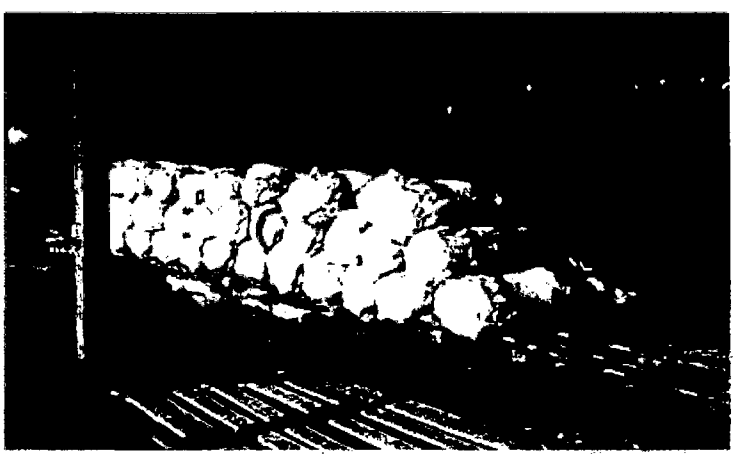


Figura 19. Almacenado de carbón del horno tipo colmena.

2.5.6 Acondicionamiento de muestras carbonizadas

Las muestras obtenidas producto de la carbonización fueron almacenadas en bolsas plásticas con sus respectivos códigos de identificación para su respectivo análisis gravimétrico.

2.5.7 Rendimiento del carbón

Obtenido el contenido de humedad de la madera, se descontó esta humedad a toda la carga de la madera húmeda, obteniéndose de esta manera el peso seco de la madera, es decir, 0 % de humedad.

Para determinar el peso seco del carbón, primero se determinó el peso total del carbón por cada carga, luego se tomaron diez muestras representativas para la determinación de humedad. Estas muestras se pesaron antes de ser introducidas a la estufa a una temperatura de 103 +/- 2 °C, hasta obtener un peso constante, es decir, 0 % de humedad. Con estos valores se determinó el peso seco del carbón.

Para determinar el rendimiento del carbón por cada horneada, se aplicó la siguiente fórmula:

$$Rendimiento = \frac{\textbf{Peso Seco Carbón}}{\textbf{Peso Seco Madera}} \textbf{x } 100$$

2.5.8 Costo de producción

Para el costo de producción se tuvo en cuenta el costo del horno, materia prima, mano de obra y los servicios. Estos a su vez se clasificaron en costos fijos y costos variables.

2.5.9 Análisis del carbón

Para la preparación de la muestra se efectuó conforme a lo indicado en la norma ASTM D-1762. Así mismo según esta norma se procedió a efectuar la determinación del porcentaje de los componentes del carbón.

Para saber la calidad del carbón se determinó la densidad aparente, el contenido de humedad, contenido de cenizas, contenido de materiales volátiles, contenido de carbono fijo, poder calorífico del carbón producido en el horno tipo colmena y tipo artesanal de ambas especies forestales ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo).

2.5.9.1 Densidad aparente

Se determinó la densidad del carbón mediante la siguiente relación:

$$Densidad = \frac{\textbf{Peso seco al ambiente de al muestra del carbon}}{\textbf{Volumen de la muestra del carbon}}$$

2.5.9.2 Contenido de humedad del carbón.

El contenido de humedad se determinó según la Norma ASTM D – 1762.

Del carbón obtenido se pesó 2 gramos y se colocó en un crisol de porcelana de 31.3856 g de peso, siendo llevado a la estufa a 103+/- 2 °C por 24 horas. Posteriormente se descontó el peso del crisol (31.3856 g), obteniendo el peso del carbón, esto se realizó para ambas especies forestales y tipo de horno, luego se reemplazaron los resultados en la fórmula siguiente:

$$\%Ch = \frac{(\mathbf{Phc} - \mathbf{Psc})}{\mathbf{Phc}} x100$$

Dónde:

Ch = Contenido de humedad (%).

Phc = Peso húmedo o acondicionado del carbón

Psc = Peso seco de las muestras del carbón.

2.5.9.3 Contenido de cenizas.

El contenido de ceniza se determinó de acuerdo a la norma ASTM D– 1762.

Se pesó 5 gramos de carbón y se colocó dentro de un crisol de porcelana de 31.3856 g de peso. Luego se colocó la cápsula en la mufla a una temperatura de 750 °C por un tiempo de 6 horas, hasta su incineración total, esto se comprobó observando el color blancuzco de las cenizas.

Luego se retiró el crisol con las cenizas y se colocó en la campana desecadora, y se dejó enfriar por una hora.

Seguidamente se determinó el peso del crisol con las cenizas descontando el peso del crisol (31.3856 g), esto se realizó para ambas especies forestales y tipo de horno, Luego se reemplazaron los datos en la siguiente formula:

$$\%C = \frac{(\mathbf{PCb})}{\mathbf{Phc}} x100$$

Dónde:

C = Porcentaje de ceniza del carbón (%)

PCb = peso de la cenizas blancas

Phc = peso húmedo o acondicionado de la muestra de carbón

2.5.9.4 Contenido de materias volátiles

Se pesó 2 gramos de carbón y se colocó dentro de un crisol con tapa de 45.6415 g de peso.

El crisol fue colocado en la entrada de la mufla, cuyo termómetro marcaba una temperatura de 950 °C, y se dejó por un tiempo de 7 minutos.

Después de haber cumplido el tiempo se retiró el crisol y se colocó en una campana desecadora, dejando enfriar por una hora.

Posteriormente se descontó el peso del crisol (45.6415 g) para determinar el peso final de la muestra, y finalmente calcular el porcentaje de materias volátiles, esto se realizó para ambas especies forestales y tipo de horno con la siguiente fórmula establecida por Gonzáles *et. al* (1990):

$$\%mv = \left(\frac{\mathbf{Phc} - \mathbf{Pfm}}{\mathbf{Phc}} x100\right) - \%h$$

Dónde:

%mv = Materia volátil del carbón

Phc = Peso húmedo del carbón

Pfm = Peso final de la muestra

%h = porcentaje de humedad del carbón

2.5.9.5 Carbono fijo.

Para el cálculo del porcentaje del carbono fijo, se determinó de acuerdo a la norma ASTM D–1762, el contenido de humedad, ceniza, materia volátil, esto se realizó para ambas especies forestales y tipo de horno, llevando a una siguiente relación:

$$\%cf = 100 - (\%h + \%c + \%mv)$$

Dónde:

%cf = contenido de carbono fijo expresado en porcentaje.
%h = Contenido de humedad carbón expresado en porcentaje
%mv = contenido de materia volátil expresado en porcentaje.
%C = contenido de cenizas expresado en porcentaje.

2.5.9.6 Poder calorífico superior

Las muestras de carbón para esta determinación se obtuvieron del carbón probeta de cada una de las especies, las cuales se molieron y homogenizaron, luego se tamizaron utilizando tamices N° 40 y 60, recogiéndose el carbón que pasó la malla N° 40 y el retenido por la malla N° 60.

La determinación del poder calorífico superior se realizó de la siguiente manera: Del carbón seleccionado se pesó 1gr. Para cada una de las especies, con lo que se pudo determinar el poder calorífico superior en la bomba calorimétrica; separadamente se determinó el contenido de humedad del carbón en el momento del ensayo, con lo que se calculó el poder calorífico superior sobre base seca utilizando la siguiente fórmula:

$$Pcs(s) = \frac{Pcs(h)}{1 - h}$$

Dónde:

Pcs (s) = Poder Calorífico Superior sobre base seca.

Pcs (h) = Poder Calorífico Superior obtenido en bomba calorimétrica.

H = Humedad de la muestra expresada como fracción decimal.

2.5.9.7 Análisis estadístico

Con los valores promedios de todas las determinaciones se ha realizado análisis de variancia, análisis de las medias marginales estimadas, utilizando el diseño experimental completamente al azar, estudiándose las siguientes variantes:

- Rendimiento del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Densidad del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Contenido de humedad del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Material volátil del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Contenido de cenizas del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Contenido de carbono fijo del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.
- Poder calorífico del carbón por especie, tipo de horno, especie por horno.

El procedimiento de los datos, de acuerdo con lo planteado se realizó utilizando el paquete estadístico denominado SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) efectuándose el trabajo en el Laboratorio Principal de Química de Madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Rendimiento del carbón

Cuadro 8. Promedio del rendimiento del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar huayo	Horno artesanal	22.424	1.342	0.059	21.749	23.099
	Tipo colmena	24.671	0.969	0.039	23.996	25.346
Shihuahuaco	Horno artesanal	31.680	1.179	0.037	31.005	32.355
	Tipo colmena	34.118	1.637	0.048	33.443	34.793

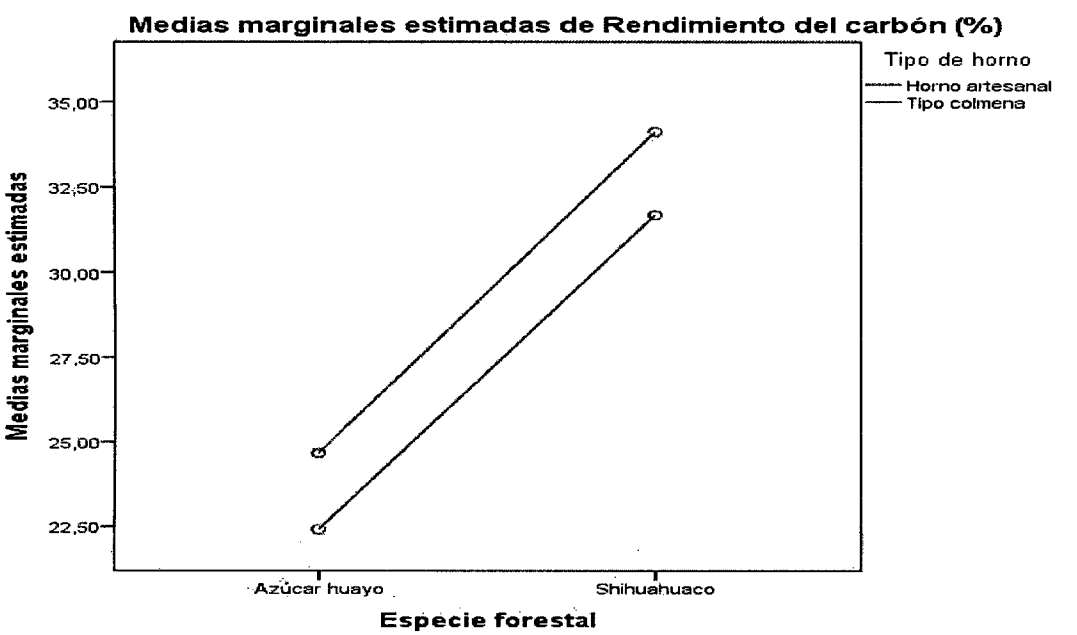


Gráfico 1. Promedio del rendimiento del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena.

Cuadro 9. Análisis de varianza del rendimiento del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena.

Fuente de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	1311.712	1	1311.712	769.928	0.000
Horno	82.321	1	82.321	48.320	0.000
Especie * Horno	0.136	1	0.136	0.080	0.778
Error	95.406	56	1.704		
Total	1489.575	59			

Análisis de las medias marginales estimadas del rendimiento del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 10. Promedio del rendimiento del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco).

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar huayo	23.548	1.6217	0.0689	23.070	24.025
Shihuahuaco	32.899	1.8717	0.0569	32.422	33.376

Cuadro 11. Comparación del promedio del rendimiento del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco).

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Shihuahuaco	Azúcar huayo	9.351*	0.337	0.000	8.676	10.026

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 12. Promedio del rendimiento del carbón producido en horno artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	27.052	4.8681	0.1800	26.575	27.529
Tipo colmena	29.395	4.9827	0.1695	28.917	29.872

Cuadro 13. Comparación del promedio del rendimiento del carbón de producido en horno artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Tipo colmena	Horno artesanal	2.343*	0.337	0.000	1.668	3.018

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 8 y Grafico 1, se puede observar el rendimiento promedio del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 22.42% para el tipo de horno artesanal y 24.67% para el tipo de horno colmena; el rendimiento promedio del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 31.68% para el tipo de horno artesanal y 34.11% para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 9, se puede apreciar el análisis de varianza del rendimiento de carbón mostrando diferencia altamente significativa *($p<0.01$)* entre especies y hornos; en cambio la interacción (especie*horno) no hubo diferencia estadística. El mejor valor se presentó en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 32.89% y con 29.39% en

el horno tipo colmena; mientras que en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 23.54% y 27.05% en el horno tipo artesanal (Cuadro 10, 11,12 y 13). La información disponible sobre rendimiento promedio del carbón se encuentra en el rango reportados por Remigio (1983), quien trabajó con apacharama obteniendo un rendimiento de 32.89%, machimango colorado con un rendimiento de 29.86%, requia colorada con un rendimiento de 28.77% y eucalipto con un rendimiento de 27.47%; y Petroff y Doat (1978), quienes trabajaron con mezclas de maderas tropicales y mezcla de maderas frondosas francesas; todos estos autores obtuvieron rendimientos en peso que variaban de 20% a 36.6%. Con respecto al rendimiento de hornos tipo artesanal y artificial (Colmena) el autor menciona lo siguiente, Mayer (1978), estos efectos se reflejan sobre el rendimiento en carbón vegetal obtenido a partir de un determinado peso de madera. A bajas temperaturas (300°C) es posible un rendimiento en carbón de casi el 50%, Con temperaturas de carbonización de 500-600°C los volátiles son escasos y son típicos los rendimientos del 30% en la carbonera. el mismo autor menciona también rendimientos buenos en hornos tipo colmena, de hasta 62% en volumen, o sea, 1,6 estéreos de madera/m3 de carbón vegetal, cuando ha funcionado correctamente. Los rendimientos en carbón vegetal varían con la habilidad en el quemado, el grado de sequedad de la leña y la impermeabilización de la parva al aire (horno artesanal). Una buena práctica refleja rendimientos de 1 ton de carbón vegetal a partir de 4-ton de leña seca al aire (25%), pero es más común el rendimiento de 1 ton por 6 de leña (17%), FAO (1983).

3.2 Densidad del carbón

Cuadro 14. Promedio de la densidad del carbón (g/cm^3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	0.488	0.0146	0.0299	0.459	0.516
	Tipo colmena	0.723	0.0640	0.0885	0.695	0.752
Shihuahuaco	Horno artesanal	0.385	0.0430	0.1116	0.357	0.414
	Tipo colmena	0.669	0.0277	0.0415	0.641	0.697

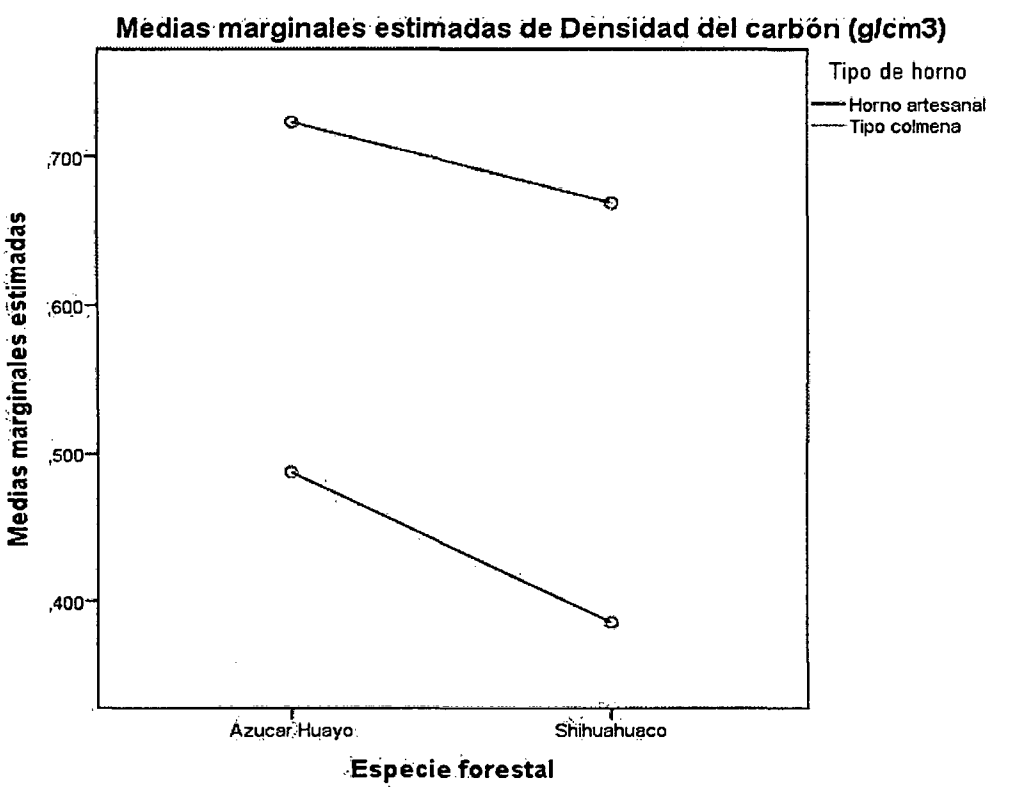


Gráfico 2. Promedio de la densidad del carbón (g/cm^3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Cuadro 15. Análisis de variancia de la densidad del carbón (g/cm^3) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno artesanal y horno tipo colmena

Fuente de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	0.055	1	0.055	31.914	0.000
Horno	0.607	1	0.607	350.045	0.000
Especie * Horno	0.005	1	0.005	2.950	0.096
Error	0.055	32	0.002		
Total corregido	0.722	35			

Análisis de las medias marginales estimadas de la densidad del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 16. Promedio de la densidad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco)

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	0.527	0.150	0.285	0.507	0.547
Shihuahuaco	0.605	0.129	0.214	0.585	0.625

Cuadro 17. Comparación del promedio de la densidad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco)

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Shihuahuaco	Azúcar Huayo	0.078*	0.014	0.000	0.050	0.107

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 18. Promedio de la densidad del carbón producidos en horno artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	0.436	0.061	0.140	0.416	0.456
Tipo colmena	0.696	0.055	0.080	0.676	0.716

Cuadro 19. Comparación del promedio de la densidad del carbón de producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Tipo colmena	Horno artesanal	0.260*	0.014	0.000	0.231	0.288

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 14 y Grafico 2, se puede observar el promedio de la densidad del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 0.48 g/cm^3 para el tipo de horno artesanal y 0.72 g/cm^3 para el tipo de horno colmena; el promedio de la densidad del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 0.38 g/cm^3 para el tipo de horno artesanal y 0.66 g/cm^3 para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 15, se puede apreciar el análisis de varianza de la densidad del carbón mostrando diferencia altamente significativa *($p<0.01$)* entre especies y hornos; en cambio la interacción (especie*horno) no hubo diferencia estadística. El mejor valor se presentó en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 0.605 g/cm^3 y con 0.696 g/cm^3 en el horno tipo colmena; mientras que en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 0.52 g/cm^3 y 0.43 g/cm^3 en el horno tipo artesanal (Cuadro 16, 17,18 y 19). Con respecto a la densidad del carbón Matos (1981) sostiene que los

parámetros que actúan en la densidad del carbón son: temperatura de carbonización y densidad de la madera de origen. Cuanto mayor es la densidad de la madera, mayor será la densidad del carbón producido. En cambio la densidad del carbón a baja temperatura suele ser más densa que el que se obtiene a alta temperatura (Earl, 1975). Comparados con los diversos autores que se expresan sobre la densidad del carbón vegetal, la que más se asemeja es al que reporta Briane y Doat (1985), quienes en un estudio sobre carbonización vegetal encontraron la densidad más alta de 0.60 g/cm3, y Remigio (1983), quien trabajó con apacharama, machimango colorado, requia colorada y eucalipto en un estudio de carbonización de cuatro maderas del Perú encontró la densidad más alta de 0.55 g/cm3.

3.3 Contenido de humedad del carbón

Cuadro 20. Promedio del contenido de humedad del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	6.413	0.418	0.065	6.216	6.610
	Tipo colmena	7.030	0.269	0.038	6.833	7.227
Shihuahuaco	Horno artesanal	3.690	0.290	0.079	3.493	3.887
	Tipo colmena	6.033	0.077	0.013	5.836	6.230

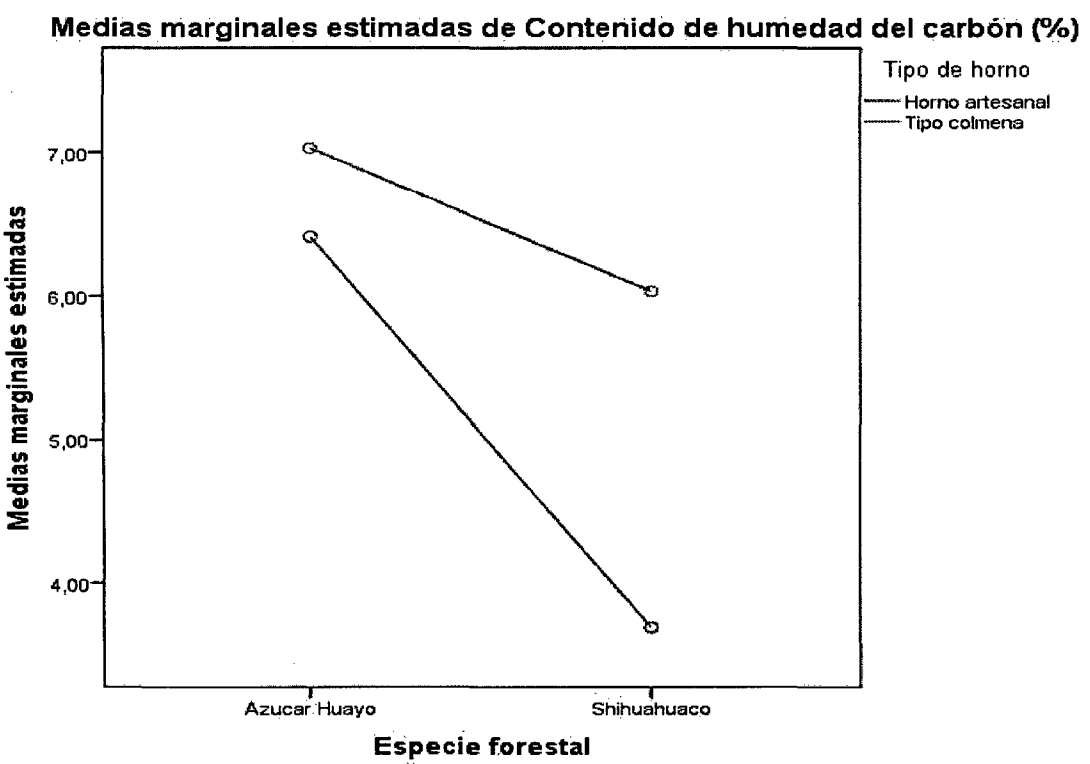


Gráfico 3. Promedio del contenido de humedad del carbón (%) de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Cuadro 21. Análisis de variancia del contenido de humedad del carbón (%) ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Fuete de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	31.136	1	31.136	369.654	0.000
Horno	19.714	1	19.714	234.041	0.000
Especie * Horno	6.708	1	6.708	79.639	0.000
Error	2.695	32	0.084		
Total corregido	60.254	35			

Análisis de medias marginales estimadas del contenido de humedad del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 22. Promedio del contenido de humedad del carbón de las especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco)

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	6.722	0.466	0.069	6.582	6.861
Shihuahuaco	4.862	1.223	0.252	4.722	5.001

Cuadro 23. Comparación de los promedios del contenido de humedad del carbón de la madera de azúcar huayo y shihuahuaco

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Shihuahuaco	1.860*	0.097	0.000	1.663	2.057

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 24. Promedio del contenido de humedad del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	6.532	0.548	0.084	6.392	6.671
Tipo colmena	5.052	1.444	0.286	4.912	5.191

Cuadro 25. Comparación de los promedios del contenido de humedad del carbón de producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	Tipo colmena	1.480*	0.097	0.000	1.283	1.677

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 20 y Grafico 3, se puede observar el promedio del contenido de humedad del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 6.41% para el tipo de horno artesanal y 7.03% para el tipo de horno colmena; el promedio del contenido de humedad del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 3.69% para el tipo de horno artesanal y 6.03% para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 21, se puede apreciar el análisis de varianza del contenido de humedad de carbón mostrando diferencia altamente significativa *($p<0.01$)* entre especies, hornos y la interacción (especie*horno). El mejor valor se presentó en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 6.72% y con 6.53% en el horno tipo artesanal; mientras que en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 4.86% y 5.05% en el

horno tipo colmena (Cuadro 22, 23,24 y 25). Al respecto Aguinelio (1980) indica que la humedad del carbón depende de dos factores: temperatura en que fue obtenida y la humedad del medio ambiente en la cual está expuesta. Al comparar el contenido de humedad promedio del carbón que presenta en los rangos de 4.86% a 6.72%, obtenido en el presente trabajo, se observa que sobrepasa al promedio reportado por Senyszyn (1973) quien encontró a 450°C de carbonización un contenido de humedad de 4.00%; así mismo el contenido máximo de humedad de esta investigación esta validada por el indicado por Corado (1984) quien menciona que la humedad desaparece una vez terminada el proceso de carbonización. El grado de humedad depende de las condiciones meteorológicas y el tipo de instalaciones de almacenamiento. A condición de que el carbón no este contacto directo con el agua, rara vez alcanzara una humedad superior al 5%.

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

3.4 Materia volátil del carbón

Cuadro 26. Promedio de materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	8.351	0.192	0.023	8.125	8.577
	Tipo colmena	7.852	0.322	0.041	7.626	8.078
Shihuahuaco	Horno artesanal	6.050	0.499	0.082	5.824	6.276
	Tipo colmena	4.797	0.233	0.049	4.571	5.023

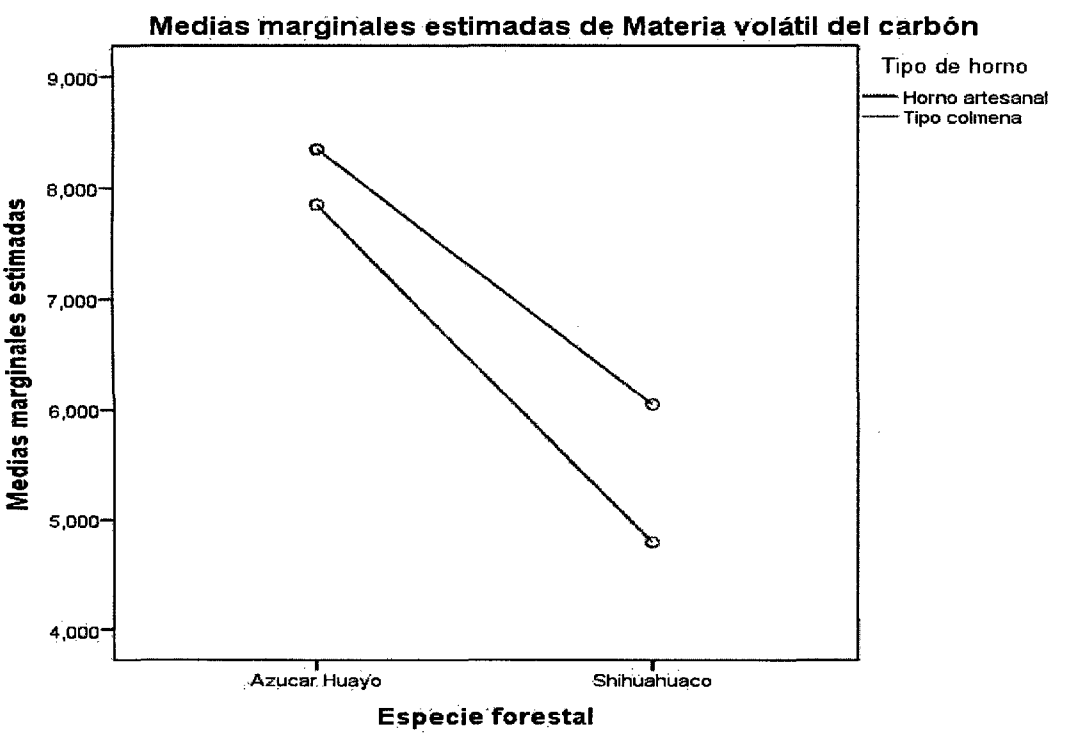


Gráfico 4. Promedio de la materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Cuadro 27. Análisis de variancia de la materia volátil del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Fuete de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	64.559	1	64.559	581.787	0.000
Horno	6.907	1	6.907	62.247	0.000
Especie * Horno	1.280	1	1.280	11.538	0.002
Error	3.551	32	0.111		
Total corregido	76.297	35			

Análisis de medias marginales estimadas de la materia volátil del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 28. Promedio de la materia volátil del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	8.102	0.363	0.045	7.942	8.262
Shihuahuaco	5.423	0.747	0.138	5.263	5.583

Cuadro 29. Comparación de los promedios de la materia volátil del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Shihuahuaco	2.678*	0.111	0.000	2.452	2.904

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 30. Promedio de la materia volátil del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	7.201	1.239	0.172	7.041	7.360
Tipo colmena	6.324	1.596	0.252	6.165	6.484

Cuadro 31. Comparación del promedio de la materia volátil del carbón producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	Tipo colmena	0.876*	0.111	0.000	0.650	1.102

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 26 y Grafico 4, se puede observar el promedio de la materia volátil del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 8.35% para el tipo de horno artesanal y 7.85% para el tipo de horno colmena; el promedio de la materia volátil del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 6.05% para el tipo de horno artesanal y 4.79% para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 27, se puede apreciar el análisis de varianza de la materia volátil de carbón mostrando diferencia altamente significativa ($p<0.01$) entre especies, hornos y en la interacción (especie*horno). El mejor valor se presentó en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 8.10% y con 7.20% en el horno tipo artesanal;

mientras que en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 5.42% y 6.32% en el horno tipo colmena (Cuadro 28, 29, 30 y 31). FAO (1983) señala la materia volátil comprende todos esos residuos líquidos y alquitrinosos que no fueron eliminados completamente. Los valores porcentuales indicados por el autor está en el rango de 5% a 40% de materia volátil, y esto puede ser porque la constitución química de la materia volátil no están definidos con precisión, ya que puede tratarse de compuestos formados a partir de radicales periféricos de los átomos de carbono (Briane y Doat, 1985); además, ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) son especies de elevada densidad, producto del alto contenido de lignina y bajo contenido de carbohidratos, sobre el cual, Aguinelio y Batista (1980), Brito y Barrichelo (1984), FAO (1983), Martins (1980) y Petroff y Doat (1978) indican que el contenido de lignina en la madera tiene un efecto positivo en el rendimiento del carbón, mientras que los polisacáridos son la principal fuente de productos volátiles.

- Como se ha dicho anteriormente, el carbón vegetal puede reabsorber los alquitranes y los ácidos piroleñosos con el lavado de la lluvia en los métodos de quema en fosa, artesanal o similar. Por ello, el carbón vegetal puede ser bien quemado pero, por este motivo, tener un elevado contenido de substancia volátil. Se produce así una variación adicional en el carbón quemado en fosas, artesanales, en climas húmedos. Los ácidos reabsorbidos hacen que el carbón se vuelva corrosivo, provocando la podredumbre de las bolsas de yute, lo que es un problema durante el transporte; y además, no tiene una combustión limpia, FAO (1983).

3.5 Cenizas del carbón

Cuadro 32. Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	5.684	0.022	0.004	5.649	5.720
	Tipo colmena	4.840	0.026	0.005	4.805	4.875
Shihuahuaco	Horno artesanal	2.171	0.035	0.016	2.136	2.206
	Tipo colmena	2.402	0.091	0.038	2.367	2.437

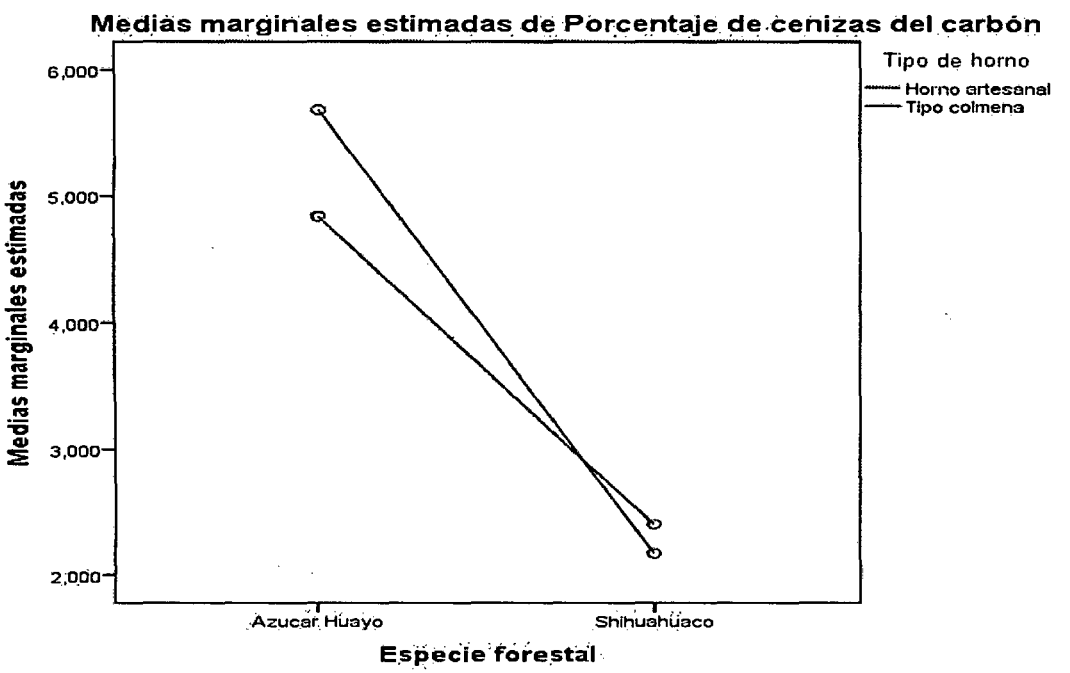


Gráfico 5. Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Cuadro 33. Análisis de variancia del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Fuete de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	79.685	1	79.685	29696.414	0.000
Horno	0.846	1	0.846	315.429	0.000
Especie * Horno	2.603	1	2.603	970.004	0.000
Error	0.086	32	0.003		
Total corregido	83.220	35			

Análisis de medias marginales estimadas de las cenizas del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 34. Promedio del contenido de cenizas del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

				Intervalo de confianza al 95%	
Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	5.262	0.435	0.083	5.237	5.287
Shihuahuaco	2.287	0.137	0.060	2.262	2.312

Cuadro 35. Comparación del promedio del contenido de cenizas del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

					95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Shihuahuaco	2.976*	0.017	0.000	2.940	3.011

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 36. Promedio del contenido de cenizas del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	3.928	1.808	0.460	3.903	3.953
Tipo colmena	3.621	1.256	0.347	3.596	3.646

Cuadro 37. Comparación del promedio del contenido de cenizas del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	Tipo colmena	0.307*	0.017	0.000	0.271	0.342

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 32 y Grafico 5, se puede observar el promedio del contenido de cenizas del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 5.68% para el tipo de horno artesanal y 4.84% para el tipo de horno colmena; el promedio del contenido de cenizas del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 2.17% para el tipo de horno artesanal y 2.40% para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 33, se puede apreciar el análisis de varianza del contenido de cenizas de carbón mostrando diferencia altamente significativa ($p<0.01$) entre especies, hornos y en la interacción (especie*horno). El mejor valor se presentó en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 5.26% y con 3.92% en el horno tipo artesanal;

mientras que en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 2.28% y 3.62% en el horno tipo colmena (Cuadro 34, 35, 36 y 37). Aguinelio (1980) menciona que la ceniza es el residuo de óxidos minerales obtenidos por la combustión completa del carbón.

Los resultados obtenidos están en el rango indicados por Vicente (2006), quien en su estudio sobre carbonización de aserrín de shihuahuaco reporta 5.10 % a 450 °C y 6.01 % a 500 °C de carbonización. Esta diferencia se debe porque la presencia de los minerales de la madera inicial depende de la naturaleza del árbol o del suelo (Briane y Doat, 1985).

Mientras que FAO (1983) indica que el contenido de cenizas en el carbón vegetal varía desde alrededor del 0,5% a más del 5%, dependiendo de la especie de madera, la cantidad de corteza incluida con la madera en el horno y la cantidad de contaminación con tierra y arena. Típicamente, un pedazo de buen carbón vegetal tiene un contenido de cenizas de alrededor del 3%.

3.6 Carbono fijo

Cuadro 38. Promedio del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	79.553	0.417	0.005	79.161	79.945
	Tipo colmena	80.053	0.967	0.012	79.661	80.445
Shihuahuaco	Horno artesanal	88.063	0.412	0.005	87.671	88.455
	Tipo colmena	86.781	0.235	0.003	86.389	87.173

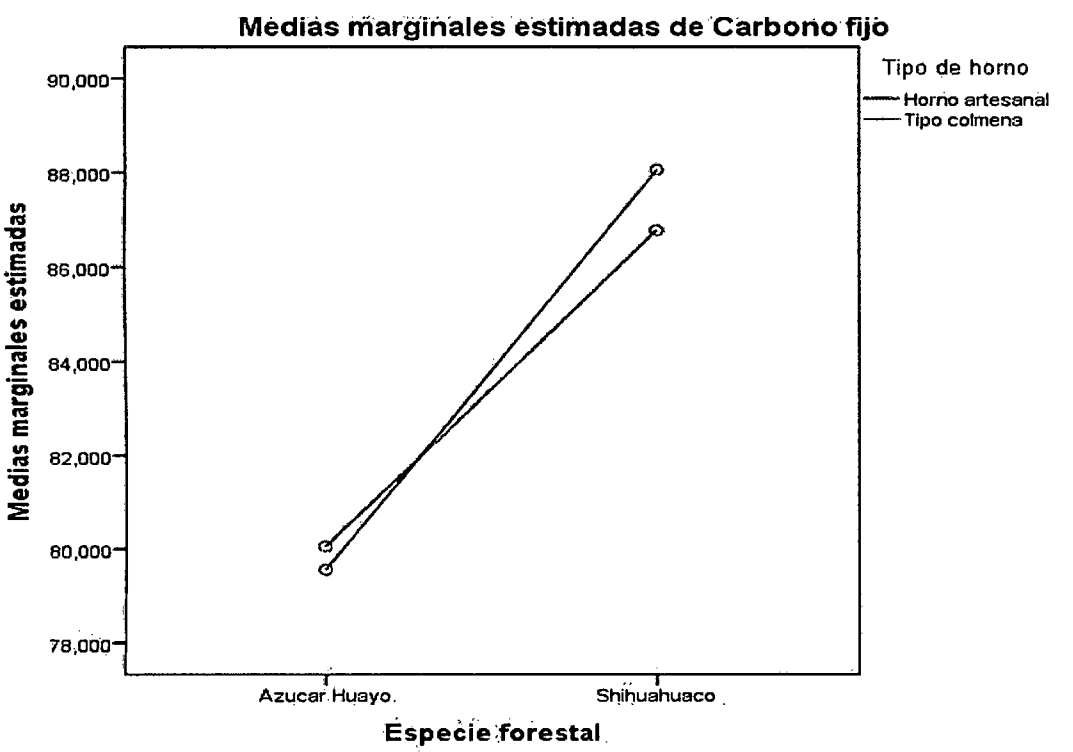


Gráfico 6. Promedio del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Cuadro 39. Análisis de variancia del carbono fijo del carbón (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Fuete de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	522.427	1	522.427	1566.427	0.000
Horno	1.377	1	1.377	4.128	0.051
Especie * Horno	7.147	1	7.147	21.428	0.000
Error	10.672	32	0.334		
Total corregido	541.623	35			

Análisis de medias marginales estimadas del carbono fijo

A. Especie forestal

Cuadro 40. Promedio del carbono fijo del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	79.803	0.767	0.010	79.526	80.081
Shihuahuaco	87.422	0.736	0.008	87.145	87.699

Cuadro 41. Comparación del promedio del carbono fijo del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Shihuahuaco	Azúcar Huayo	7.619*	0.193	0.000	7.227	8.011

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 42. Promedio del carbono fijo del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	83.808	4.397	0.052	83.531	84.086
Tipo colmena	83.417	3.528	0.042	83.140	83.694

Cuadro 43. Comparación del promedio del carbono fijo del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[a]	95% de intervalo de confianza para diferencia[a]	
					Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	Tipo colmena	0.391	0.193	0.051	0.001	0.783

Se basa en medias marginales estimadas

a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 38 y Grafico 6, se puede observar el promedio del carbono fijo del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 79.55% para el tipo de horno artesanal y 80.05% para el tipo de horno colmena; el promedio del carbono fijo del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 88.06% para el tipo de horno artesanal y 86.78% para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 39, se puede apreciar el análisis de varianza del carbono fijo de carbón mostrando diferencia altamente significativa ($p<0.01$) entre especies, interacción (especie*horno), en el caso de horno no hubo diferencia estadística. El mejor valor se presentó en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 87.42% y en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 79.80% (Cuadro 40, 41,42 y 43). De

acuerdo a los resultados obtenidos, el carbono fijo está en un rango alto según lo reportando por Martins (1980), quien trabajó con *Eucaliptus grandis*; Cabudivo (1990), quien trabajó con parinari colorado, shiringarana y machimango blanco; y Vicente (2006), quien trabajó con quinilla colorada, aguano masha y shihuahuaco. Pero este valor es menor al reportado por FAO (1983) quien refiere que el mayor valor del carbono fijo es 95 %.

- El elevado porcentaje de carbono fijo encontrado en este trabajo se debe a los bajos valores de los otros componentes del carbón, sobre todo a la de la materia volátil, que es producto de los carbohidratos (Aguinelio y Batista, 1980; Brito y Barrichelo, 1984; FAO, 1983; Martins, 1980; y Petroff y Doat, 1978), así como al elevado porcentaje de lignina de la materia prima (Petroff y Doat, 1978). Del mismo modo, el tiempo de carbonización o velocidad de carbonización, así como la temperatura es otro factor por la que se eleva el porcentaje de carbono fijo. Al respecto Briane y Doat (1985) manifiestan que la composición del carbón depende de la técnica de carbonización y, en particular, de la temperatura aplicada y la duración del recocido. Con una carbonización lenta y a alta temperatura se eliminan casi todas las sustancias volátiles, y entonces el contenido de carbono es alto (Earl, 1975).

3.7 Poder calorífico del carbón

Cuadro 44. Promedio del poder calorífico del carbón (Kcal/kg) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	Horno artesanal	6,524.167	34.205	0.005	6,461.646	6,586.687
	Tipo colmena	7,374.566	87.745	0.012	7,312.045	7,437.086
Shihuahuaco	Horno artesanal	7,512.490	136.845	0.018	7,449.969	7,575.011
	Tipo colmena	7,671.370	79.497	0.010	7,608.849	7,733.891

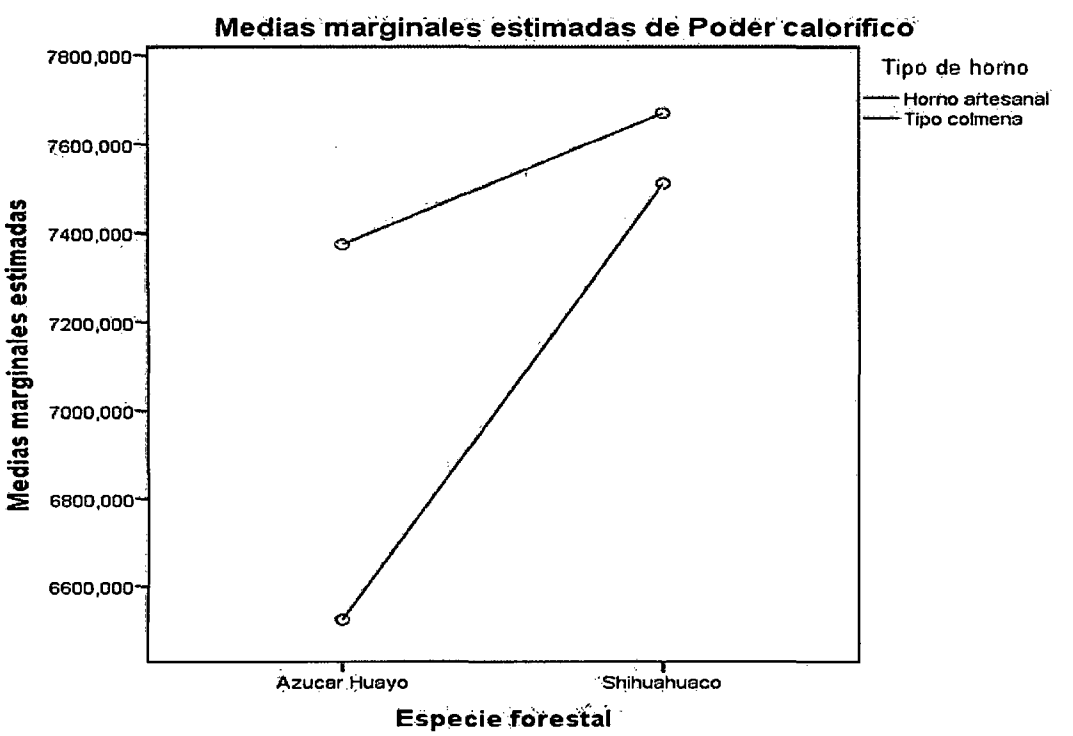


Gráfico 7. Promedio del poder calorífico del carbón (Kcal/kg) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Cuadro 45. Análisis de variancia del poder calorífico del carbón (Kcal/kg) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Fuete de variación	S. C	gl	C. M	F_{obs}	Sig.
Especie	3715995.162	1	3715995.162	438.266	0.000
Horno	2291948.720	1	2291948.720	270.314	0.000
Especie * Horno	1075946.341	1	1075946.341	126.898	0.000
Error	271323.317	32	8478.854		
Total corregido	7355213.539	35			

Análisis de medias marginales estimadas del poder calorífico del carbón

A. Especie forestal

Cuadro 46. Promedio del poder calorífico del carbón de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Especie forestal	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Azúcar Huayo	6,949.366	442.271	0.064	6,905.157	6,993.575
Shihuahuaco	7,591.930	135.898	0.018	7,547.721	7,636.139

Cuadro 47. Comparación del promedio del poder calorífico del carbón de especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

(I) Especie forestal	(J) Especie forestal	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Shihuahuaco	Azúcar Huayo	642.564*	30.694	0.000	580.043	705.085

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

B. Tipo de horno

Cuadro 48. Promedio del poder calorífico del carbón producidos en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

Tipo de horno	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Horno artesanal	7,018.328	517.613	0.074	6,974.119	7,062.537
Tipo colmena	7,522.968	172.962	0.023	7,478.759	7,567.177

Cuadro 49. Comparación del promedio del poder calorífico del carbón producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena

(I) Tipo de horno	(J) Tipo de horno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					Límite inferior	Límite superior
Tipo colmena	Horno artesanal	504.639*	30.694	0.000	442.119	567.160

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

- En el Cuadro 44 y Grafico 7, se puede observar el promedio del poder calorífico del carbón de ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con una media de 6,524.16 Kcal/kg para el tipo de horno artesanal y 7,374.56 Kcal/kg para el tipo de horno colmena; el promedio del poder calorífico del carbón de ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con una media de 7,512.49 Kcal/kg para el tipo de horno artesanal y 7,671.37 Kcal/kg para el tipo de horno colmena.

- En el Cuadro 45, se puede apreciar el análisis de varianza del poder calorífico del carbón mostrando diferencia altamente significativa ($p<0.01$) entre especies, horno e interacción (especie*horno). El mejor valor se presentó en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) con 7,591.93 Kcal/kg y 7,522.96 Kcal/kg en horno tipo colmena (Cuadro 46, 47,48 y 49). El resultado obtenido en este trabajo está comprendido entre los reportados por Ullmann (1958), quien encontró 7,800 Kcal/kg; Martel (1983), 8,558 Kcal/kg; Remigio (1983), de 8,000 a 8,665 Kcal/kg con apacharama machimango colorado y requia colorada; Earl (1975), 7.1 Kcal/g; Rivera (1987), de 7,736.73 a 8,755.6 Kcal/kg; Vicente (2006), 5,329.23 Kcal/kg a 450 °C y 5,547.57 Kcal/kg a 500 °C. Este resultado del poder calorífico se debe a muchas razones, entre las cuales se puede destacar la especie, la temperatura de carbonización, la técnica de carbonización, la velocidad de carbonización. Todos estos no fueron uniformes; aún si fueran uniformes, existiría variación, ya que la composición química de la materia prima varía entre especies y dentro de la misma especie. Al respecto, Klason, citado por Kollman (1959) y Cals (1982) afirman que las oscilaciones del poder calorífico de los carbones vegetales se deben a su vez, a las variaciones considerables en su composición bruta

3.8 Balance de materia

La ley que rige el proceso de carbonización y todo proceso de transformación es la ley de conservación de la materia, Donde

ENTRADA = SALIDA + ACUMULACIONES.

Lo que a continuación dice:" La materia no se crea ni se destruye, solo se transforma", es decir, la madera en la carbonización no se destruye, solo se transforma en otros productos.

Al respecto Earl (1975) afirma que al final del proceso de carbonización los productos que se origina son: ácido acético, agua, alcohol metílico, alquitrán, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrogeno, nitrógeno y carbón. Estos productos se pueden agrupar en: 1) gases no condensables, 2) vapores condensables que dan acido piroleñoso crudo y breas solubles e insolubles, y 3) carbón vegetal (Panshin, 1959).

Cuadro 50. Balance de materia de la madera al ser carbonizada de la especies ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco)

Productos de carbonización		***Hymenaea courbaril var*** *(azucar huayo)(%)*	***Dypterix odorata*** *(shihuahuaco)(%)*
Madera	Agua	34.120	27.510
	Carbón	23.545	32.900
	Tizones	5.305	4.885
	Mezcla de gases, acido piroleñoso y alquitran	37.030	34.705
	TOTAL	**100.00**	**100.00**

De acuerdo a estas aseveraciones en el cuadro 50 y grafico 8, se aprecia el balance de materia de la madera de las dos especies al ser carbonizadas. Por una parte la madera (100%) entra al horno, y por efecto de la temperatura se desprende la humedad en un promedio 27.51% y 34.12%, mezcla de gases, acido piroleñoso y alquitrán en un promedio de 34.70% y 37.03%, y como producto final el carbón en un promedio de 32.90% y 23.54% en la especie shihuahuaco y azúcar huayo. Otros componentes que se desprenden de la madera son los tizones, denominada así a la madera no carbonizada completamente, el promedio es de 4.88% y 5.30% en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) e ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo), sumados estos hacen el 100% del total ingresado a los hornos.

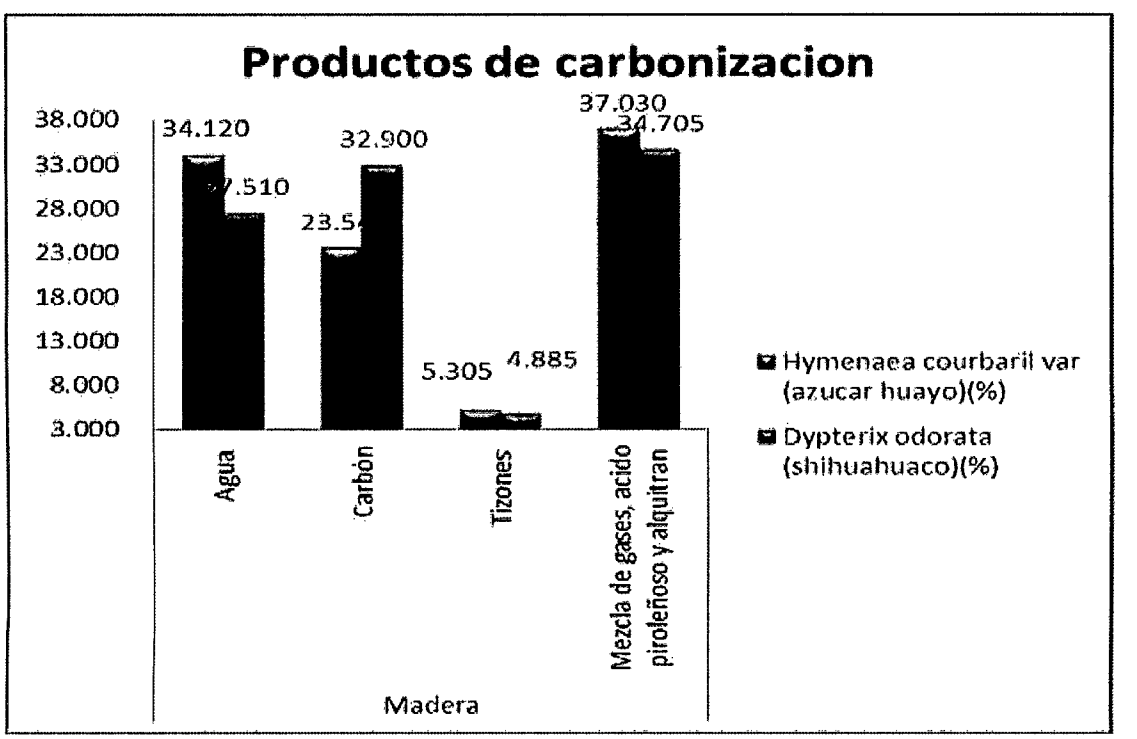


Gráfico 8. Promedio de los productos finales de la carbonización (%) de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) producido en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Al referirse a los productos de destilación seca, Celsi e Iacobucci, citados por Morí (1994), determinan 33% de carbón, 6% de ácido piroleñoso y 18% de alquitrán; Brito, Barrichello y Couto, citado por Morí (1994) encontraron 30% a 39.4% de carbón, 30.4% a 50.4% de gases condensables, y 18% a 26.7% de gases no condensables. Al contrastar estos resultados por los encontrados en este trabajo se puede indicar que el porcentaje de carbón está en el rango, los gases condensables y no condensables se presentan bajos en comparación con lo citado por los autores. Estos valores bajos se presentan directamente en la carbonización, principalmente por humedad que se presenta en la madera, esto podemos observar en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) con 34.12% de agua y madera no carbonizada con 5.30%.

3.9 Análisis de costo en la producción del carbón

Collazos (2002) expone que los costos representan los valores de los recursos reales o financieros empleados en la producción de bienes y servicios. Esto implica un sinónimo de "sacrificio", ya sea tangible o intangible, económico o financiero, social o individual, absoluto o relativo, etc. Por tal motivo el siguiente cuadro analiza los costos en la producción del carbón vegetal producido por los dos sistemas de producción (hornos tipo colmena y artesanal).

Cuadro 51. Participación porcentual de los costos de producción de carbón (%) en horno tipo artesanal y horno tipo colmena.

Costo operativo	Horno Tipo Artesanal		Horno Tipo Colmena	
	(S/.)/Kg	Participacion (%)	(S/.)/Kg	Participacion (%)
Materia Prima	0.470	49.27%	0.431	48.65%
MO Directa	0.403	42.24%	0.308	34.76%
Servicios	0.081	8.49%	0.074	8.35%
Depreciacion hornos de carbón	-	0.00%	0.073	8.24%
Total	**0.954**	**100.00%**	**0.886**	**100.00%**

En el cuadro 51, se observa la participación porcentual de los costos de producción de carbón en los dos sistemas de producción, horno tipo artesanal y horno tipo colmena, del cual determinamos que el costo con mayor influencia es el producido en horno tipo colmena con 0.886 soles/kg. Así mismo los rubros que más influyen en los costos son la materia prima y la mano de obra con 48.65% y 34.76%

respectivamente del total del costo de producción; mientras que en los costos de menor influencia están los servicios y depreciación de los hornos que corresponden al 8.35% y 8.24% respectivamente. El costo de producción de carbón en hornos tipo artesanales es de 0.954 soles/kg. Así mismo los rubros que más influyen en los costos son la materia prima y la mano de obra con 49.27% y 42.24% respectivamente del total del costo de producción; mientras que en los costos de menor influencia están los servicios que corresponde al 8.49%, con respecto a la depreciación de hornos en este sistema no hay inversión por tal razón no existe depreciación.

Cuadro 52. Participación porcentual de los costos de producción de carbón (%) por horno tipo artesanal y horno tipo colmena de la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) y ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco).

Costo operativo	Horno Tipo Artesanal				Horno Tipo Colmena			
	Dypterix odorata (shihuahuaco)		*Hymenaea courbaril var (azucar huayo)*		*Dypterix odorata (shihuahuaco)*		*Hymenaea courbaril var (azucar huayo)*	
	(S/.)/Kg	Participacion (%)	(S/.)/Kg	Participacion (%)	(S/.)/Kg	Participacion (%)	(S/.)/Kg	Participacion (%)
Materia Prima	0.395	49.25%	0.545	49.32%	0.367	48.67%	0.495	48.62%
MO Directa	0.339	42.27%	0.467	42.26%	0.262	34.75%	0.354	34.77%
Servicios	0.068	8.48%	0.093	8.42%	0.063	8.36%	0.085	8.35%
Depreciacion hornos de carbón	-	0.00%	-	0.00%	0.062	8.22%	0.084	8.25%
Total	**0.802**	**100.00%**	**1.105**	**100.00%**	**0.754**	**100.00%**	**1.018**	**100.00%**

En el cuadro 52, se observa la participación de los costos de producción de carbón en el horno tipo artesanal de la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco), donde se puede observar el costo de producción de carbón es de 0.802 soles/kg. Así mismo los rubros de mayor influencia en los costos son la materia prima y la mano de obra con 49.25% y 42.27%, mientras que los costos de menor influencia están los servicios con 8.48%. En la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) el costo de producción de carbón es de 1.105 soles/kg. Así mismo los rubros de mayor influencia en los costos son la materia prima y la mano de obra con 49.32% y 42.26%, mientras que en los costos de menor influencia están los servicios con 8.42% respectivamente del total de costo de producción. También podemos observar la participación de los costos de producción de carbón en el horno tipo colmena de la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco), donde se puede observar el costo de producción de carbón es de 0.754 soles/kg. Así mismo los rubros de mayor influencia en los costos son la materia prima y la mano de obra con 48.67% y 34.75%, mientras que los costos de menor influencia están los servicios y depreciación de hornos con 8.36% y 8.22%. En la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) el costo de producción de carbón es de 1.018 soles/kg. Así mismo los rubros de mayor influencia en los costos son la materia prima y la mano de obra con 48.62% y 34.77%, mientras que en los costos de menor influencia están los servicios y depreciación de hornos con 8.35% y 8.25% respectivamente del total de costo de producción.

Como se sabe la materia prima está constituida por las piezas de madera comprada a los aserraderos, mientras que la mano de obra está constituida por armado, tapado, carbonizado, enfriado, cosecha, pesado y ensacado con respecto a al horno tipo artesanal, con el horno tipo colmena corresponde el resane del horno, carga del horno, carbonización, descarga del horno, pesado y ensacado del carbón.

El costo de servicios está determinado por el transporte de la madera del aserradero hacia el horno, y el costo de depreciación del horno, por el desgaste que tiene éste por el uso que se da al pasar el tiempo.

El costo de producción encontrado en los dos sistemas de producción está acorde con el precio del mercado local y nacional, ya que el precio de venta del carbón del es de S/. 1.10 soles/kg. (Mercado local) y S/. 1.60 soles/kg. (Mercado nacional). La producción de carbón está dirigida a las empresas madereras que después de aserrar la materia prima rolliza hay una gran volumen de material residual que se debe recuperar en la transformación en material de carbón que es rentable y alternativa para ayudar la economía de estas empresa para ingresos de caja chica.

Así mismo el costo por kilogramo de carbón encontrado en el presente trabajo es más elevado que al encontrado por CATIE (1993) en el estudio de análisis financiero de la producción de carbón de encino, quienes determinaron para carboneras de tierra en Costa Rica el costo de producción fue de 0.122 dólares, mientras que para hornos metálicos transportables fue de 0.159 dólares por kilogramo. Esta diferencia se debe al costo de la materia prima, que en la actualidad el costo de madera de densidad alta como las especies estudiadas está relativamente elevado, porque son especies que tiene una alta demanda en el mercado internacional.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. El rendimiento promedio de carbón en la especie ***Dypterix odorata*** (shihuahuaco) fue de 34.11 % en el horno tipo colmena y de 31.68 % en el horno tipo artesanal; mientras que el rendimiento promedio de carbón en la especie ***Hymenaea courbaril var*** (azúcar huayo) fue de 24.67 % en el horno tipo colmena y de 22.42 % en el horno tipo artesanal.

2. El proceso total de carbonización en el horno tipo colmena fue de 16 días; mientras que el proceso total de carbonización en el horno tipo artesanal fue de 32 días.

3. La densidad promedio del carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 0.66 g/cm3 en el horno tipo colmena y de 0.38 g/cm3 en el horno tipo artesanal; mientras que la densidad promedio del carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 0.72 g/cm3 en el horno tipo colmena y de 0.48 g/cm3 en el horno tipo artesanal.

4. El contenido de humedad promedio de carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 6.03 % en el horno tipo colmena y de 3.69 % en el horno tipo artesanal; mientras que el contenido de humedad promedio de carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 7.03 % en el horno tipo colmena y de 6.41% en el horno tipo artesanal.

5. El promedio de materia volátil de carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 4.79 % en el horno tipo colmena y de 6.05 % en el horno tipo artesanal; mientras que el promedio de materia volátil de carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 7.85 % en el horno tipo colmena y de 8.35 % en el horno tipo artesanal.

6. El contenido de ceniza promedio de carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 2.40 % en el horno tipo colmena y de 2.17 % en el horno tipo artesanal: mientras que el contenido de ceniza promedio de carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 4.84 % en el horno tipo colmena y de 5.68% en el horno tipo artesanal.

7. El contenido de carbono fijo promedio de carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 86.78 % en el horno tipo colmena y de 88.06 % en el horno tipo artesanal; mientras que el contenido de carbono fijo promedio de carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 80.05 % en el horno tipo colmena y de 79.55 % en el horno tipo artesanal.

8. El promedio de poder calorífico del carbón en la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) fue de 7,671.37 Kcal/kg en el horno tipo colmena y de 7,512.49 Kcal/kg en el horno tipo artesanal; mientras que el promedio de poder calorífico del carbón en la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) fue de 7,374.56 Kcal/kg en el horno tipo colmena y de 6,524.167 Kcal/kg en el horno tipo artesanal.

9. El costo de producción de carbón en el horno tipo colmena de la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) es de 0.754 Soles/Kg; mientras que el costo de producción de carbón horno tipo colmena de la especie Hymenaea courbaril var (azúcar huayo) es de 1.018 Soles/Kg.

10. El costo de producción de carbón horno tipo artesanal de la especie Dypterix odorata (shihuahuaco) es de 0.802 Soles/Kg; mientras que el costo de producción de carbón horno tipo artesanal de la especie Hymenaea courbaril va (azúcar huayo) es de 1.105 Soles/Kg.

RECOMENDACIONES

1. Colocar accesorios al horno, con la finalidad de aprovechar los gases condensables y tener mayor variedad de productos por defecto de la destilación de la madera y bajar los costos de producción.

2. Tener en cuenta los cambios climáticos ya que los vientos bruscos, lluvias consecutivas, afectan el proceso de carbonización.

3. Producir carbón a gran escala y tener como mercado final la ciudad de Arequipa, Cuzco, Juliaca, Tacna, Lima, ya que el precio en estas ciudades es superior al mercado local.

4. Efectuar estudios similares con otras especies alternativas, ya que es importante completar la cadena de transformación de una especie, iniciando desde el aprovechamiento hasta la transformación y demostrando que las especies son aprovechadas en toda su totalidad, superando el margen de rendimiento descrito por otros autores.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUINELIO, P. 1980. Uso da madeira para fins energeticos, teoria de carbonizacao da madeira. Fundacao Centro Tecnológico de Minas Gerais/ CETEC.(Serie de publicacoes tecnicas/SPT-001). Belo Horizonte. Pp.29-41.

2. BATISTA, DE OLIVERA; VIVACOVA, F.; GUIMARAES, M; AGUINELIO, G. 1983. Manual de carbón vegetal. Producción de carbón vegetal. curso sobre carbón vegetal para Centro América. OLACE/CETEC. Forestal Acesita. Guatemala. 38 - 65 p.

3. BEALL, F. 1970. Thermal degradation of wood componentes. USA. Departament of. agriculture. Madison, Wis. 26 p.

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

5. BRIANE, D. et. DOAT, J. 1985. Guide technique de la carbonizatión. La fabricatión du charbon de bois. Agence Francaise pour la maitrise de L'Energíe. Asociatión Bois de Fen-Centre Technique Forestier tropical-France 180 p.

6. BRITO, J.; BARRICHELO, L. y H.T.Z. DO COUTO. 1984. Estudo comportamento de madeira de eucalipto frente ao proceso de destilacao seca. Brasilia, Instituto Brasileiro de Desenvolvimiento Florestal. Boletin Técnico Nº 08.5-36 p.

7. DIAZ, P. 2001. Balance de materia y energía. Cuarta edición Lima Perú 303p.

8. G. CALLEJA PARDO, F. GARCIA HERRUZO, A.DE LUCAS MARTINEZ, D. PRATS RICO y J. M. RODRIGUEZ MAROTO, 1999. "Introducción a la Ingeniería Química" Editorial Síntesis. Pág 112-126

9. CALS, D. 1982. Biomassa, biocombustiveis, bioenergía. Brasil, ministerio da Minas e energía. Brasilia. 100 p.

10. CATIE.1993. Técnicas de producción y calidad del carbón vegetal en los robledales de altura de Costa Rica – Turrialba 41p

11. CABUDIVO, A. 1990. Rendimiento y análisis químico inmediato del carbón de tres especies forestales tropicales de la zona de Jenaro Herrera. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos.67p.

12. CHAVESTA, M.1996. Maderas para parquet. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de ciencias forestales. La Molina-Perú.13p. y 89p.

13. COLLAZOS, J. 2002. El estudio de mercado en los proyectos de inversión. Editorial San Marcos. Lima, Perú. 393 p.

14. CORADO, M. 1984. Determinación de la calidad gravimétrica de carbón vegetal, producido a partir de diferentes especies forestales y en diferentes tipos de hornos, Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de San Carlos de Guatemala 82p.

15. EARL, 1975. Informe sobre el carbón vegetal FAO.Roma.94 p.

16. FAO. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio Montes. FAO. Roma.1

17. FERREIRA VALENTE, O.; DE ALMEIDA, J.M. y ROCHA VITAL. 1985. Efeito da temperatura de carbonizacao nos rendimientos e propiedades do carvao vegetal producido. Revista Arvore (Brasil) 9 (1): 28 – 29.

18. FLUGGE, F. 1960. En tecnología química, carboneo y destilación de la madera. Gustavo Gili S.A. Barcelona. 28-59 p.

19. GAVIRIA, A. 1 983 Características de la industria paquetera de Pucallpa (1982), Proyecto de Capacitación y Divulgación Forestal. CENFOR XII – Pucallpa. Pucallpa 40 p.

20. GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (GIT), 1984. The industrial wood energy Handbook. Von Nostrand Reinhold company, Nueva York.

21. GONZALES, E.; CORDOVA, R.; ASCENCIOS, E. 1990. Industrias Forestales II. Guia de práctica. Universidad Nacional Agraria la Molina. Dpto. De Industrias Foretales. Lima, Peru. 75p.

22. INFORME NACIONAL PERU, 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en américa latina, Documento de trabajo, Roma, 2004. ESFAL/N/19.

23. JUNAC. 1989. Manual del grupo andino para el secado de la madera. Primera edición Lima – Perú 124p.

24. KOLLMAN, F. 1960. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Gráficas Reunidas. Madrid. 789 p.

25. MARTINS, H. 1980. Uso da madeira para Fins energéticos, madeira como fonte de energía. Fundacao centro tecnológicos de Minas Gerais? CETEC. (Serie de publicacoes Técnicas/SPT-001). Belo Horizonte. 11-26 p.

26. MAYER, P.M. 1978 'A produgao integrada de carvao vegetal siderurgico: uma analise economica'. Congreso ILAFA-Altos Hornos. Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero. (en portugués).

27. MARTEL, D. 1983. Rendimiento y calidad de carbón y análisis de líquido piroleñoso de cuatro maderas del Perú tesis para optar el título de Ingeniero Forestal Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima 78p.

28. MEDER L. M. 1985. Rendimiento de carbón vegetal y cuantificación de líquido piroleño de las especies Lecythis peruviana I. Willians (Machimango blanco) Miconia poeppigii triana (Rifari) y Jacaranda copaiba Aubl. (Huamansamana). Tesis ingeniero forestal, UNAP. Iquitos. 112 p.

29. MENDOZA, G. 1986. Rendimiento y Cálculo del Aserrío en el Aserradero Tarapoto, Zona Bajo Mayo, Departamento de San Martín. Ministerio de Agricultura. San Martín – Perú 87 p.

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

31. OLADE/CETEC. 1983. Curso sobre carbón vegetal para Centro América. Guatemala, Ministerio de energía y minas de Guatemala. Vol. 1 286 p.

32. PANSHIN, A. 1959. Producto forestales origen beneficio y aplicación. Ed. Salvat S.A. Barcelona.Madrid.605 p.

33. PETROFF, G. et DOAT, J. 1978. Pyroyse des Bois tropicaux-Influence de la compositión chinique des Bois sur los products ed destilación. Bois Et Forests des Tropiques 177. France.

34. REMIGIO, D. 1983. Rendimiento y calidad de carbón y análisis de líquido piroleñoso de cuatro maderas del Perú. Tesis Ingeniero Forestal. UNA. La Molina. Lima.

35. RIVERA, P 1987. Estudio de las características físico-químicos de la madera y el carbón de once especies tropicales de Madre de Dios. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. U.N.A. La Molina. Lima. 74 p.

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

37. SENYSZYN, P. 1973. El carbón vegetal y la madera de eucalipto como fuente de producción. Toledo, Uruguay, Dirección Forestales Parque y Fauna División Investigación. 11p

38. UCEDA, M. 1980. Determinación del poder calorífico superior de 20 especies forestales de la Amazonía. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. U.N.A. la Molina.

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

40. VICENTE, H. 2006. Efecto de la temperatura de carbonización en el rendimiento y análisis del carbón obtenido a partir del aserrín de tres especies de Pucallpa. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Ucayali.

ANEXOS

Anexo 01: Rendimiento del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	20.8300	29.9400	24.3900	35.7100
2	20.9200	30.0300	25.6400	35.7100
3	20.9200	30.6700	25.0000	35.7100
4	21.2800	30.8600	23.2600	35.7100
5	21.4600	30.9400	22.6200	35.7100
6	21.7400	31.0600	23.8100	34.8400
7	21.7400	31.1300	25.0000	34.4800
8	22.2200	31.1500	26.3200	34.4800
9	22.5700	32.0500	25.0000	34.4800
Media	22.4240	31.6800	24.6713	34.1180
Desviación estándar	1.3423	1.1798	0.9696	1.6373
Coeficiente variación	0.0599	0.0372	0.0393	0.0480
Mínimo	20.8300	29.9400	22.6200	31.2500
Máximo	25.5100	33.3300	26.3200	35.7100
Cuenta	9.0000	9.0000	9.0000	9.0000

Anexo 02: Contenido de humedad del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	6.2500	4.3300	6.9600	6.0600
2	6.1900	3.7000	7.5100	6.1100
3	6.0100	3.5500	7.1000	5.9700
4	6.4500	3.7300	7.0000	6.0000
5	5.7500	3.2500	7.0000	6.2000
6	6.9500	3.8000	6.5000	5.9800
7	7.0000	3.5000	7.0000	6.0000
8	6.7000	3.6500	7.2500	5.9800
9	6.4200	3.7000	6.9500	6.0000
Media	6.4133	3.6900	7.0300	6.0333
Desviación estándar	0.4176	0.2903	0.2689	0.0770
Coeficiente variación	0.0651	0.0787	0.0383	0.0128
Mínimo	5.7500	3.2500	6.5000	5.9700
Máximo	7.0000	4.3300	7.5100	6.2000
Cuenta	9.0000	9.0000	9.0000	9.0000

Anexo 03: Densidad del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	0.4600	0.3200	0.7100	0.6960
2	0.4960	0.3920	0.7100	0.6120
3	0.4970	0.4240	0.6700	0.6690
4	0.4800	0.4230	0.7200	0.6500
5	0.4960	0.4240	0.7100	0.6650
6	0.4980	0.3310	0.7000	0.6820
7	0.4970	0.4200	0.7000	0.6960
8	0.4960	0.3420	0.8900	0.6950
9	0.4680	0.3920	0.7000	0.6540
Media	0.4876	0.3853	0.7233	0.6688
Desviación estándar	0.0146	0.0430	0.0640	0.0277
Coeficiente variación	0.0299	0.1116	0.0885	0.0415
Mínimo	0.4600	0.3200	0.6700	0.6120
Máximo	0.4980	0.4240	0.8900	0.6960
Cuenta	9.0000	9.0000	9.0000	9.0000

Anexo 04: Contenido de material volátil del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	8.190	5.500	8.070	4.987
2	8.190	6.000	7.970	5.037
3	8.190	6.000	7.020	5.037
4	8.590	6.400	7.760	4.970
5	8.590	6.400	7.970	4.665
6	8.340	5.000	7.970	4.665
7	8.140	6.400	7.970	4.870
8	8.340	6.400	7.970	4.470
9	8.590	6.350	7.970	4.470
Media	8.351	6.050	7.852	4.797
Desviación estándar	0.192	0.499	0.322	0.233
Coeficiente variación	0.023	0.082	0.041	0.049
Mínimo	8.140	5.000	7.020	4.470
Máximo	8.590	6.400	8.070	5.037
Cuenta	9.000	9.000	9.000	9.000

Anexo 05: Contenido de cenizas del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	5.6800	2.1400	4.8800	2.3000
2	5.6600	2.2200	4.8600	2.5000
3	5.7200	2.2000	4.8000	2.3800
4	5.7000	2.1400	4.8400	2.3000
5	5.6600	2.1400	4.8600	2.4400
6	5.7000	2.1800	4.8400	2.5000
7	5.6800	2.1600	4.8400	2.3000
8	5.6600	2.1400	4.8000	2.5200
9	5.7000	2.2200	4.8400	2.3800
Media	5.684	2.171	4.840	2.402
Desviación estándar	0.022	0.035	0.026	0.091
Coeficiente variación	0.004	0.016	0.005	0.038
Mínimo	5.660	2.140	4.800	2.300
Máximo	5.720	2.220	4.880	2.520
Cuenta	9.000	9.000	9.000	9.000

Anexo 06: Contenido de carbono fijo del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	79.8800	88.0300	80.0900	86.6500
2	79.9600	88.0800	77.6400	86.3500
3	80.0800	88.2500	81.0800	86.6100
4	79.2600	87.7300	80.4000	86.7300
5	80.0000	88.1100	80.1700	86.8200
6	79.0100	89.0200	80.6900	86.8600
7	79.1800	87.9400	80.1900	86.8300
8	79.3000	87.8100	79.9800	87.0300
9	79.3100	87.6000	80.2400	87.1500
Media	79.553	88.063	80.053	86.781
Desviación estándar	0.417	0.412	0.967	0.235
Coeficiente variación	0.005	0.005	0.012	0.003
Mínimo	79.010	87.600	77.640	86.350
Máximo	80.080	89.020	81.080	87.150
Cuenta	9.000	9.000	9.000	9.000

Anexo 07: Contenido de poder calorífico del carbón

Rep.	Horno artesanal		Tipo colmena	
	A. Huayo	Shihuahuaco	A. Huayo	Shihuahuaco
1	6,550.920	7,667.310	7,456.920	7,709.320
2	6,557.480	7,544.370	7,219.470	7,623.220
3	6,567.320	7,462.370	7,378.870	7,541.230
4	6,500.160	7,593.610	7,482.290	7,792.710
5	6,560.830	7,511.620	7,383.110	7,745.930
6	6,479.620	7,544.260	7,301.110	7,653.690
7	6,493.520	7,593.610	7,465.100	7,718.900
8	6,503.390	7,511.620	7,383.110	7,669.660
9	6,504.260	7,183.640	7,301.110	7,587.670
Media	6,524.17	7,512.49	7,374.57	7,671.37
Desviación estándar	34.205	136.845	87.745	79.497
Coeficiente variación	0.005	0.018	0.012	0.010
Mínimo	6,479.62	7,183.64	7,219.47	7,541.23
Máximo	6,567.32	7,667.31	7,482.29	7,792.71
Cuenta	9.000	9.000	9.000	9.000

Anexo 08: Costos de producción de carbón Shi-HTC

COSTOS	**SOLES**			
COSTO DE HORNO	S/.	5,000.00		
MATERIA PRIMA	S/.	350.00		
MANO DE OBRA(LLENADO, TAPADO, HORNEADO) x horno	S/.	250.00		
SERVICIO(ENSACADO, PESADO) S/. 2.00 X SACO	S/.	60.00		
CANTIDAD DE MADERA POR HORNADA (Kg)		3,903.85		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA (%)		**28.38%**	**shihuahuaco**	
RENDIMIENTO DEL CARBON (%)		34.12%	**shihuahuaco HTC**	
VIDA UTIL DE CARBON (años)		3	365	dias
PROCESO DE CARBONIZACION (dias)		16		

Depreciacion hornos:	S/. X año		S/. X dia	
	S/.	1,666.67	S/.	4.57

Hallando produccion de Carbon :

2,795.94	kg de madera seca	
953.97	kg de carbon	
59.62	kg/dia	

Hallando la depreciacion del horno en soles /kg

0.077	soles/kg

Hallando el costo de materia prima en soles / kg

0.367	soles/kg

Hallando el costo de mano de obra en soles /kg

0.262	soles/kg

Hallando el costo de servicios en soles /kg

0.063	soles/kg

COSTO TOTAL DE PRODUCCION	**Costo (S/. X Kg)**		**Participacion**
Depreciacion de Horno	0.077	soles/kg	9.97%
Materia Prima	0.367	soles/kg	47.75%
Mano de Obra	0.262	soles/kg	34.10%
Servicios	0.063	soles/kg	8.18%
TOTAL	**0.754**	**soles/kg**	**100.00%**

Anexo 09: Costos de producción de carbón Az-HTC

COSTOS	**SOLES**		
COSTO DE HORNO	S/.	5,000.00	
MATERIA PRIMA	S/.	350.00	
MANO DE OBRA(LLENADO, TAPADO, HORNEADO) x horno	S/.	250.00	
SERVICIO(ENSACADO, PESADO) S/. 2.00 X SACO	S/.	60.00	
CANTIDAD DE MADERA POR HORNADA (Kg)		3,903.96	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA (%)		**26.64%**	**Azucar huayo**
RENDIMIENTO DEL CARBON (%)		24.67%	**Azucar huayo HTC**
VIDA UTIL DE CARBON (años)		3	365 dias
PROCESO DE CARBONIZACION (dias)		16	

Depreciacion hornos:	S/. X año	S/. X dia
	S/. 1,666.67	S/. 4.57

Hallando produccion de Carbon :

2,863.95	kg de madera seca
706.54	kg de carbon
44.16	kg/dia

Hallando la depreciacion del horno en soles /kg

0.103 soles/kg

Hallando el costo de materia prima en soles / kg

0.495 soles/kg

Hallando el costo de mano de obra en soles /kg

0.354 soles/kg

Hallando el costo de servicios en soles /kg

0.085 soles/kg

COSTO TOTAL DE PRODUCCION	**Costo (S/. X Kg)**		**Participacion**
Depreciacion de Horno	0.103	soles/kg	9.97%
Materia Prima	0.495	soles/kg	47.75%
Mano de Obra	0.354	soles/kg	34.10%
Servicios	0.085	soles/kg	8.18%
TOTAL	**1.018**	**soles/kg**	**100.00%**

Anexo 10: Costos de producción de carbón Shi-HTAr.

COSTOS	**SOLES**		
COSTO DE HORNO	S/.	-	
MATERIA PRIMA	S/.	350.00	
MANO DE OBRA(ARMADO, TAPADO, HORNEADO) x horno	S/.	300.00	
SERVICIO(ENSACADO, PESADO) S/. 2.00 X SACO	S/.	60.00	
CANTIDAD DE MADERA POR HORNADA (Kg)		3,903.85	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA (%)		**28.38%**	**Shihuahuaco HTAr.**
RENDIMIENTO DEL CARBON (%)		31.68%	**Shihuahuaco HTAr.**
VIDA UTIL DE CARBON (meses)		0	0 dias
PROCESO DE CARBONIZACION (dias)		32	

Depreciacion hornos:	S/. X año	S/. X dia
	S/. -	S/. -

Hallando produccion de Carbon :

2,795.94	kg de madera seca
885.75	kg de carbon
27.68	kg/dia

Hallando la depreciacion del horno en soles /kg

- soles/kg

Hallando el costo de materia prima en soles / kg

0.395 soles/kg

Hallando el costo de mano de obra en soles /kg

0.339 soles/kg

Hallando el costo de servicios en soles /kg

0.068 soles/kg

COSTO TOTAL DE PRODUCCION	**Costo (S/. X Kg)**		**Participacion**
Depreciacion de Horno	-	soles/kg	0.00%
Materia Prima	0.395	soles/kg	49.30%
Mano de Obra	0.339	soles/kg	42.25%
Servicios	0.068	soles/kg	8.45%
TOTAL	**0.802**	**soles/kg**	**100.00%**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
BIBLIOTECA CENTRAL
U N U

Anexo 11: Costos de producción de carbón Az-HTAr.

COSTOS	**SOLES**		
COSTO DE HORNO	S/.	-	
MATERIA PRIMA	S/.	350.00	
MANO DE OBRA(ARMADO, TAPADO, HORNEADO) x horno	S/.	300.00	
SERVICIO(ENSACADO, PESADO) S/. 2.00 X SACO	S/.	60.00	
CANTIDAD DE MADERA POR HORNADA (Kg)		3,903.96	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA (%)		**26.64%**	**Azucar Huayo HTAr.**
RENDIMIENTO DEL CARBON (%)		22.42%	**Azucar Huayo HTAr.**
VIDA UTIL DE CARBON (meses)		0	0 dias
PROCESO DE CARBONIZACION (dias)		32	

Depreciacion hornos:	S/. X año	S/. X dia
	S/. -	S/. -

Hallando produccion de Carbon :

2,863.95	kg de madera seca
642.10	kg de carbon
20.07	kg/dia

Hallando la depreciacion del horno en soles /kg

- soles/kg

Hallando el costo de materia prima en soles / kg

0.545 soles/kg

Hallando el costo de mano de obra en soles /kg

0.467 soles/kg

Hallando el costo de servicios en soles /kg

0.093 soles/kg

COSTO TOTAL DE PRODUCCION	**Costo (S/. X Kg)**		**Participacion**
Depreciacion de Horno	-	soles/kg	0.00%
Materia Prima	0.545	soles/kg	49.30%
Mano de Obra	0.467	soles/kg	42.25%
Servicios	0.093	soles/kg	8.45%
TOTAL	**1.105**	**soles/kg**	**100.00%**