

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**TINGO MARIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

“Estudio de Rendimiento y Calidad de Carbón Vegetal de Vitex triflora J. (Chicharra caspi) e Inga edulis Arce (Shimbillo) obtenidos en horno de ladrillo en Tingo María”.

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**Segundo Humberto Quispe Collazos**

**PROMOCION 1 – 1987**

**PERU — 1,989.**

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

BACHILLER : SEGUNDO H. QUISPE COLLAZOS  
TITULO DE LA TESIS : "Estudio de Rendimiento y Calidad de Car  
bón Vegetal de Vitex triflora L. ( Chichá  
rra caspi) e Inga edulis Arce (Shimbálo)  
obtenidos en horno de ladrillo en Tingo  
María".

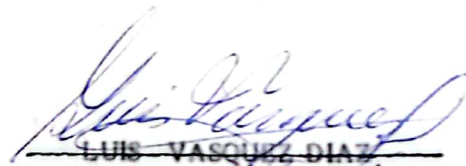
JURADO CALIFICADOR :  
Presidente : Ing. MANUEL R. BRAVO MORALES  
Vocal : Ing. LUIS G. VASQUEZ DIAZ  
Vocal : Ing. MAURO RODRIGUEZ CERRON  
Patrocinador : Ing. MARGARITA SUAREZ ALVITES  
Co-Patrocinador : Ing. RAFAEL BUENDIA ZARATE

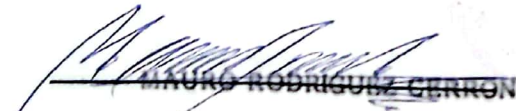
FECHA DE SUSTENTACION : 17 de Noviembre 1989.  
HORA DE SUSTENTACION : 05.p.m.  
CALIFICATIVO : REGULAR  
RESULTADO : APROBADO.

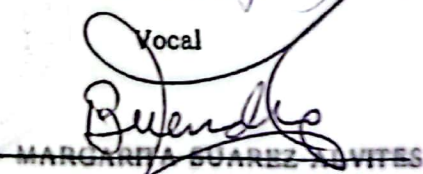
OBSERVACIONES : En hoja anexa

Tingo María, 21 de Junio de 1990.

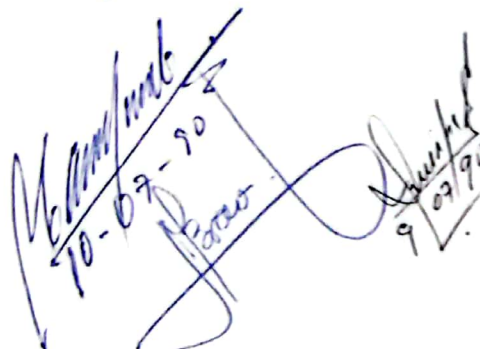
  
~~MANUEL BRAVO MORALES~~  
Presidente

  
~~LUIS VASQUEZ DIAZ~~  
Vocal

  
~~MAURO RODRIGUEZ CERRON~~  
Vocal

  
~~MARGARITA SUAREZ ALVITES~~  
Patrocinador

nrr/.

  
10-69-90  
9/09/90



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
TINGO MARÍA

*"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"*

DECLARACION JURADA DE AUTENCIDAD DE TESIS

NOSOTROS

ASESOR : MARGARITA SUAREZ ALVITES


BACHILLER : SEGUNDO HUMBERTO QUISPE COLLAZOS

AUTOR(ES) DEL TRABAJO DE TESIS TITULADO:

**"Estudio de Rendimiento y Calidad de Carbón Vegetal de Vitex triflora J, (Chicharra caspi) e Inga edulis Arce (Shimbillo) obtenidos en horno de ladrillo en Tingo María"**

DECLARAMOS BAJO JURAMENTO QUE, el trabajo de investigación es original, siendo resultado del esfuerzo y trabajo coordinado entre el bachiller y el asesor.

Nos ratificamos en lo expresado, en señal de lo cual firmamos el presente documento en la ciudad de Tingo Maria a los 21 días del mes de Enero del 2025.



Ing. MARGARITA SUAREZ ALVITES  
Asesor de tesis  
DNI: 07102952



Bach. SEGUNDO HUMBERTO QUISPE COLLAZOS  
Bachiller  
DNI : 06569060

A mis queridos padres: JOSE  
y ADELAIDA, quienes con sus  
incansables sacrificios e in  
menso Amor, estimularon en  
todo momento la culminación  
de este anhelo, consagrando  
así todos sus desvelos junto  
con la de mis hermanos; con  
eterna gratitud y cariño.

A mi esposa PATRICIA e hi  
jo ANDREY, por su afecto y  
cariño; quienes me dieron  
un estímulo para mi supera  
ción.

A mis queridos hermanos: MERY,  
BETTY, SANTOS, MELCHORITA, VIC  
TOR y CESAR; por su apoyo moral  
en mi formación profesional; y  
en especial a JOSE LUIS, por su  
constante apoyo y estímulo.

A mis primos: LADISLAO, ROSA,  
LUIS y SALOME, mi agradecimiento  
y cariño, con la estima y recono  
cimiento que se merecen.

## AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos:

A la Ing. FORESTAL MARGARITA SUAREZ ALVITES, por patrocinar la presente Tesis y por la orientación recibida.

Al Ing. Forestal RAFAEL BUENDIA ZARATE, por su colaboración como Copatrocinador en la ejecución de la presente Tesis.

Al Ing. Forestal DONATO DE LA CRUZ CRUZADO, por su amplia colaboración y Asesoramiento en la ejecución del presente trabajo.

A la Lic. ROSA RIMAPA NÁÑEZ, por su colaboración en la ejecución de los Análisis Estadísticos.

A la Srta. Secretaria RUTH ESTHER GARCIA CABALLERO, por haber realizado la labor de mecanografía y compaginado.

A la Oficina de Cooperación Popular - Programa de Apoyo al Ingreso Temporal (PAIT), por el apoyo económico brindado para la realización del presente trabajo.

Al Sr. Hno. O.F.M. LUIS GERMAI PEPIN, por su valiosa colaboración desinteresada en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A todo el personal Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, y de las demás Facultades, que directa o indirectamente transmitieron sus conocimientos para mi formación profesional.

A todos mis compañeros de Promoción y otros, por el intercambio de ideas y ayuda mútua en la culminación de mi carrera profesional.

## INDICE

	Pág.
I.- INTRODUCCION.....	11
II.- REVISION DE LITERATURA.....	14
2.1 Aspectos Generales.....	14
2.2 Producción y Rendimiento del Carbón.....	16
2.3 Calidad de Carbón.....	22
2.4 Costos.....	26
2.5 Especies.....	29
III.- MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1 Lugar de realización.....	33
3.2 Condiciones medio ambientales.....	33
3.3 Materiales y equipos.....	35
3.3.1 Especies.....	35
3.3.2 Procedencia y Recolección de las espe- cies.....	35
3.3.3 Identificación Botánica de las espe- cies.....	35
3.3.4 Materiales, equipos, Instrumentos y - Reactivos.....	37
3.4 Métodos y Procedimientos.....	39
3.4.1 Preparación de la leña para la carboni- zación.....	39
3.4.2 Proceso de secado de la leña.....	39
3.4.3 Construcción y operación del horno col- mena sencillo de ladrillo.....	40
3.4.3.1 Carga.....	40
3.4.3.2 Encendido del horno.....	41
3.4.3.3 Carbonización.....	42
3.4.3.4 Enfriamiento del horno.....	43
3.4.3.5 Descarga del horno y curado - del carbón vegetal.....	43



	Pág.
3.4.4 Análisis del carbón.....	44
3.4.4.1 Rendimiento.....	44
3.4.4.2 Poder calorífico.....	44
3.4.4.3 Composición química.....	48
3.4.4.3.1 Humedad.....	52
3.4.4.3.2 Sustancias volátiles.....	52
3.4.4.3.3 Cenizas.....	52
3.4.4.3.4 Carbono fijo.....	52
3.4.5 Análisis Estadístico.....	53
3.4.5.1 Diseño experimental.....	53
IV.- RESULTADOS.....	54
V.- DISCUSION.....	73
VI.- CONCLUSIONES.....	80
VII.- RECOMENDACIONES.....	82
VIII.- RESUMEN.....	83
IX.- BIBLIOGRAFIA.....	85
X.- ANEXOS.....	90

## INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro No</u>	<u>Págs.</u>
01 Observaciones climatológicas.....	34
02 Contenido de humedad de la leña al final del proceso de secado.....	54
03 Rendimientos obtenidos de carbón vegetal.....	56
04 Análisis de Variancia del rendimiento de car- bón vegetal.....	57
05 Costo de fabricación de carbón vegetal.....	59
06 Resultados del poder calórico del carbón ve- getal.....	61
07 Análisis de variancia del poder calorífico...	62
08 Contenido de humedad del carbón vegetal.....	63
09 Análisis de variancia del contenido de humedad	64
10 Contenido de sustancias volátiles del carbón vegetal.....	65
11 Análisis de variancia del porcentaje de sus - tancias volátiles.....	66
12 Resultados del porcentaje de cenizas del car- bón vegetal.....	67
13 Análisis de variancia del porcentaje de ceni- zas.....	68
14 Prueba de DUNCAN (5 %) del contenido de ceni- zas.....	68
15 Contenido de carbono fijo del carbón vegetal	70

16	Transformación de datos del carbono fijo.....	71
17	Análisis de variancia del carbono fijo.....	72

## INDICE DE GRAFICOS

<u>Gráfica N<sup>o</sup></u>	<u>Págs.</u>
01	Contenido de Humedad de la leña al final - del Proceso de Secado..... 55
02	Rendimientos Obtenidos de Carbón Vegetal - (Kg)..... 58
03	Poder Calorífico del Carbón Vegetal (Kcal/ Kg)..... 62
04	Contenido de Humedad del Carbón Vegetal - (%)..... 64
05	Contenido de Sustancias Volátiles (%)..... 66
06	Contenido de Cenizas del Carbón Vegetal (%) 69
07	Contenido de Carbono fijo del Carbón Vege- tal (%)..... 72
08	Pérdida de Peso en el Proceso de secado de la especie <u>Inga edulis</u> por Estereo..... 91
09	Pérdida de peso en el Proceso de Secado de la especie <u>Vitex triflora</u> por Estereo..... 91
10	Características de la Unidad Experimental. 92
11	Diseño del Horno para el Estudio..... 93

## CAPITULO I

### I.- INTRODUCCION.-

Los problemas energéticos en relación a la población rural del mundo, obliga al hombre a aumentar drásticamente el consumo de los combustibles fósiles a tal punto que las reservas de estos recursos descenderán en los próximos años; Crisis energética que ha puesto en evidencia el interés de usar las materias primas renovables en lugar de Petróleo y combustibles derivados, circunstancia que hace que el recurso forestal como fuente proveedora de energía surja una vez más como una alternativa al problema energético.

El Perú posee un valioso recurso forestal que adecuadamente aprovechado puede representar un gran aporte al desarrollo nacional. Lamentablemente hay dificultades técnicas y económicas que impiden una utilización integral de estos recursos, particularmente de los residuos de la madera que significan un importante potencial energético.

En la Selva Alta y Selva Baja del Perú, la presencia de purmas y plantaciones de cultivos permanentes bajo dosel arbóreo, inducen planificar el uso económico de la vegetación, a través de la producción de carbón como un valor económico agregado. El actual abastecimiento de carbón en la zona del Alto Huallaga, proviene

de Pucallpa, como resultado de la quema de desperdicios de la industria del aserrío.

La abundancia de especies como Inga edulis (Shimbillo) y Vitex triflora (Chicharra caspi), muestran además de su ya uso como leña, la posibilidad de dar un valor agregado después de su transformación como carbón.

La tradicional producción de carbón en apilado tiene un alto desperdicio, bajo rendimiento y mala calidad del carbón. Los hornos metálicos en cambio se ajustan a altas inversiones; por ello es fundamental encontrar el tipo de horno barato que dé un carbón de alto rendimiento y buena calidad.

En la zona del Alto Hualaga, el carbón proveniente de Pucallpa llega a un costo altísimo al consumidor, de I/. 2,000.00/kilo de carbón; y existiendo materia prima potencial en abundancia; a través de este trabajo se intenta buscar la forma más económica de producir un carbón de buena calidad y alto rendimiento.

El presente trabajo tiene como Objetivos:

- Determinar los rendimientos y los costos de producción del carbón vegetal, obtenidos a partir de las especies forestales Inga edulis (Shimbillo) y Vitex triflora (Chicharra caspi), con el uso de hornos de ladrillos.

- Analizar la calidad del carbón obtenido a través de sus propiedades químicas y poder calorífico.

## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1 ASPECTOS GENERALES.-

La mitad de la madera del mundo se usa como leña, por paradójico que parezca, el uso más importante corresponde al consumo de leña, que nada tiene que ver con la industria, alrededor de la mitad de madera que se saca de los bosques y montes, en el mundo entero se utilizan como combustibles para cocinas y estufas domésticas (5).

El consumo de energía doméstica varía en función al clima y el número de miembros de la familia y las costumbres culinarias, en general se pueden estimar que fluctúan alrededor de 1.25 millones de kilocalorías de insumo per cápita al año y más de 6 millones de kilocalorias para cocinar y para calefacción en zonas frías (2).

La problemática energética en el mundo, obedece al bajo nivel de desarrollo industrial y a la desigual distribución de los recursos de energía, donde 7 países poseen el 98 % de Petróleo, el 92 % de carbón y el 80 % de potencial hidroeléctrico, los combustibles son en general escasos en Honduras, Panamá y Paraguay, dependiendo de fuentes importadas de energía (22).

Por largo tiempo el carbón de leña ha sido el úni



co combustible y agente reductor en la historia de la producción de hierro. El hombre desde épocas remotas buscó el carbón vegetal como fuente de energía para satisfacer sus necesidades. En los países en desarrollo, se usa principalmente como combustible doméstico, para cocinar y como calefacción, pero es también un importante combustible industrial (10).

La agricultura y la silvicultura consideradas como sistemas y dentro de él sus componentes energéticos como parte de otros sistemas más amplios de energía rural, pone de manifiesto la necesidad de examinar las cuestiones energéticas relacionadas con la agricultura, tanto desde el punto de vista de la utilización como de la producción de energía (11).

En la historia de la leña en el mundo en desarrollo se refleja la dependencia de las comunidades rurales de los bosques y los árboles, con el correr del tiempo la leña ha ido escaseando y el mismo tiempo se ha ido degradando el medio ambiente en situaciones de escasez , uno de los motivos bién palpables es la presión demográfica (4). La solución del problema debe buscarse a través del estudio de especies aptas para la producción de leña, tanto nativas como exóticas de rápido crecimiento (15).

La leña tiene una función preponderante en el apro  
vicionamiento energético de las masas rurales y de los  
grupos rurales, ocupando un lugar especial, debido a la  
importancia del consumo doméstico de energía por el he  
cho de que se produce dentro del mismo sistema; su uti  
lización en zonas rurales para usos domésticos o para  
las industrias aldeanas, se encuentra a menudo en for  
mas económicas tradicionales de subsistencia, predomi  
nando el autoconsumo (20).

Más de 100 millones de personas viven en zonas donde  
de hay ya grave escasez de leña, y en una superficie mu  
cho mayor, las talas de árboles y arbustos son superio  
res a los rebrotes; la escasez afectará a más de 2,000  
millones de personas al final del siglo. La productivi  
dad de los actuales recursos de leña deben mejorarse  
mediante medidas de conservación y ordenamiento del bos  
que (26).

## 2.2 PRODUCCION Y RENDIMIENTO DEL CARBON.-

Se estima que el 60 % de toda la madera extraída  
en el mundo, se quema como combustible, ya sea directa  
mente o transformándola en carbón vegetal. La propor  
ción de leña utilizada para la fabricación de carbón ve  
getal, puede sólo estimarse siendo alrededor del 25 %  
de la cantidad arriba mencionada, o sea cerca de 400 mi

llones de metros cúbicos por año (10).

Carbón vegetal es el residuo sólido que queda cuando se "carboniza" la madera, o se la "hidroliza", en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se hace sobre la entrada del aire, durante el proceso de pirólisis o de carbonización, para que la madera no se quemé simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal (10).

Mediante la carbonización, el volumen de la madera disminuye 50 % aproximadamente, con un flujo de aire controlado para evitar la combustión completa (21).

Los pasos en el proceso de fabricación de carbón vegetal, puede ser dividida en varias fases o unidades operativas (10); que son:

- Cultivo de la leña.
- Cosecha de la madera.
- Secado y preparación de la madera para la carbonización.
- Carbonización de la madera para obtener el carbón vegetal.
- Tamizado, almacenamiento y transporte a depósitos o puntos de distribución.

La carbonización se lleva a cabo (21) en las si guientes etapas:

- Después de elevar la temperatura de la madera mediante fuego o calor, el agua que contiene se elimina.
- Cuando la temperatura asciende sobre 270 °C se liberan de la madera los gases y líquidos volátiles. Durante esta etapa, estos gases volátiles se queman fácilmente en la presencia de aire, de modo que no se necesita ninguna otra fuente de calor.

La temperatura se eleva hasta alrededor de 400 - 600 °C dependiendo del tipo de horno y flujo de aire.

- Una vez que la mayoría de los gases volátiles se han liberado de la madera, el humo se vuelve ténue y pasa de gris a azulino o transparente. En esta etapa, la carbonización ha terminado y la madera se ha transformado en carbón vegetal. Flujos adicionales de aire van a reducir el carbón vegetal a cenizas. Por lo tanto, hay que cortar el flujo de aire y dejar enfriar el carbón vegetal antes de permitir su contacto con el aire libre, por el peligro de autoencendido.

La carbonización rápida a bajas temperaturas resulta en carbón vegetal con un contenido de carbono fijo de 60-80 % y un alto porcentaje de volátiles. Se enen

ciende fácilmente y se prefiere para uso doméstico. La carbonización lenta a altas temperaturas dá un contenido de carbono fijo de 80-90 %, y menores volátiles, y en general se prefiere para usos industriales. La carbonización lenta a baja temperatura permite un rendimiento más elevado de carbón vegetal, pero puede aumentar el costo de producción, (21).

Tradicionalmente el carbón vegetal se hace en hornos de tierra. Estos pueden ser fosas en terreno plano o en una ladera, o parvas en forma rectangular o circular. En vez de tierra se puede usar aserrín o cáscara de arroz para cubrir y sellar los hornos. Estos hornos se mejoran mediante el uso de chimineas para controlar y acelerar la carbonización. Para un uso más extensivo y durante un período mayor de tiempo los hornos de la drillo con chimineas son más comunes (21).

El principal parámetro que regula la composición química del carbón en términos de carbono fijo y material volátiles, durante la carbonización de la madera, es la temperatura (19).

El carbón vegetal se compone de humedad, materias volátiles, carbono fijo y cenizas; la determinación de estos componentes es el objeto del análisis químico inmediato. La humedad del carbón va a depender básicamen

te de dos factores: De la temperatura en que fue obtenida y la humedad del medio ambiente en el cual está ex puesto. La materia volátil está compuesta principalmente de hidrógeno, hidrocarburos, CO y CO<sub>2</sub>. La ceniza es el residuo de óxidos minerales obtenidos por la combustión completa del carbón. El carbono fijo es calculado sustrayéndose de 100 la suma de los porcentajes de humedad, materia volátil y cenizas. La composición química del carbón vegetal proveniente de una determinada especie de madera, de una región bien definida, es dependiente principalmente de la temperatura de carbonización (1).

El rendimiento de carbón de madera en peso y la proporción de carbono contenido en ella depende de la temperatura final de la destilación, indica que para maderas exentas de agua y carbonizadas a 400 °C determinó aproximadamente (29), los siguientes resultados:

- 1 Kg de madera de frondosas; 310 gr de carbón.
- 1 m<sup>3</sup> de madera de frondosas: 110 Kg de carbón.

En la zona de Huancayo, la madera es procesada en hornos longitudinales, que se cavan en el suelo, cuya capacidad de carga es aproximadamente de 8 m<sup>3</sup> a 12 m<sup>3</sup> - de madera rolliza, obteniéndose un rendimiento entre - 1,500 Kg a 1,800 Kg de carbón (27).

Puede decirse en general, que con el carbón vegetal se pierde menos energía que con la leña, si la energía útil derivada de un Kg de leña usado directamente - es menor que la energía útil obtenida del mismo Kg de leña convertida en carbón. De hecho un Kg de leña produce  $3,500 \text{ Kcal/kg} \times 0.08$  (rendimiento termoenergético) = 280 Kcal, un Kg de leña transformado en carbón (con un rendimiento de carbonización del 20 %) produce  $1 \times 0.20 \times 0.28$  (rendimiento termoenergético)  $\times 7,500 \text{ Kcal/Kg} = 420 \text{ Kcal}$ . Hay una pérdida neta de 140 Kcal de energía, si en vez de transformar la leña en carbón, (incluso con un rendimiento bajo de carbonización del 20 %), se le usa directamente en un hornillo con un aprovechamiento del 8 % menos, (16).

### 2.3 CALIDAD DEL CARBON.-

El carbón vegetal a pesar de que puede obtenerse de maderas de muchos árboles y de diferentes métodos de manufactura, es en contraste con el carbón mineral un combustible relativamente homogéneo y segura. Contiene por lo general cerca del 80 % de carbono y un 20 % de componentes volátiles, y su contenido de cenizas es significativo. Su densidad es de  $400 \text{ Kg/m}^3$ , es decir, de un tercio a un cuarto de la del carbón. Su potencia calorífica es de unos  $7,000 \text{ Kcal/kg}$ , aproximadamente la mis

Por lo general todas las especies de madera pueden ser carbonizadas para producir carbón vegetal utilizable. En la mayoría de sus utilidades no es recomendable el carbón vegetal de corteza debido a que ésta tiene un alto contenido de cenizas. Por eso es necesario elegir y manejar una fuente de madera leñosa para obtener carbón vegetal con óptimas propiedades. Lo que más cuenta es la masa de carbón vegetal comerciable producida por masa de material leñoso, en tal sentido el volumen de madera que crece por hectárea es solo un indicador - aproximado de la substancia leñosa producida y que ante un aumento y disminución del volumen podemos determinar densidades, rendimientos altos y bajos de carbón por unidad de volumen de madera (10).

La leña es materia leñosa y celulósica de troncos, ramas y otras partes de los árboles y arbustos que se utiliza como combustible para cocinar, para calefacción directa, no sólo en hogares, sino también en industrias rurales; zonas o países con un balance muy negativo en las que las disponibilidades de leña son tan notoriamente insuficientes, que ni siquiera con una explotación - excesiva de los recursos sería posible abastecer suficientemente a la población, en conclusión, el consumo de leña es netamente inferior a las necesidades mínimas (20).



ma que la de un carbón bituminoso de buena calidad. Una vez colocado en el horno, el carbón vegetal arde sin interrupción y sin humo, siempre que disponga de la cantidad suficiente de oxígeno. Como combustible, es considerablemente más reactivo que el carbón mineral y arde ininterrumpidamente, aún en pequeñas cantidades. Esta reactividad se debe en gran parte a que su estructura - es mucho más porosa que la del carbón mineral, lo que permite un fácil acceso del oxígeno a la combustión (13).

Los principales factores que influyen en la densidad y en la dureza del carbón de leña son: La especie de madera, tamaño de la leña con que se alimenta el horno, métodos de producción del carbón. La madera densa suele dar carbón de leña dura y denso, y ha de preferir sela a la madera más ligera (12).

El carbón de leña conserva todo el contenido de ceniza de la madera, que varía considerablemente según la especie. El contenido de ceniza total deberá ser lo más bajo posible. Se ha señalado la cifra de 0.24 % como límite óptimo y un límite máximo de 1.5 %, es apreciable la variación del contenido de ceniza de las frondosas tropicales, pues algunas poseen una alta propor - ción silícea (12).

Las cifras más corrientes sobre el contenido fosfó

rico del carbón de leña seca son: Alrededor del 0,01% para el carbón de maderas blandas y el 0.04 % aproximadamente para el carbón de frondosas (abedul, alisos, álamo, temblón)(12).

Las dos principales propiedades del carbón de leña que tienen importancia para las operaciones de altos hornos son la resistencia a la compresión y la composición química. Es conveniente que el carbón posea una gran resistencia a la compresión para evitar su trituración en el horno, lo cual reduce la altura posible de los altos hornos, y asimismo la producción específica por unidad de volumen (12).

Comparando con el carbón metalúrgico, el carbón presenta propiedades físicas y químicas muy diferentes. Señalando que el carbón vegetal tiene baja densidad, alta reactividad, baja resistencia mecánica y bajo contenido de cenizas (1).

Entre las propiedades del carbón vegetal, que tiene efecto en el comportamiento y performanse de los altos hornos (19), las que más influyen son las siguientes:

- Composición química.
- Densidad.
- Reactividad.

- Resistencia mecánica.
- Higroscopicidad.

La calidad del carbón a ser obtenido, depende de:

- Especie de la madera.
- Dimensiones de la madera.
- Método de carbonización.
- Tiempo de carbonización.

En cuanto a dimensiones de la madera, en pedazos pequeños producen carbón más duro y más denso que en pedazos grandes, porque tiene menos tendencia a detonar durante la carbonización y las grietas producidas por la contracción son menos numerosas (7).

El comportamiento térmico de la madera refleja la suma de las respuestas térmicas de sus tres mayores componentes. La hemicelulosa son los menos estables y se descomponen entre 225 a 325 °C, la celulosa se degrada a temperaturas más altas entre 325 a 375 °C; la lignina es más estable y se descompone entre 250 a 500 °C. La lignina contribuye predominantemente para la formación de residuo carbonífero y que los polisacáridos son la principal fuente de productos volátiles. La ruptura de las ligaduras glucosídicas en la celulosa sucede a temperaturas encima de 300 °C con producción de ácido acético, acetona, fenoles y agua (19).

El contenido de energía de 1 Kg de carbón vegetal es el doble que 1 Kg de madera (21).

La humedad de la madera incide fuertemente en el calor útil producido (23).

#### 2.4 COSTOS.-

Los precios actuales de la leña y del carbón vegetal favorecen su consumo en las ciudades. De hecho, si se considera la energía útil, la caloría producida por el carbón vegetal es más barata que la producida por la leña (16).

Los objetivos básicos es desarrollar las técnicas adecuadas para aumentar la producción de leña a bajo costo, y así mejorar el bienestar de las clases de bajos recursos económicos, tanto rural como urbano (8),

El producto leña en zonas distantes al mercado de consumo, su precio es caro por el transporte que cada día es más costoso; pero si en estas zonas el producto leña se transformara en carbón vegetal, su producción será más rentable, ya que se transportaría solamente a los lugares de consumo, En la zona de Tingo María el consumo de carbón vegetal supera los 50 Kg por día, duplicándose éste para Tocache, Uchiza, Progreso, Aucayacu. La producción proveniente del desperdicio de serrín (especies varias) de madera dura en Pucallpa, llega

a Tingo María con un costo al público consumidor recargado (I/. 500.00/Kg), por el alto costo del flete por kilo de carbón vegetal.

Los datos e información disponibles obtenidos en las pocas encuestas realizadas indican que la industria del carbón vegetal proporciona beneficios económicos - apreciables a los inversores. La rentabilidad en este caso, equivale aproximadamente a los ingresos netos registrados o estimados del propietario o de los trabajadores. Una característica digna de tener en cuenta con respecto a la rentabilidad es su variación según las zonas geográficas, los tipos de empresa y el nivel de operaciones de éstas. Los beneficios netos aumentan a medida que el producto pasa de un tipo de empresa a otra en la red de producción y distribución. Las tasas de beneficios son desproporcionadamente mayores entre las de producción y elaboración (17).

El carbón vegetal es un combustible más liviano y de mayor valor que la leña; puede ser transportado económicamente sobre distancias de hasta 1,000 Km o más . Pesa solamente alrededor de 20 % del peso de la maderaseca al aire. El precio de 1 Kg de carbón vegetal puede ser hasta 10 veces mayor que el precio de 1 Kg de leña (21).

Con una producción de 2 m<sup>3</sup> apilado por día y trabajador, listos para la carbonización, la producción mensual llegará a 156 m<sup>3</sup>. apilados. Si el salario es de 1 \$ EE.UU. por día y por trabajador, el costo sería de 0,50 \$ EE.UU. para preparar 1 m<sup>3</sup> apilado ó 78 \$ EE.UU.- para preparar 156 m<sup>3</sup> (21).

Si el rendimiento aumenta a 12 toneladas por mes, el costo de producción por tonelada disminuye a 33,7 \$ EE.UU. por tonelada. Si el rendimiento disminuye a sólo 8 toneladas, el costo de producción aumenta a 45,5 \$ EE.UU. por tonelada. Es por lo tanto de importancia crucial alcanzar el rendimiento máximo de carbonización (21).

El costo de producción de carbón vegetal depende - del precio de las materias primas, así como del costo - de la mano de obra y del proceso de carbonización. En hornos tradicionales es muy difícil obtener los costos de producción de carbón vegetal a causa de los rendimientos tan variables, pero según la experiencia obtenida - en Uganda, donde para obtener una tonelada aproximada - mente, hacía falta por término medio un hombre al mes que apilara 15.4 m<sup>3</sup> de madera, la mano de obra, si se le atribuía un valor marginal costaría unos 20 dólares por tonelada (9).

2.5 ESPECIES.-

Tres grupos principales de árboles originarios de Australia, están adquiriendo gran importancia en un mundo en el cual la demanda energética es considerable. - Acacias, Eucalyptos y Casuarinas, constituyen fuentes de madera y combustible; en muchos países y varios continentes, son árboles libres de enfermedades y de crecimiento rápido, y que prosperan en suelos poco fértiles, (30).

Las coníferas producen un carbón más blando, más friable que las latifoliadas. El Eucalypto es una especie que mayormente se prefiere para fines de obtención de carbón vegetal. Pero es necesario realizar una investigación para determinar cuáles especies y qué régimen de ordenación, producen al máximo rendimiento del carbón vegetal, ya que todavía no se tiene contestaciones claras (10).

Existen evidencias de que las maderas ricas en carbohidratos son las que dan menos carbón y más piroleñoso. A la inversa, las maderas que contienen mucha lignina y extractivos tienen mejor rendimiento en carbón. Asimismo se ha determinado que existe una fuerte correlación positiva entre la madera y el carbón en cuanto al contenido de cenizas (1).

Entre los materiales carbonáceos están diversos tipos de madera como el abedul, pino, cedro, sean éstas en forma de desperdicios tal como piezas pequeñas, raspaduras, aserrín, troncos y ramas; diversas formas de celulosa como desechos de caña, coronta de maíz, cáscaras - tallos, bagazo; carbón de diversos géneros, lignito, - turba; residuos del pilado de arroz y del descascarado de café, cocoa; desechos industriales, licor y extractos resultante de la fabricación de papel; corteza y cáscara de nuez, corteza de coco, pepas de melocotón y almendras de frutas, entre otras (18).

El género Inga sp. conocido vulgarmente como ( guaba), (pacay), (shimbillo); está ampliamente representado en el trópico Americano, se origina en la Región Amazónica y llega hasta el Sur de México, el uso de árboles de Inga sp como sombra se intensificó después de la introducción del café en América, en Costa Rica es el más utilizado como leña (3).

El Género Inga edulis, conocido vernacularmente como: (Shimbillo), (Guaba), (Guabilla), (Pacae), (Intsipa), (Rechena), (Senan), (Ucshaquiro) e (Inga); es muy extenso, está constituido por unas 350 especies tropicales y subtropicales. En el territorio Peruano, el número de especies debe hallarse alrededor de 70. En particular-



muchas especies de Inga son comestibles (*I. edulis*, *I. feuillei*, *I. ingoides*, *I. thibaudiana*, *I. ruziana*, entre otras); son árboles de fuste regular, ramificado - desde el primer tercio, nudoso y tortuoso, copa en típica forma de parasol, hojas compuestas, alternas, paripinnada; Raquis acanalado, no alado, provisto de glándulas interfoliares; flores blancas aromáticas, frutos - legumbres de color verde con arilo algodonoso, blanco y dulce; habitan en zonas aluviales y ribereñas, en terrazas y laderas con suelos arenosos, sueltos, a veces con drenaje pobre o inundables. Es muy abundante en estado silvestre; se encuentran distribuidos en la Amazonía Peruana y Brasileña. En el Perú, reportado en Amazonas, Junín, Huánuco, Loreto, San Martín y Ucayali (25).

El Género Inga edulis por sus múltiples aplicaciones y su variedad de especies, es sin duda, uno de los más importantes de la zona en materia de protección ambiental y producción de biomasa. En 1943, Mac Bride - describió 57 especies de Inga en el Perú. En la Selva Central se han encontrado 27 especies, y sólo se conoce la identificación exacta de 5 de ellas (6).

El Género Vitex triflora, conocido vernacularmente como (Chicharra caspi), (Pié de perro), se encuentra en la zona del alto Huallaga en abundancia, en purmas y en

plantaciones asociadas. Su abundancia es por regeneración natural, de rápido crecimiento, de 25 cm de D.A.P. y 15 m de altura en 15 años; no son exigentes al suelo, pues se les encuentra presente en áreas degradadas, indicar también que puede considerarse para un uso comercial .

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCION.-

El presente estudio se realizó en el área física - de la Unidad de Industria de la Madera de la facultad de Recursos Naturales Renovables, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco. A una altitud de 660 m.s.n.m., y geográficamente está ubicada a una Latitud de 09°09'00" Sur, Longitud 75°57'00" Oeste; se contó con los servicios de Análisis Químicos del Laboratorio de Pulpa y Papel del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria "La Molina", y del Laboratorio de Análisis Químico del Instituto de Investigación Nutricional, Lima.

#### 3.2 CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES.-

El clima corresponde a un bosque muy húmedo Pre Montano Sub-Tropical (bmh-Pm-St), con una temperatura promedio de 24 °C y una precipitación promedio anual de 3,400 mm.

En el Cuadro N° 01 se muestran datos registrados - por la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones T. M., correspondiente a los meses durante el cual se realizó el trabajo.

CUADRO N° 01.- Observaciones Meteorológicas Registradas durante el período experimental: Noviembre de 1988 a Junio de 1989.

=====

PARAMETRO	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO
Temp. Máx. °C	28.9	28.1	27.9	28.0	28.4	28.9	29.2	28.4	28.5
Temp. Min. °C	20.3	19.9	19.7	19.7	19.8	20.3	19.0	18.8	19.7
Temp. Med. °C	24.6	24.0	23.8	23.8	24.1	24.6	24.1	23.6	24.1
Hºro (%)	88	86	82	86	84	86	86	84	85.3
Precip. mm.	268.1	311.7	319.2	463.1	446.3	524.3	93.9	83.6	313.8

=====

Fuente: Estación Experimental José Abelardo Quiñones - Tingo María.

### 3.3 MATERIALES Y EQUIPOS.-

#### 3.3.1 Especies:

Se emplearon muestras maderables de:

<u>Nombre común</u>	<u>Nombre científico</u>
Shimbillo	<u>Inga edulis</u>
Chicharra caspi	<u>Vitex triflora</u>

#### 3.3.2 Procedencia y Recolección de las especies:

Las especies maderables empleadas para el estudio fueron extraídas del Bosque Reservado - de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS). La leña para el presente estudio provinieron de cuatro árboles de Vitex triflora y dos árboles de Inga edulis.

#### 3.3.3 Identificación Botánica de las especies:

La identificación de las especies en estudio se realizó por comparación con un patrón - existente en el Laboratorio de Dendrología del Departamento de Manejo Forestal de la Universidad Nacional Agraria "La Molina".

#### Taxonomía de las especies,

Reyno	: Vegetal
Sub-Reyno	: Embryophyta
División	: Fanerogamas
Sub-División	: Angiospermas

Clase : Dicotiledóneas  
Sub-clase : Arquiclamideas  
Orden : Rosales  
Familia : Mimosoidea  
Género : Inga  
Especie : edulis  
Nombre común : Shimbillo, Guabilla, Pacay, Int  
sipa, Rechena, Senan, Ucshaqui-  
no.

Reyno : Vegetal  
Sub-Reyno : Embryophyta  
División : Fanerógamas  
Sub-División : Angiospermas.  
Clase : Dicotyledoneas.  
Sub-Clase : Sympetalae (Metachlamydeae)  
Orden : Tubiflorales  
Familia : Verbenaceae  
Género : Vitex  
Especie : Triflora  
Nombre común : Chicharra caspi, Pié de perro.

3.3.4 Materiales -Equipos-Instrumentos-Reactivos:

- Para la Carbonización,
  - a) Motosierra Still.
  - b) Horno simple de ladrillo.
  - c) Balanza común.
  - d) Tractor con remolque.
  - e) Camioneta Pick-Up.
  - f) Rastrillo, guantes, sacos de yute.
  - g) Arcilla, yeso.
  - h) Machete, lampa, picos, hachas.
  - i) Wincha, cordel.
  - j) Libreta de campo.
- Para la Molienda.
  - a) Molino de martillo.
  - b) Tamizador vibratorio.
  - c) Mallas de tamizar ASTM. 100, 60, 40, 20
- Para Análisis.
  - a) Buretas de 50 ml.
  - b) Pipetas.
  - c) Erlenmeyer de 125, 250, 500 ml.
  - d) Probetas.
  - e) Cápsulas de porcelana.
  - f) Desecador de vidrio.
  - g) Vasos de 50, 100, 250 ml.

- h) Agitador magnético.
- i) Bomba calorimétrica.
- j) Alambre de Micrón.
- k) Potenciómetro.
- l) Picetas.
- m) Agua destilada.
- n) Termómetro.
- ñ) Crisoles de porcelana, a 41 por 37 mm con tapas de porcelana.
- o) Balanzas Analíticas con una capacidad de - por lo menos 100 gr y una sensibilidad de 0.1 mg.
- p) Mufla a temperatura controlada a  $750 \pm 5$  °C y  $950 \pm 5$  °C.
- q) Horno con control automático de temperatura a  $105$  °C  $\pm 1$  °C.
- r) Cronómetro.
- s) Magneto.
- t) Kitasatos de 500, 1,000 ml
- u) Balón de 1,000 ml
- v) Buretas.
- w) Matraz de 1,000 ml
- x) Pinzas.
- y) Cloruro de Calcio, como agente secante.



### 3.4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.-

#### 3.4.1 Preparación de la leña para la Carbonización:

Se emplearon 4 árboles para Vitex triflora y 2 árboles para Inga edulis; en trozas de 50 cm de longitud, procediendo a convertirlo en leña con un volumen de 4 m<sup>3</sup> (4 estereos) por especie haciendo un total de 8 m<sup>3</sup>, equivalente a 8 estereos, (Vea Gráfica N<sup>o</sup> 10), con una densidad básica de 0.603 gr/cm<sup>3</sup> y 0.528 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

#### 3.4.2 Proceso de secado de la leña:

El método fue de secado natural al aire, - teniendo en cuenta que es un sistema muy económico, relativamente en función a los costos de Energía; proceso que es largo debido a la baja velocidad del secado, según las condiciones ambientales, de ese período. Esto duró 5 meses, hasta obtener un porcentaje de humedad de 34.36 % en caso de Inga edulis y 39.82 % en caso de Vitex triflora; cuyo porcentaje de humedad inicial fue de 62.79 % y 70.69 % respectivamente - (ver gráfica N<sup>o</sup> 8 y 9).

### 3.4.3 Construcción y Operación del horno Colmena sencillo de ladrillos:

El horno fue construido de 600 ladrillos - de arcilla quemados, de 23 x 10 x 7 cm y mortero compuesto de 0.12 m<sup>3</sup> de arena fina y 0.36 m<sup>3</sup> de arcilla. El diámetro interior es de 1.60 m - y la altura interior 1.30 m.

El horno tiene 3 chimeneas con una superficie interior de 4 pulgadas y una puerta de 55 cm de ancho por 70 cm de alto. La pared del horno se levanta hasta 1 m de altura, a partir de esta altura empezamos a cerrar cuidadosamente el horno dejando 4 entradas de aire de 10 cm de ancho por una altura de 5 cm y una entrada de aire en la parte superior céntrica del horno con un diámetro de 4 pulgadas.

Finalmente se retoca cuidadosamente el horno con arcilla + yeso para tapar toda entrada de aire, como también darle refractariedad al horno (ver Gráfica N<sup>o</sup> 11).

#### 3.4.3.1 Carga

Se colocó la leña verticalmente, las piezas más delgadas contra la pared, las más gruesas hacia el centro -

del horno, donde la temperatura será mas alta, Las bases aguzadas de las leñas sobre el piso del horno, facilitó la circulación de los gases, luego la madera debajo del techo en cúpulas se colocó horizontalmente sobre la madera colocada verticalmente, relleno bien dentro del domo, para que el encendido sea mas fácil. Cerrar la puerta de carga con ladrillo y arcilla. Una vez que el horno esté listo para el encendido, se dejan abiertas todas las bocas y aberturas de 5 x 10 cm.

#### 3.4.3.2 Encendido del horno,

Por la apertura central en el domo, se echó medio galón de kerosene y se procedió a prender mediante una mecha, ya que el proceso de carbonización debe proceder desde arriba hacia abajo. Al principio de la etapa de encendido, el humo saldrá del foro de Ignición, antes blanco y pocos minutos después coloreado oscuro, señal de que el fuego ha prendido.

### 3.4.3.3 Carbonización,

Inmediatamente después del encendido, el humo sale de las bocas de descarga, inicialmente coloreado blanco, - significando que la superficie de carbonización está aumentando, desde este momento en adelante el horno funciona exclusivamente con aire controlado, - que viene de las bocas de aire y por la corriente de las chimeneas que expurgan los gases de carbonización. - El proceso de carbonización avanza desde arriba hacia abajo y también horizontalmente. Debiendo vigilarse las chimeneas para estar seguros que funcionan uniformemente, lo que se obtiene controlando la corriente de aire que entra por las bocas de aire. El supervisor o fueguista controla la carbonización mirando el color del humo que sale de las chimeneas. La carbonización avanza, siempre que el color sea blanco. Una vez que el humo empieza a cambiar de color a un blanco azulado y

luego a azul transparente. Cuando este color se estabiliza, deberá cerrarse las bocas de aire. Al final de la carbonización el humo se pone incoloro y transparente momento en el cual deberá cerrarse todas las aperturas, ellas serán pinceladas cuidadosamente con arcilla diluída para evitar toda entrada de aire.

3.4.3.4 Enfriamiento del horno,

Una vez cerrada todas las aperturas de entrada de aire al horno, se dejó enfriar de 5 a 6 días, evitando que el fuego continúe y provoque la pérdida de carbón por su combustión y aumente el contenido de cenizas.

3.4.3.5 Descarga del horno y curado del carbón vegetal,

Cuando el horno está completamente frío, se abre y se descarga el carbón. Para evitar fuegos espontáneos no debe nunca abrirse el horno hasta que no esté lo suficientemente frío. El carbón vegetal descargado se junta en un montón

ton y se deja por un tiempo para que se airee completamente, que es lo que se llama el curado. El carbón fresco absorbe oxígeno; esta reacción química viene acompañada por un aumento de la temperatura que puede provocar un encendido espontáneo.

#### 3.4.4 Análisis del carbón:

Una vez obtenido el carbón vegetal se realizaron las determinaciones siguientes:

##### 3.4.4.1 Rendimiento,

Cálculo numérico determinado por la expresión:

$$\frac{\text{Peso de carbón}}{\text{Peso de madera}} \times 100$$

##### 3.4.4.2 Poder Calorífico,

Se colocó exactamente 10 cm de alambre fusible a los electrodos de la bomba calorimétrica tratando que el seño - que éste forma, esté en contacto con la muestra y se añadió 1 ml de agua destilada dentro de la bomba.

Luego se colocó la copa de combustión dentro de la bomba y ajustando la

tapa con presión de la mano.

Separando la tapa de la válvula de ingreso de oxígeno ubicado en la parte superior de la bomba se adaptó ésta al tanque de oxígeno, luego se elevó la presión de la bomba a 30 atmósferas y manteniéndola por 15 segundos, en seguida se colocó la bomba en el balde del calorímetro conectándose el alambre a los electrodos de la bomba y añadiéndose al balde 2 litros de agua destilada.

Se cerró cuidadosamente la cubierta del calorímetro con los termómetros en la posición superior, poniendo en marcha los agitadores de la camiseta del calorímetro, regular al flujo de agua caliente para lograr la misma temperatura en la bomba y la camiseta.

Cuando se ha mantenido constante en ambos termómetros durante 5 minutos, se anotó la temperatura del termómetro de la mano derecha con una aproximación de 0.05 °F, se cerró la llave de agua fría y se abrió la de agua caliente, e

inmediatamente se presionó el botón de disparo por un tiempo no mayor de 5 segundos.

La temperatura de la camiseta se aproximó a la temperatura del calorímetro con la mayor rapidez posible, hasta que la diferencia de temperatura entre ambos fuera menor a 0.5 °F. Se mantuvo la misma temperatura en la bomba y la camiseta por 10 minutos, anotando la temperatura final del termómetro de la mano derecha, con una aproximación de 0.005 °F, cuando éste llegó a estabilizarse.

Se desmontó la bomba y se abrió lentamente la válvula de salida de gas, separando la tapa y lavando cuidadosamente los electrodos y la bomba con agua destilada, colectando los lavajes en un frasco, a los que se agregaron 3 gotas de una solución metil naranja y titulando con una solución 0.25 N de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (carbonato de sodio).

Se recuperó el alambre restante y-



Se calculó las calorías del que se quemó.

Cálculo:

$$\text{P.C.S.} = \frac{Q \times \text{At} - \text{Cal} - \text{Ml Na}_2\text{CO}_3}{\text{Pm}}$$

(Cal/g)

Pm

Donde:

P.C.S. = Poder calorífico superior.

Q. = Equivalente en agua del calorímetro de la bomba de sus accesorios y del agua introducido en la bomba, determinado mediante combustión completa de cantidad conocida de ácido benzoico.

Para el caso Q = 1173 Cal por °F.

At = Diferencia de temperatura - inicial y final del calorímetro al ensayar las muestras.

Cal = Calorías desprendidas por el alambre fusible. Para el caso 2.3 Cal/cm.

M/Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = Corrección de calorías por formación de ácido nítrico.

- Preparación de la muestra

La muestra para la determinación del poder calorífico se obtuvo separando 100 gr de carbón de cada uno de los tratamientos por especie. Luego se procedió a moler y homogenizar. El carbón molido fue tamizado por tamiz N<sup>o</sup> 40 y N<sup>o</sup> 60, utilizándose para la determinación del poder calorífico, la fracción de carbón que pasó la malla 40 y fue retenido por la malla 60.

3.4.4.3 Análisis Químico del Carbón, Norma ASTM (American Society, For Testing and Materials) D-1762

1. Aplicación

Este método cubre la determinación de humedad, sustancias volátiles y cenizas en el carbón de madera. Es aplicado al carbón en trozos y briquetas y está diseñado para la evaluación de la calidad del carbón.

2. Aparatos

- Molino para moler las muestras.
- Horno con control automático de T<sup>o</sup>

a  $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

- Mufla a temperatura controlada a  $750 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y  $950 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza analítica con una capacidad de por lo menos 100 gr y una sensibilidad de 0.1 mg.
- Tamices, como lo especifica la norma ASTM D-410 ensayos para los análisis de carbón.
- Crisoles de porcelana, 41 por 37 mm con tapas de porcelana.
- Desecador con cloruro de Ca como agente secante.

### 3. Muestra

La muestra seleccionada será molida la parte no seleccionada, será rechazada. La muestra será pulverizada rápidamente en un molino. Se evitará los tiempos largos de pulverización por generar calor que producirá la pérdida de sustancias volátiles.

Se considerará una muestra adecuada aquellas que concuerdan con los siguientes análisis de tamizado:

<u>Pasar el tamiz</u>	<u>Retenida en el tamiz</u>	<u>% de muestra</u>
	N <sup>o</sup> 20	0
N <sup>o</sup> 20	N <sup>o</sup> 40	14.5
N <sup>o</sup> 40	N <sup>o</sup> 60	18.7
N <sup>o</sup> 60	N <sup>o</sup> 80	7.0
N <sup>o</sup> 100		56.4

La muestra molida será mezclada muy bien y almacenada en recipientes herméticos, con esta mezcla se hará las determinaciones químicas: Sustancias volátiles, contenido de humedad y cenizas.

#### 4.- Procedimientos

Hacer las determinaciones por duplicado.

##### 4.1 Contenido de humedad

Calentar la mufla a 750 °C y colocar - previamente los crisoles de porcelana por 10 minutos. Enfriar los crisoles en un desecador por 1 hora. Pesar los crisoles y añadir en cada uno 1.0 gr aproximadamente  $\pm$  0.1 mg- de la muestra molida. Colocar las muestras en la estufa a 105 °C por 2 horas, colocar - las muestras secas en un desecador por 1 hora y pesar.

##### 4.2 Sustancias volátiles

Calentar la mufla a 950 °C, precalentar

los crisoles usados para el análisis de hume  
dad. Con sus tapas y conteniendo las muestras  
como sigue:

Con la puerta de la mufla abierta por 2  
minutos sobre la tapa exterior a 300 °C y  
luego por 3 minutos sobre el borde de la mu  
fla (500 °C). Luego colocar las muestras ha  
cia la parte posterior de la mufla por 6 mi  
nutos con la puerta cerrada. Observar las -  
muestras a través de un pequeño agujero de la  
puerta de la mufla. Si se produce chispas ,  
los resultados estarán errados, enfriar las  
muestras en un desecador por 1 hora y pesar.

#### 4.3 Cenizas

Colocar las tapas y los crisoles no ta-  
pados usados para la determinación de sustan-  
cias volátiles, conteniendo las muestras en  
la mufla a 750 °C por 6 horas. Enfriar los  
crisoles tapados con un desecador por 1 hora  
y pesar.

### 5.- CALCULOS

#### 5.1 Contenido de humedad

$$\% \text{ Humedad} = (A-B)/A \times 100.$$

Donde:

A = Gramo de la muestra seca al aire.

B = Gramo de la muestra después de secada  
a 150 °C.

5.2 Sustancias volátiles

% Sustancias volátiles =  $(B-C)/B \times 100$

Donde: C: Gramos de muestra después de se  
carlo a 950 °C.

5.3 Cenizas

% cenizas =  $(D/B) \times 100$

Donde: D = Gramos de residuos.

5.4 Carbono fijo

El porcentaje de carbono fijo se halla  
rá por diferencia.

3.4.4.3.1 Humedad

Determinada según Norma ASTM. D-1762.

3.4.4.3.2 Sustancias volátiles

Determinada según Norma ASTM. D-1762.

3.4.4.3.3 Cenizas

Determinada según Norma ASTM. D-1762.

3.4.4.3.4 Carbono fijo

Por la fórmula:

Carbono (Humedad(%) + Sustancias  
fijo (%) =  $100 - \text{volátiles}(\%) + \text{Cenizas}(\%)$

Norma ASTM = American Society For Testing  
Materials.

3.4.5 Análisis Estadístico:

3.4.5.1 Diseño Experimental

Para el presente trabajo se empleó el diseño completamente al azar con 4 repeticiones. Dado que las características del material experimental (horno y estereos) son homogéneos y solo difieren en los tratamientos (especies). El número de repeticiones provee de un número grado de libertad del error.

3.4.5.2 Esquema de la Distribución Experimental (D.C.A)

	I		I
1	1 estereo	2	1 estereo
	V		V
4	1 estereo	3	1 estereo
	I		V
5	1 estereo	6	1 estereo
	V		I
8	1 estereo	7	1 estereo
	I = <u>Inga edulis</u>		V = <u>Vitex triflora</u>

3.4.5.3 Análisis de Variancia de Rendimientos, Poder calorífico, Humedad, Sustancias Volátiles, Carbono fijo y Cenizas

- Esquema del ANVA:

=====	
FUENTE DE VARIABILIDAD	GRADO DE LIBERTAD
Leña-especie	1
Error Experimental	6
TOTAL	7
=====	

CAPITULO IV

RESULTADOS

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA LEÑA.-

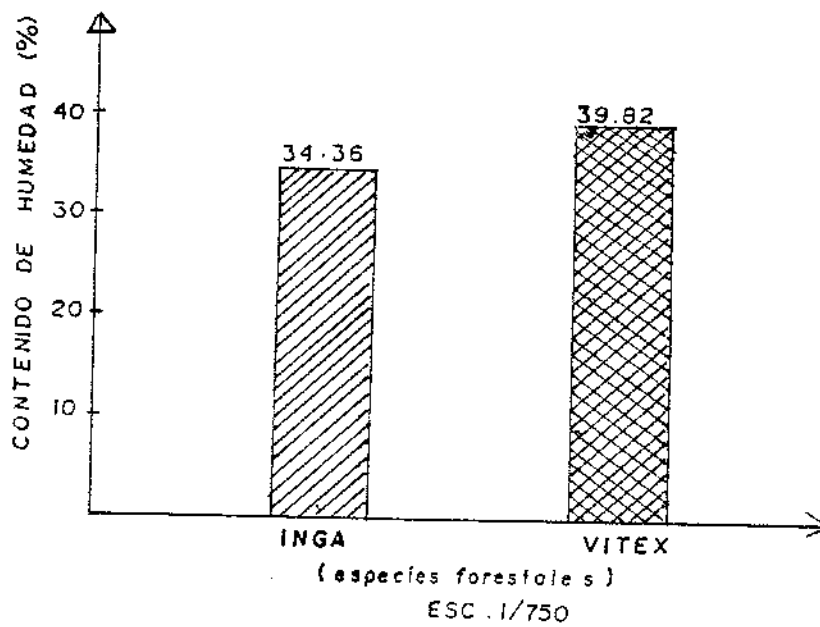
El contenido de humedad después del proceso de se  
cado, tanto de Inga edulis como de Vitex triflora, se  
muestran en el Cuadro N<sup>o</sup> 02.

CUADRO N<sup>o</sup> 02.- Contenido de humedad de la leña al fi  
nal del proceso de secado.

REPETICIONES	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
	T R A T A M I E N T O S	
	<u>Vitex triflora</u>	<u>Inga edulis</u>
I	40.29	36.29
II	38.90	34.96
III	40.26	33.20
IV	39.85	33.00
	159.30	137.45
PROMEDIO	39.82	34.36



GRAFICA N<sup>o</sup> 1.- Contenido de Humedad de la leña al final del  
Proceso de secado.



2.- RENDIMIENTO DEL CARBON.-

- Los resultados de los Rendimientos obtenidos del carbón vegetal, se muestran en el Cuadro N<sup>o</sup> 03.
- El Análisis de variancia de los rendimientos del carbón vegetal se muestra en el Cuadro N<sup>o</sup> 04.

CUADRO N<sup>o</sup> 03.- Rendimientos obtenidos de carbón vegetal.

TRATAMIENTOS	REPETI CIONES	PESO DE LA LEÑA (Kg)	PESO DEL CARBON (Kg)	RENDIMIENTO DEL CARBON (%)	RENDIMIENTO PROMEDIO (%)
<u>Inge edulis</u>	I	362.90	53.00	14.60	18.96
	II	349.60	77.00	22.03	
	III	332.00	53.45	16.10	
	IV	330.00	76.30	23.12	
<u>Vitex triflora</u>	I	402.90	73.90	18.34	17.86
	II	389.00	74.90	19.25	
	III	402.60	65.10	16.17	
	IV	398.50	70.40	17.67	

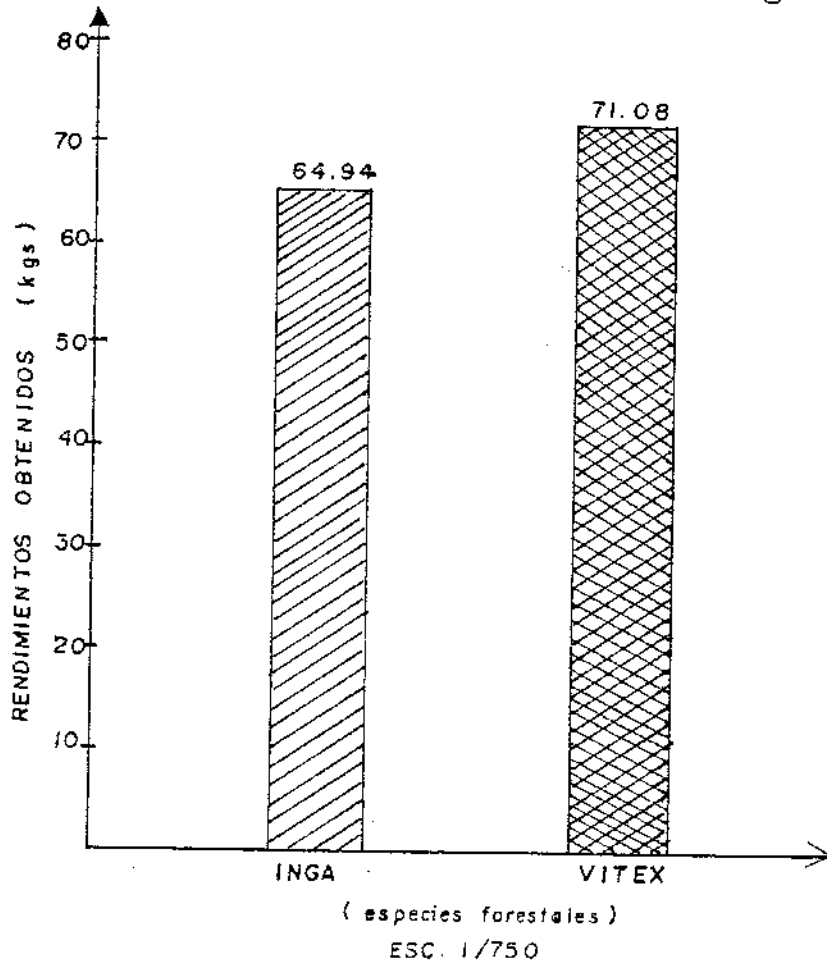
CUADRO N° 04.- Análisis de variancia del rendimiento de carbón vegetal (Kgs).  $\alpha = 0.05$

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Ft (5%)	SIG.
Leña-especie	1	75.34	75.34	0.74	5.99	N.S.
Error experimental	6	607.84	101.31			
TOTAL	7	683.18				

C.V. = 14.80 %

$\bar{S} \bar{x}$  = 5.03

GRAFICA N<sup>o</sup> 2.- Rendimientos obtenidos de carbón vegetal (Kg).



3.- LOS COSTOS DE PRODUCCION.-

Los costos de producción del carbón vegetal obtenido se registraron a nivel experimental. Asumiendo una producción de  $8 \text{ m}^3/\text{mes}$  para el tipo de horno utilizado, el costo/kilo de carbón vegetal es de 0.63 Dólares (I/. 2,000.00); como se muestran en el Cuadro N<sup>o</sup> 5 cuyo volumen de carbón total obtenido fue de  $1.4698 \text{ m}^3$ .

CUADRO N° 05.- Costo de fabricación de carbón vegetal.

	UNIDAD DE ME DIDA	N° JORNAL	COSTO PAR- CIAL	COSTO TOTAL
<b>1.00 Costos Directos</b>				
<b>1.01 Materia prima</b>				528,000.00
- Arboles	m <sup>3</sup>	8	528,000.00	
<b>1.02 Mano de obra directa</b>				175,000.00
- Extracción de árboles (tumbado y trozado)	Jorn.	4	20,000.00	
- Acarreo de trozas	"	2	10,000.00	
- Preparación de leña	"	15	75,000.00	
- Apilado de leña	"	4	20,000.00	
- Carga y descarga del horno	"	4.5	22,500.00	
- Proceso de carbonización	"	3	15,000.00	
- Ensacado y almacenamiento del carbón	"	2.5	12,500.00	
<b>SUB-TOTAL</b>			703,000.00	703,000.00
<b>2.90 Costos indirectos</b>				7,000.00
- Kerosene	Gl.	4	6,000.00	
- Fósforo	Caja	1	1,000.00	
- Otros	---	-	--	
<b>SUB-SUB-TOTAL</b>			7,000.00	7,000.00
<b>3.00 Depreciación de Amortización de Activos</b>				7,000.00
- Del horno de ladrillo (5 %)	--	-	7,000.00	
<b>SUB-TOTAL</b>			7,000.00	7,000.00

4.00 Gastos Financieros

- Interés	--	--	--	--
- Amortización	--	--	--	--

---

SUB-TOTAL	--	--	--	--
-----------	----	----	----	----

---

TOTAL				717,000.00
-------	--	--	--	------------

=====  
CU =  $\frac{CT}{Q}$  =  $\frac{717,000.00}{544.05 \text{ Kg}}$  = I/. 1,317.89/Kg (0.44 Dólares)

CU = Costo Unitario/Kg

CT = Costo total de fabricación.

Q = Producción de carbón obtenido por Kgs.

4.- CALIDAD DEL CARBON.-

4.1 Poder Calorífico;

En el Cuadro N<sup>o</sup> 06 se reportan los resultados promedio del Poder Calorífico del carbón de las dos especies estudiadas, determinado en bomba calorimétrica; asimismo su análisis de variancia se muestra en el Cuadro N<sup>o</sup> 07.

CUADRO N° 06.- Resultados del poder calorífico del carbón vegetal.

REPETICIONES	PODER CALORIFICO (Kcal/Kg)	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	6,936.00	7,099.0
II	7,160.00	6,727.0
III	6,925.00	6,652.0
IV	7,237.00	7,425.0
	28,258.00	27,903.0
PROMEDIO	7,064.50	6,975.75

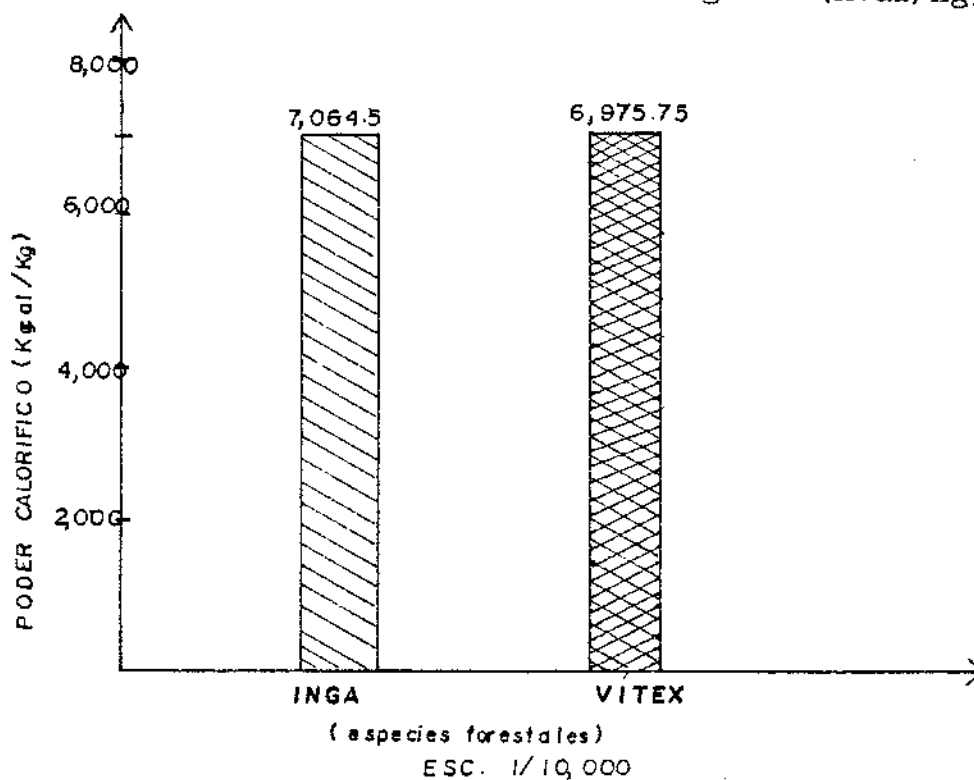
CUADRO N° 07.- Análisis de variancia del poder calorífico -  
(Kcal/Kg) 0.05.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Ft(5%)	SIG.
Leña-Especie	1	15753.1	15753.1	0.21	5.99	N.S.
Error Experi	6	458555.8	76426.0			
	7	474308.9				

C.V. = 3.9 %

$\bar{Sx}$  = 138.23

GRAFICA N° 3.- Poder calorífico del carbón vegetal (Kcal/Kg)





4.2 Propiedades químicas del carbón vegetal:

4.2.1 Contenido de humedad (%) (Propiedad física),

En el Cuadro N<sup>o</sup> 08 se muestra los resultados del Análisis Químico del contenido de Humedad del carbón vegetal, y en el Cuadro N<sup>o</sup> 09 su Análisis de Variancia.

CUADRO N<sup>o</sup> 08.- Contenido de humedad del Carbón Vegetal (%).

REPETICIONES	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	9.21	8.68
II	10.19	5.67
III	9.34	5.48
IV	5.21	7.30
	33.95	27.13
PROMEDIO	8.49	6.78

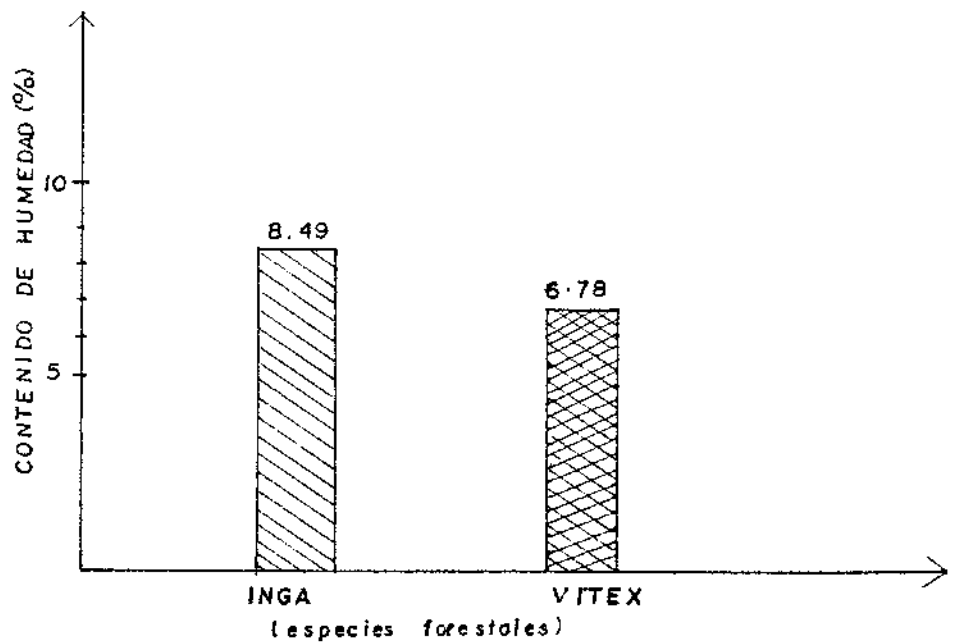
CUADRO N° 09.- Análisis de variancia del contenido de humedad (%) 0.05 .

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Ft(5%)	SIG.
Leña-Especie	1	5.81	5.81	1.60	5.99	N.S.
Error experi_ mental	6	21.70	3.61			
TOTAL	7	27.51				

C.V. = 24.89 %

$\bar{S}\bar{X}$  = 0.95

GRAFICA N° 4.- Contenido de humedad del carbón vegetal (%)



ESC. 1/200

4.2.2 Sustancias Volátiles (%):

Los Resultados de sustancias volátiles y su análisis de variancia se muestran en los Cuadros N<sup>o</sup> 10 y 11 respectivamente.

CUADRO N<sup>o</sup> 10.- Contenido de sustancias volátiles del carbón vegetal (%).

REPETICIONES	SUSTANCIAS VOLATILES (%)	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	11.25	8.77
II	5.96	17.26
III	9.59	12.24
IV	18.56	20.25
	45.36	58.52
PROMEDIO	11.34	14.63

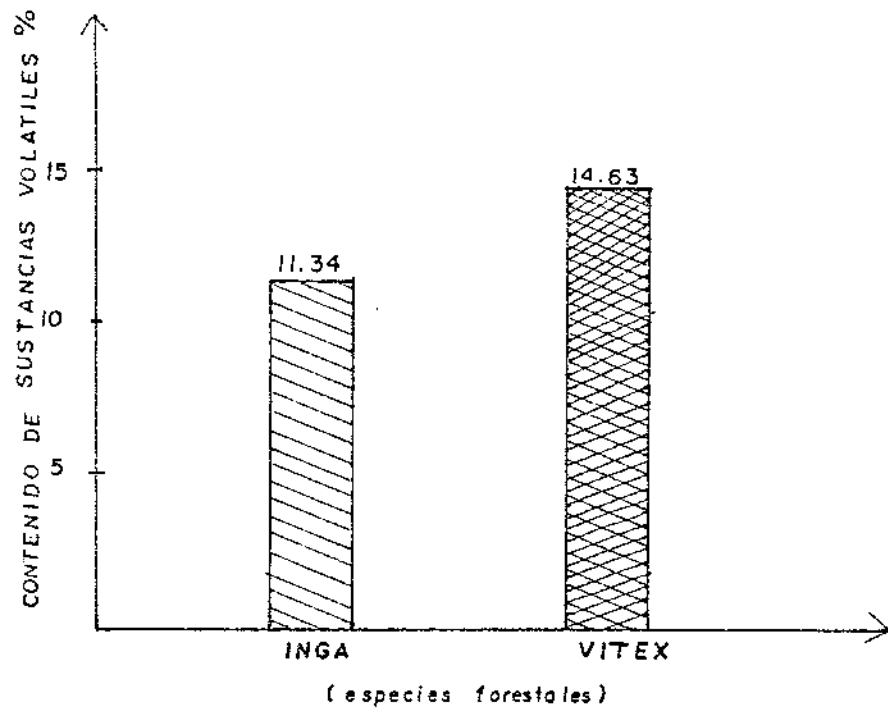
CUADRO N<sup>o</sup> 11.- Análisis de variancia del porcentaje de sustancias volátiles, = 0.05 .

F.V.	G.L.	S.C.	G.M.	F.C.	Ft(5%)	SIC.
Leña-especie	1	21.65	21.65	0.79	5.99	N.S.
Error Experimental	6	162.69	27.12			
TOTAL	7	184.34				

C.V. = 40.4 %

$\bar{Sx} = 2.60$

GRAFICA N<sup>o</sup> 5.- Contenido de Sustancias volátiles (%).



ESC. 1/250

4.2.3 Porcentaje de Cenizas:

Los datos del Análisis Químico y su Análisis de Variación del porcentaje de ceniza y la prueba de Duncan, se muestran en los Cuadros N<sup>o</sup> 12, 13 y 14 respectivamente.

CUADRO N<sup>o</sup> 12.- Resultados del porcentaje de cenizas del carbón vegetal.

REPETICIONES	CONTENIDO DE CENIZAS (%)	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	1.17	2.31
II	2.36	2.15
III	1.39	2.51
IV	1.13	2.74
	6.05	9.71
PROMEDIO	1.51	2.43

CUADRO N<sup>o</sup> 13.- Análisis de variancia del porcentaje de cenizas.  $\alpha = 0.05$

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Ft(5%)	SIG.
Leña-Especie	1	1.67	1.67	8.38	5.99	(*)
Error Experi mental	6	1.20	0.20			
TOTAL	7	2.87				

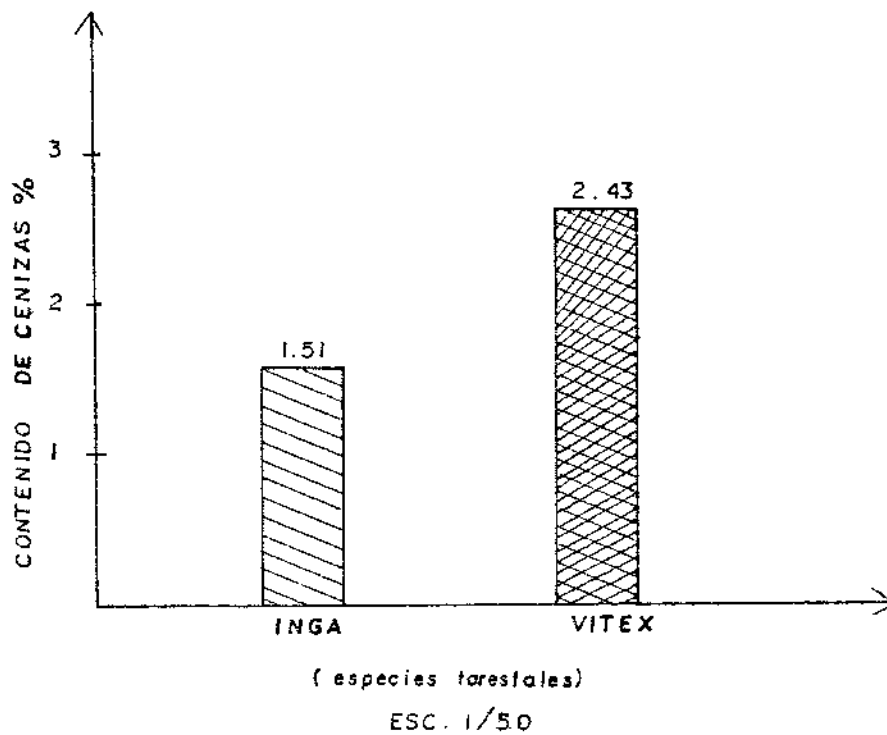
C.V. = 22.70 %

$\bar{Sx}$  = 0.22

CUADRO N<sup>o</sup> 14.- Prueba de DUNCAN (5 %) del Contenido de Cenizas.

ORDEN	TRATAMIENTO	PROMEDIO	SIG.
1	<u>Vitex triflora</u>	2.43	a
2	<u>Inga edulis</u>	1.51	b

GRAFICA N° 6.- Contenido de Cenizas del Carbón Vegetal (%).



4.2.4 Porcentaje de Carbono fijo:

En los Cuadros N<sup>o</sup> 15, 16 y 17 se muestran el contenido de carbono fijo, la transformación de datos del carbono fijo ( $\text{Arc sen } \sqrt{x}$ ) y el Análisis de variancia respectivamente.

CUADRO N<sup>o</sup> 15.- Contenido de carbono fijo (%) del Carbón Ve getal.

REPETICIONES	CONTENIDO DE CARBONO FIJO (%)	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	78.37	80.24
II	81.49	74.92
III	79.68	79.77
IV	75.10	69.71
	314.64	304.64
PROMEDIO	78.66	76.16



CUADRO N° 16.- Transformación de datos del carbono fijo.

REPETICIONES	TRANSFORMACION Arc Sen $\sqrt{x}$	
	<u>CARBONO FIJO (%)</u>	
	<u>Inga edulis</u>	<u>Vitex triflora</u>
I	62.2846	63.6072
II	64.5177	59.9471
III	63.2064	63.2706
IV	60.0662	56.6080
	250.0749	243.4329
PROMEDIO	62.5187	60.8582

CUADRO N° 17.- Análisis de variancia del Carbono fijo.

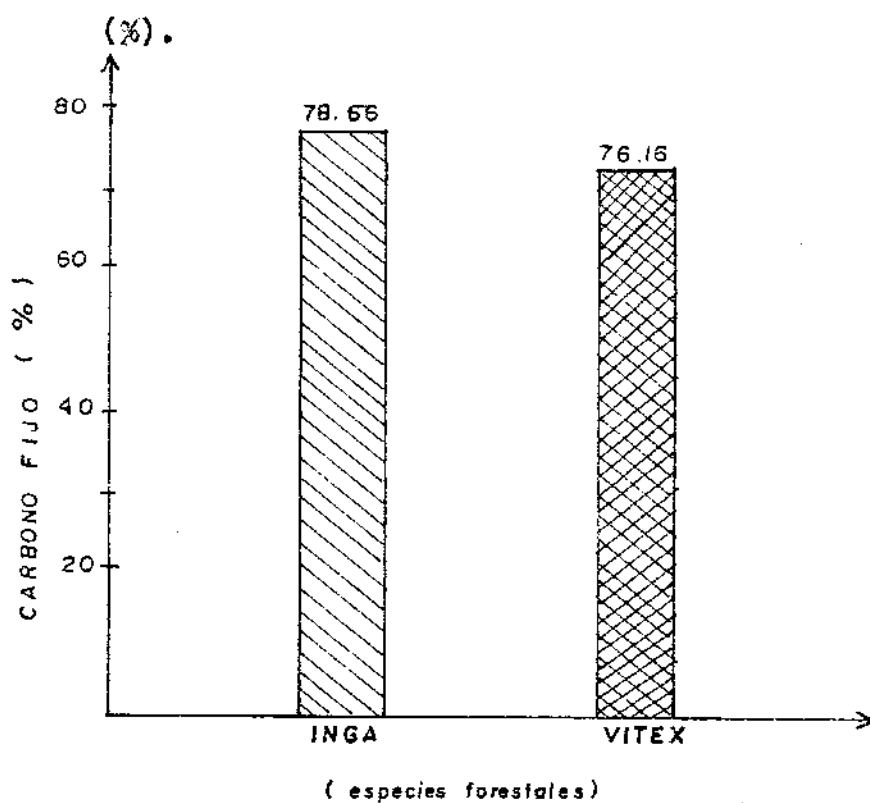
= 0.05 .

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	FT(5%)	SIG.
Leña-Especie	1	12.50	12.50	0.79	5.99	N.S.
Error Experi mental	6	94.63	15.77			
TOTAL	7	107.13				

C.V. = 6.44 %

$\bar{Sx}$  = 1.99

GRAFICA N° 7.- Contenido de carbono fijo del carbón vegetal



## V.- DISCUSION

### 1.- RENDIMIENTO.-

Los resultados obtenidos (Cuadro N<sup>o</sup> 3) muestran - que entre Vitex triflora 17.86 % e Inga edulis 13.96 %, no hay diferencia significativa. Ambas especies con - bajos rendimientos, comparada con Eucalyptus globulus-Labill 27 %, Licania elata Pilger 32 % y Eschweilera-scuitoensis Kunt, 29 % obtenidos por Remigio (24), en - horno cilíndrico tipo Retorta.

Las especies, su contenido de humedad, el tipo de horno, influyen en el rendimiento final del carbón. El bajo rendimiento puede deberse a que las especies uti - lizadas fueron medianamente densas, con un contenido - de humedad de 39.82 % y 34.36 % para Vitex triflora e Inga edulis respectivamente que difiere mucho con el rendimiento de Eucalipto que tuvo un contenido de hume - dad de 5 % su leña. También influyó la manipulación - experimentada del horno de ladrillo tipo colmena; don - de la circulación del aire a través de las chimeneas y ventanas juega un papel decisivo para el término de la carbonización, determinando finalmente el rendimiento. Ya que en hornos de retorta se controla mejor la tempe - ratura, la combustión y tiempo de carbonización.

El tiempo de carbonización (ciclo total) fue de - 6.5 y 5.5 días para vitex triflora e Inga edulis , sus

tentada con solo la experiencia del manipulador de acuerdo a la coloración del humo.

2.- Costos.-

En el Cuadro N<sup>o</sup> 5 se muestra que producir un kilo de carbón cuesta I/. 1,317.89 al mes de Agosto de 1989 (0.44 Dólares).

En nuestro caso el costo de producción incluye el valor de la materia prima (árboles en pié) asumiendo el Vitex triflora e Inga edulis como maderas en el rubro de "Otros" para el pago del canon de Reforestación. También se asume que el horno tendrá duración y permanencia de 3-5 años, para el cálculo de su depreciación.

El costo obtenido es de Investigación, que se reduce cuando es con fines de producción en gran escala.

Si comparamos con el costo en hornos metálicos, éstos se elevan notablemente, debido al valor del mismo horno, claro con una mayor producción. Está demostrado que los costos varían en función al tipo de horno, del horno de ladrillo quemado al horno metálico, el costo por kilo varía de un 73 a 75 % en su valor (FAO 10). Esto considerando que es de suma importancia preveer que el material es o nó abundante en el lugar de la construcción del horno para abaratar el costo de construcción y por ende el valor de depreciación.

La mano de obra es barata para hornos de ladrillo, cosa que no sucede cuando se tiene que manipular y controlar hornos metálicos, donde la mano de obra debe ser calificada, con un mayor costo/jornal.

Levantar un horno de ladrillo con 2 m<sup>3</sup> de capacidad, cuesta I/. 110,000 (36.66 Dólares) en Tingo María (Agosto - 1989), con ladrillos provenientes de Huánuco. En cambio un horno metálico de 2 m<sup>3</sup> de capacidad, cuesta I/. 12,000 en 1,985 a Agosto de 1989 costaría I/. 8'354,177 (2,784.73 Dólares); el tipo de horno MEL-0 en Agosto de 1985 costaba I/. 1,597.00 en la actualidad está valorado en I/. 1'251,368 (417.12 Dólares).

### 3.- Propiedades Químicas.-

#### - Contenido de Humedad:

En cuanto al contenido de humedad obtenido en el Cuadro N<sup>o</sup> 8, se puede apreciar que en el Vitex triflora es 6.78 % y en Inga edulis 8.49 %, no existiendo diferencia significativa en el porcentaje promedio en las dos especies estudiadas; comparando resultados de otras especies como Guarea trichiloides L 5.7 %, Eucalyptus globulos labill 5.4 %, obtenido por Remigio (24).

Endicheria sp 5.50 %, UCEDA (28), obtenido en hornos metálicos.

El tipo de horno así como el contenido de humedad de la leña inicial influyen en el CH<sup>o</sup> del carbón a obtenerse. La humedad de la madera incide fuertemente en el calor útil promedio, PANSHEIN (23).

La humedad inicial de la madera no afecta las propiedades físicas y químicas del carbón vegetal obtenido. EARL (9). Por lo tanto en caso de Inga edulis y Vitex triflora no puede ser un indicador de la calidad del carbón.

- Sustancias volátiles:

Las sustancias volátiles desprendidas en la obtención de carbón, en Inga edulis fue de 11.34 % y de Vitex triflora 14.63 % como se muestra en el Cuadro N<sup>o</sup> 10. Estadísticamente no son significativas. Si comparamos con Eucalyptus saligna 25.8 %, Guarea trichiloides L. 9.8 %, Juglans neotropica Diels 20.3 %, FAO (10), vemos que las sustancias volátiles a desprender (%) dependen de la composición química de la madera de la temperatura y tipo de horno. En este caso, el tipo de horno colmena puede mantener una temperatura entre 500 a 900 °C, influyendo en el % de sustancias volátiles, ya que el carbón en esas condiciones tiende a reabsorber estas sustancias volátiles, FAO (10), y la ruptura de las ligaduras glucosí

dicas en la celulosa sucede a temperaturas encima de 300 °C. Las especies latifoliadas, contienen celulosa, hemicelulosa, como pentosanos que se descomponen rápidamente; cuando la temperatura de carbonización es baja y el período en el horno es breve (4 días) , el contenido de sustancias volátiles aumenta y viceversa.

- Carbono fijo:

Los resultados (Cuadro 15), muestran diferencias no significativas, obteniendo Inga edulis 78.66 % y Vitex triflora 76.16 %, comparando con otras especies Myroxylom balsamum L. 80.40 %, Quararibea bicolor Duck 72.91 % y Endlicheria sp. 82.42 %, UCEDA (28) ; Eucalyptus globulus Labill 82.6 %, Guarea trichiloides L. 84.3 %, obtenidos por REMIGIO (24).

El carbono fijo varía desde un mínimo del 50 % hasta un elevado del 95 %. Estimándose normalmente como una "diferencia" de los otros componentes y se supone que lo que queda es el porcentaje de carbono- "puro" o "fijo". FAO (10). Es este el componente - más importante en Metalúrgica para la reducción de los óxidos de hierro que está en relación con la dureza del carbón obtenido para mantener su calidad de reductor de minerales.

En este caso de las dos especies se obtuvieron más del 75 % de carbono fijo, señalándoles como aparentes para la refinera; pero se debe relacionar a la dureza del material, en el caso de Inga edulis - mostró mayor consistencia en relación al Vitex triflora deduciéndose que la Inga edulis si puede ser utilizada en la refinera en comparación con el Eucalyptus globulus Labill que ya se utiliza con 82 % de carbono fijo.

- Porcentaje de cenizas:

En el Cuadro N<sup>o</sup> 12, los resultados muestran diferencias significativas, siendo Inga edulis la especie que dió menos porcentaje de ceniza (1.51 %) en el mismo tiempo de combustión y con la misma cantidad de leña que Vitex triflora (2.43 %). Comparando con otras especies Eucalyptus globulos Labill 1.6 % de ceniza mayor que Inga edulis y Guarea trichiloides L. 0.2 %. En la cantidad de ceniza influye la especie la cantidad de corteza incluida y la contaminación con tierra y arena. Para la calidad del carbón típicamente se debe considerar un 3 % de ceniza (FAO 10). En nuestro caso Vitex triflora e Inga edulis, están por debajo del 1 %, siendo Inga edulis el más indicado para producir carbón con menor porcentaje -



de ceniza. Las muestras de leña de ambas especies - fueron combustionadas sin corteza, y sin residuos de tierra y arena.

4.- Poder Calorífico.-

Con respecto al poder calorífico, se encontró pa  
ra Vitex triflora (6,975.75 Kcal/Kg y para Inga -  
edulis 7,064.5 Kcal/kg (Cuadro N<sup>o</sup> 6). El análisis -  
de variancia muestra la no significación en cuanto a  
especies; pero comparando con el Eucalyptus globulus -  
labill con 8,296 Kcal/Kg, REMIGIO (24), la ANTRACITA -  
7,100 Kcal/Kg; el carbón de piedra bituminoso 7,300  
Kcal/Kg, Petróleo bruto 10,800 Kcal/Kg GIT (14), ve  
mos que la diferencia no es muy significativa si consi  
deramos la importancia en cuanto al costo de producción  
y turnos cortos de producción de biomasa (de 5 - 8 años)  
de nuestras especies forestales como fuente de energía.

## VI.- CONCLUSIONES

- 1.- El rendimiento de carbón de madera obtenido de las especies Vitex triflora e Inga edulis fue de 17.86 y 18.96 por ciento respectivamente, siendo especies rústicas y promisoras para propagación intensiva con fines energéticos.
- 2.- El costo de producción del carbón vegetal es de I/. 1,317.89 Intis por kilo, en ambas especies (0.44 Dólares/kilo).
- 3.- La humedad registrada en Vitex triflora e Inga edulis es de 6.78 y 8.49 por ciento, porcentaje que está por debajo del contenido máximo de humedad establecida por el ITINTEC, 12 por ciento.
- 4.- De las maderas estudiadas en el presente trabajo, el carbón obtenido de Vitex triflora e Inga edulis registran 14.63 y 11.34 por ciento de sustancias volátiles.
- 5.- El carbón obtenido de las especies Vitex triflora e Inga edulis reportan un contenido de carbono fijo de 76.16 y 78.66 por ciento, aparente para ser usadas en la reducción de óxidos de hierro.
- 6.- El contenido de cenizas en Vitex triflora e Inga edulis es de 2.43 y 1.51 por ciento, que es inferior al máximo indicado por el ITINTEC, de 12 por ciento.
- 7.- El poder calorífico del carbón obtenido de las especies Vitex triflora e Inga edulis es de 6,975.75 y

7,064.5 kilo calorías por kilo respectivamente; no exis  
tiendo mucha diferencia con los combustibles tradicio-  
nales.

## VII.- RECOMENDACIONES

Se recomienda:

Considerar el Vitex triflora (Chicharra caspi) e Inga-edulis (Shimbillo), como especies promisoras en los programas de forestación con fines energéticos, por su rápido crecimiento y aprovechamiento que fluctúa en turnos de 8 - 10 años.

Realizar estudios de Investigación del Vitex triflora y determinar sus propiedades físicas y químicas y producción TM/ha a nivel de plantaciones forestales.

Ejecutar nuevos trabajos de investigación en el Area - de Industria Forestal, utilizando otras especies, probablemente consideradas como especies para la producción de Energía calorífica.

## VIII.- RESUMEN

En el presente trabajo se ha procedido a la Pirólisis- en horno de ladrillo quemado de arcilla, teniendo como materia prima dos especies tropicales Vitex triflora (Chicharra caspi), e Inga edulis (Shimbillo), procedentes de la zona de Tingo María.

En los últimos años el incremento en el costo del petróleo, el aumento de la población y la disminución acelerada del área boscosa, se ha agravado el problema energético- en la selva peruana.

Con miras a atenuar ésta crisis en la zona, en este primer trabajo se ha tratado de seleccionar las especies maderables más precoces y que tengan buen comportamiento en la propagación masiva con fines energéticos.

Los parámetros que se evaluaron fueron: Rendimientos, costos de producción, análisis químicos (contenido de humedad, sustancias volátiles, carbono fijo y cenizas) y poder-calorífico.

La metodología usada es empírica y que está en función a la experiencia del hornero, los tiempos de carbonización- (ciclo total) fluctúan entre 6.5 y 5.5 días para Vitex triflora e Inga edulis respectivamente, con cuatro repeticiones por especie y un estereo por repetición.

Los resultados en cuanto al rendimiento promedio obtenido, se observó que la especie de Inga edulis nos dió el -

mayor rendimiento con 18.96 % con respecto a Vitex triflora que reportó 17.86 % con el mismo tiempo de combustión y que estadísticamente no son significativos.

En cuanto a los costos de producción un kilo de carbón vegetal cuesta I/. 1,317.89 Intis (0.44 Dólares/kilo) fabricados en hornos de ladrillo.

El porcentaje de humedad, sustancias volátiles, carbono fijo y cenizas obtenidas de las muestras de carbón vegetal, nos dan resultados no significativos a excepción del porcentaje de cenizas que si es significativa. Dichos resultados están dentro de los parámetros establecidos por el ITINTEC.

Finalmente el carbón obtenido de la madera de Inga edulis reportó el más alto poder calorífico de 7,064.5 Kcal/Kg, comparado a Vitex triflora que reportó 6,975.75 Kcal/Kg y que estadísticamente no son significativas.

## IX.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- AGUIHELIO, P. (1,980). Uso de la madera para fines E  
nergéticos. Teoría de Carbonizacáo de Madeira. -  
Fundacáo Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC  
(serie de publicacões Técnicas/SPT-001). Belo Ho  
rizonte. Pp. 29-41.
- 2.- ARNOLD, J.M. y JONEMA, J. (1,977). La leña y el car-  
bón en los países en desarrollo. Unasyuva (Ita -  
lia). 29(119): 2.
- 3.- BENTH, C. (1983). Producción de leña y biomasa de -  
Inga sp. Costa Rica. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL -  
DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 120 p.
- 4.- BEN S.; TRAN V.N. (1,974). La producción de leña en  
los sistemas Agrícolas, tradicionales. Unasyuva -  
(Italia). 26(106): 13.
- 5.- BERESFORD, H. (1,979). La mitad de la madera del mun  
do se utiliza como leña. Revista de la UNESCO. --  
Francia. N<sup>o</sup> 20: 39.
- 6.- BRACK EGG, W. (1,987). Las leguminosas y su importan  
cia para el desarrollo de la Selva Central, Proyec  
to Peruano Alemán - INFOR. San Ramón. Perú. Pp.  
40 - 45.
- 7.- BURREL, J. (1,980). Uso de Madeira para fins energé-  
ticos. Tecnología de Transformacáo de Madeira en  
Carvao. Fundacáo Centro Tecnológico de Minas Ge

- rais/CETEC. (Serie de Publicaciones Técnicas/SPT-001). Belo Horizonte. Pp. 69-82.
- 8.- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. (1,980). Proyecto de leña y fuentes alternativas de Energía. Turrialba, Costa Rica. Manual Técnico N<sup>o</sup> 1. 115 p.
- 9.- EARL, D.E. (1,975). Informe sobre el carbón vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 94 p.
- 10.- FAO. (1,983). Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Cuaderno Técnico (ITALIA). N<sup>o</sup> 41. 156 Pp.
- 11.- \_\_\_\_\_. (1982). Motivos para producir energía. Boletín (Italia). N<sup>o</sup> 10.
- 12.- \_\_\_\_\_. (1,983). Empleo del carbón de leña en las operaciones de Altos Hornos. Boletín (Italia).
- 13.- FOLEY, G. y VAN BUREN, A. (1,980). Sustitutos de la madera. Unasyuva (Italia). Vol. 32. N<sup>o</sup> 130.
- 14.- GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (GIT). (1984). The Industrial Wood Energy Handbook. Van Nostrand - Reinhold Company. Nueva York.
- 15.- GUTIERREZ, A. (1,980). Disponibilidad de leña en la Región de Azuero Panamá. Revista Silvoenergía (Argentina). N<sup>o</sup> 3: 2.



- 16.- KEITA, J.D. (1,987). Leña o carbón vegetal ¿Qué solución es la mejor?. Unsaylva (Italia). 39 (157/158) 3 y 4.
- 17.- KUNYANJUI, M. (1,987). El abastecimiento de combustible en Naerobi. Unasyuva (Italia). 157/158. - Vol. 39. 3 y 4.
- 18.- MANTELL, G. (1,946). Industrial Carbón: To elemental Adsorptive and manufactured forma. 2da. Edición- P. Van nostrand Company - INC. London.
- 19.- MARTINS, H. (1,980). Uso de la Madeira para fins Energéticos, Madeira como fuente de Energía. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. (Serie de Publicacoes Técnicas/SPT-001). Belo Horizonte. Pp. 11-26.
- 20.- MONTALEMBERT, M.R. y CLEMENT, J. (1,983). Disponibilidad de leña en los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: MONTES N<sup>o</sup> 42.
- 21.- OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. (1986). Producción de leña y carbón vegetal. OIT. Ginebra (Suiza).
- 22.- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. (1,982). Importancia relativa de la madera. Boletín (Italia). N<sup>o</sup> 11, 10.
- 23.- PANSHIN, A. (1,959). Productos Forestales, origen ,

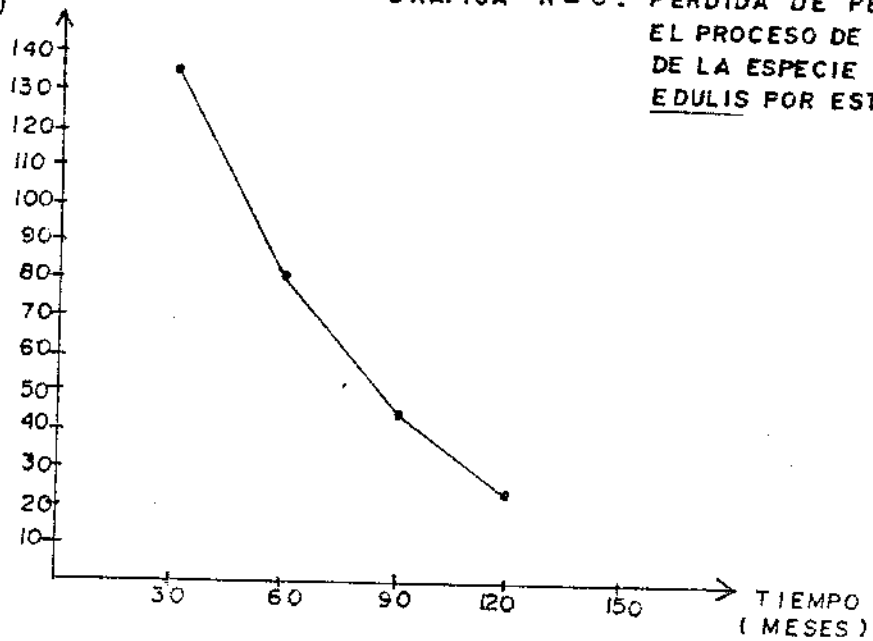
- beneficio y aplicación. Ed. SALVAT, S.A. Barcelona - Madrid. 605 p.
- 24.- REMIGIO MARTEL, D. (1,983). Rendimiento y calidad de carbón y análisis del líquido Piroleñoso de cuatro Maderas del Perú. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 79 p.
- 25.- REYNEL, R., Carlos y ALBAN, C., Joaquina. (1,985). - Etnobotánica y Germinación de 4 especies forestales productoras de Alimentos de la Amazonía Peruana. Revista Forestal del Perú. Vol. XIII. N<sup>o</sup> 1. 145 p.
- 26.- SAOUMA, Edouard. (1,981). La urgencia de los problemas alimenticios y energéticos. Unasyuva (Italia). 33(133): 2-38.
- 27.- SCHWARTZ, E. (1,982). Las plantaciones de Eucalypto en el Departamento de Junín. FAO. Lima - Perú. 42 p.
- 28.- UCEDA, M.C. y RIVERA, I.P. (1,987). Características Físico Químicas de la madera y carbón de once especies Forestales de la Amazonía Peruana. UNA. - La Molina. Lima.
- 29.- ULLMANN, F. (1,958). Enciclopedia de Química Industrial (t-9). 2da. ed. Gustavo Gili, S.A. Barcelona. 866 p.

- 30.- WARWICK COOPER. (1,975). Semillas Australianas de -  
especies arboreas para leña. Unasyva (Italia) .  
27(108): 32.

X.- A N E X O

PERDIDA DE PESO (Kgs)

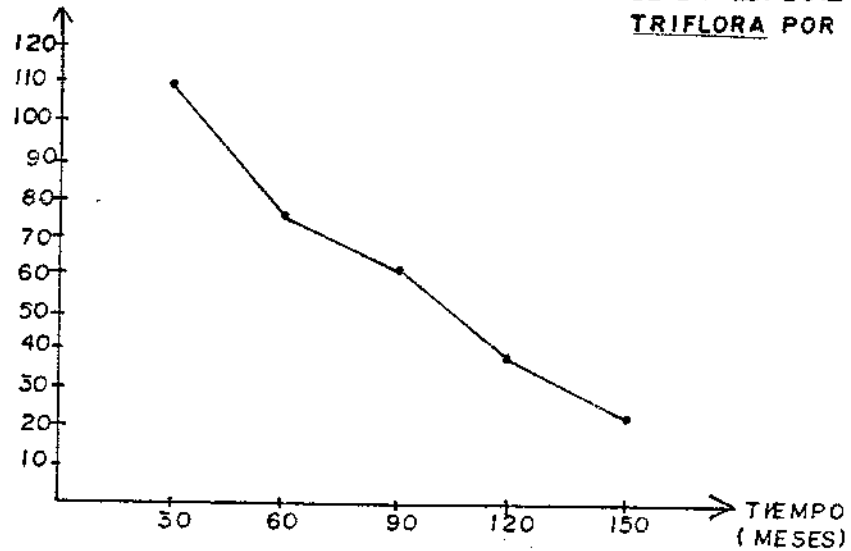
GRAFICA N° 8 : PERDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE SECADO DE LA ESPECIE INGA EDULIS POR ESTEREO



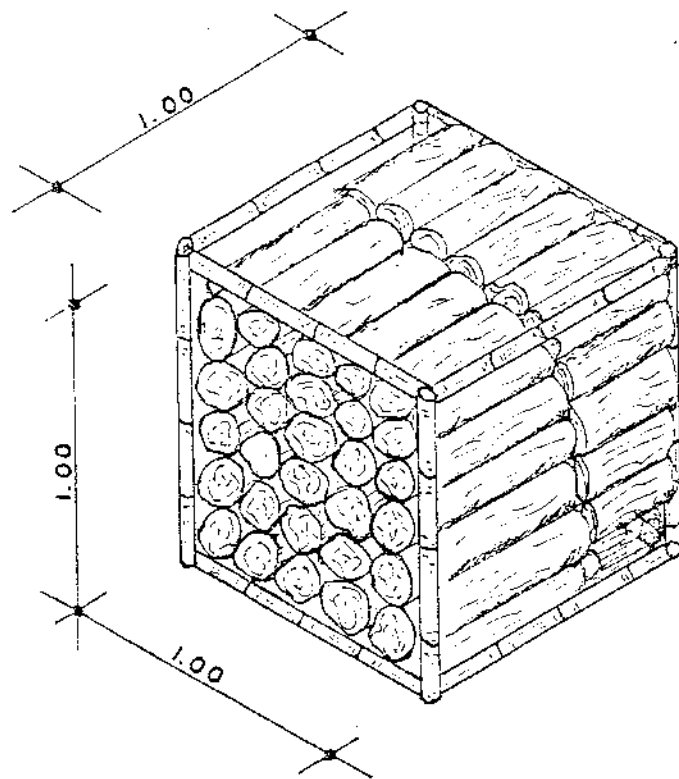
ESC. 1/40

PERDIDA DE PESO (Kgs.)

GRAFICA N° 9 : PERDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE SECADO DE LA ESPECIE VITEX TRIFLORA POR ESTEREO



ESC. 1/40



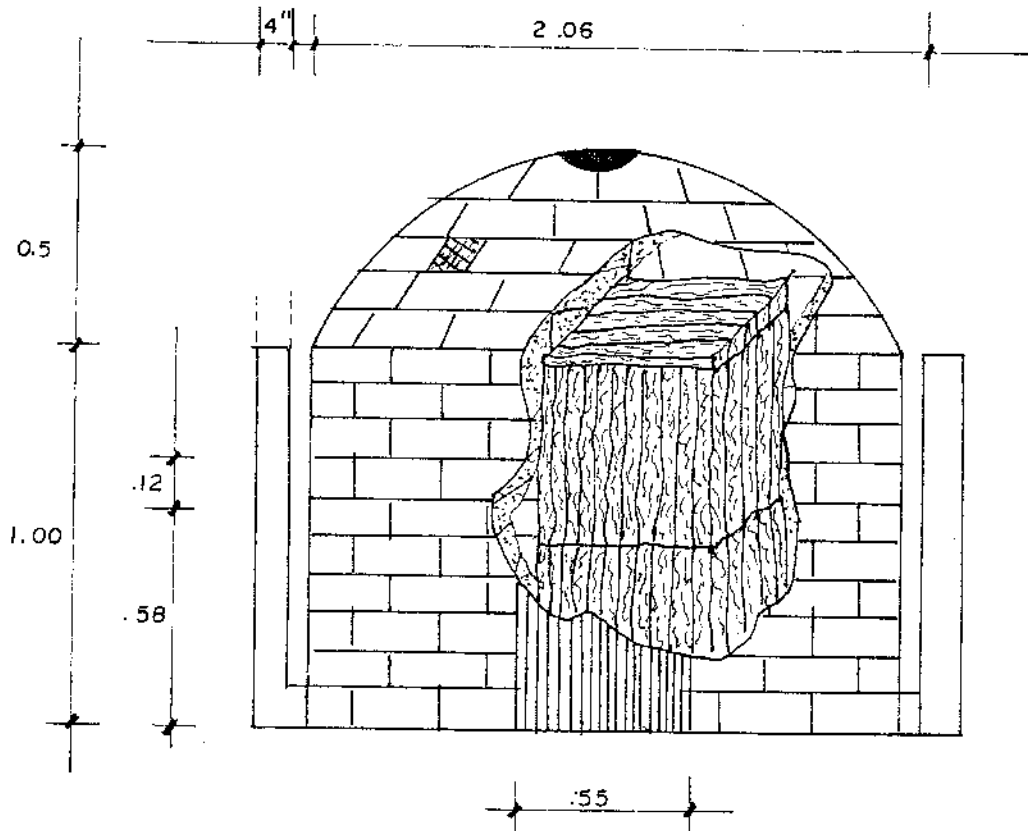
1 ESTEREO = 500 Kg.

1 ESTEREO = 1 m<sup>3</sup>

(Una Repeticion)

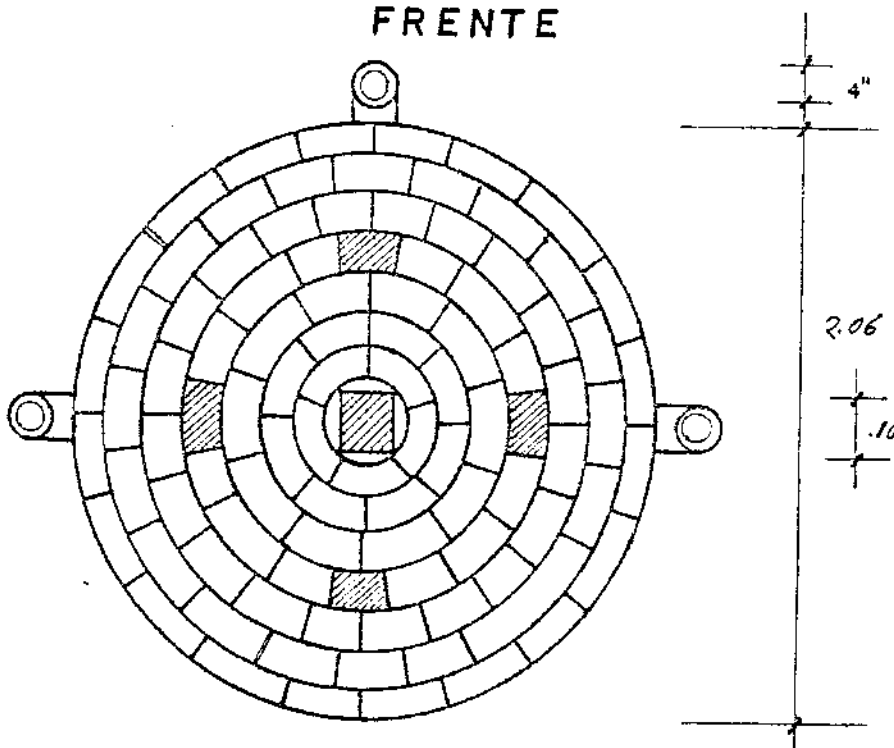
CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

GRAFICA Nº 10



GRAFICA N.º II

FRENTE



PLANTA

DISEÑO DEL HORNO (Para El Estudio)

CAPACIDAD DEL HORNO = 2 m<sup>3</sup>

ESC. 1:20



INICIO DE LA CONSTRUCCION DEL HORNO



CULMINACION DE LA CONSTRUCCION DEL HORNO

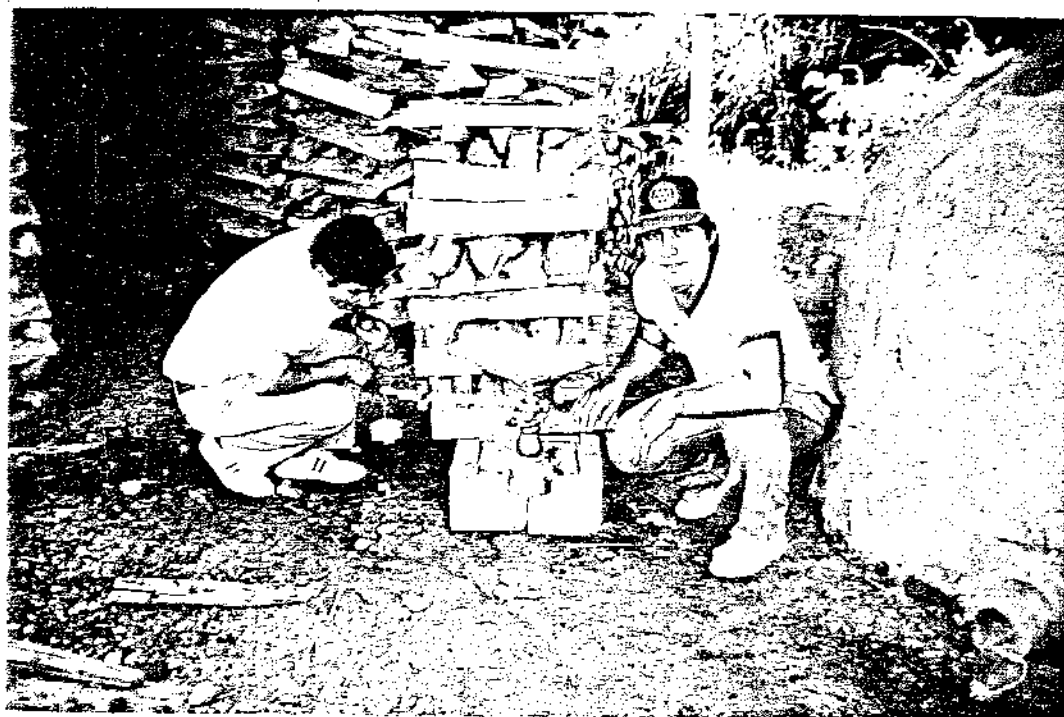




PROCESO DE SECADO DE LA MATERIA PRIMA (LEÑA)



PROCESO DE SECADO DE LA MATERIA PRIMA (LEÑA)



DETERMINACION DE LA PERDIDA DE PESO DE LA LEÑA



ENCENDIDO DEL HORNO



PROCESO DE COMBUSTION DE LA MADERA



ETAPA DE ENFRIAMIENTO DEL HORNO





DESCARGA DEL HORNO



OBTENCION DEL CARBON VEGETAL