

**NO SALE A  
DOMICILIO**



**UNAP**

Facultad de  
Ciencias Forestales

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL

**TESIS**

**“RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA DE PLANTACIONES  
DEMOSTRATIVAS DE *Simarouba amara* (Aubl) “marupa” y  
*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) “tornillo” DE DIFERENTES  
EDADES EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERÚ”**

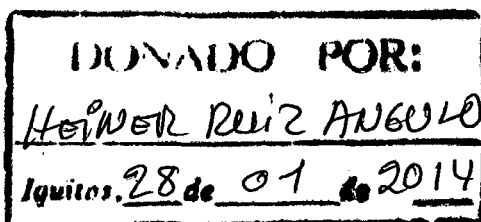
Para optar el título de  
**INGENIERO FORESTAL**

Autor

**HEINER RUIZ ANGULO**

IQUITOS - PERU

2013



539



**UNAP**

Facultad de  
Ciencias Forestales

**ACTA DE SUSTENTACIÓN**

**DE TESIS Nº 410**

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para escuchar la sustentación de la tesis presentada por el Bachiller **HEINER RUIZ ANGULO** titulada: "**RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA DE PLANTACIONES DEMOSTRATIVAS DE *Simarouba amara* (Aubl) "marupa" y *cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" DE DIFERENTES EDADES EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERU**", formuladas las observaciones y oídas las respuestas lo declaramos:

..... *Aprobado* .....

Con el calificativo de:

..... *Muy Bueno* .....

En consecuencia queda en condición de ser calificado:

..... *Apto* .....

Para recibir el título de Ingeniero Forestal.

Iquitos, 29 de diciembre del 2011

Ingº JORGE MIGUEL ESPIRITU PEZANTES, M.Sc.  
Presidente

Ingº SARON QUINTANA VASQUEZ, Dr.  
Miembro

Ingº VICTOR VIRGILIO BEATEGUI DAVILA  
Miembro

Ingº ABRAHAM CABUDIVO MOENA, Dr.  
Asesor

## DEDICATORIA

A DIOS por darme la  
fortaleza en los  
momentos más  
difíciles siendo él la  
fuente de Sabiduría,  
conocimiento e  
Inteligencia.

A mis queridos padres  
RUTH Y JORGE, por  
sus constantes cariños  
e inspiraciones en el  
alcance de mis metas,  
de ser profesional y ser  
ejemplo de superación  
para ellos.

A mis queridos  
hermanos, por su  
incompensable apoyo  
y motivación en la  
culminación de mi  
carrera.

## AGRADECIMIENTO

El autor reserva esta página para expresar su sincero agradecimiento:

- Al Dr. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, por su dedicación y orientación en la elaboración de la presente tesis.
- Al Ing<sup>o</sup> Jarlin Arellano Valderrama, docente de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, por brindarme el apoyo y las facilidades en la ejecución de la presente tesis.
- A Sonia Amina Castro Marín, Silvia Katty Meléndez Dávila, Jhony Martin Cabudivo Escobar y a los estudiantes de la Practica Pre-profesional II, por el apoyo en la ejecución y toma de datos en todo el trabajo de campo.
- A la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP y a sus docentes como muestra de gratitud por el apoyo brindado y el aporte científico en mi formación académica.
- A los trabajadores del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal- FCF- UNAP, Abel Luna Villacorta, Alejandro Córdova y Clifor Pisco Shica por el apoyo brindado en la realización de ensayos.
- A todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible el desarrollo de la presente tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Lista de cuadros	v
Lista de figuras	vii
Resumen	ix
I. INTRODUCCION	1
II. EL PROBLEMA	3
2.1. Descripción del problema	3
2.2. Definición del problema	3
III. HIPOTESIS	4
3.1. Hipótesis general	4
3.2. Hipótesis alterna	4
3.3. Hipótesis nula	4
IV. OBJETIVOS	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. VARIABLES	6
5.1. Identificación de variables, indicadores e índices	6
5.2. Operacionalización de variables	6
VI. MARCO TEORICO	7
VII. MARCO CONCEPTUAL	12
VIII. MATERIALES Y METODO	14
8.1. Lugar de ejecución	14
8.2. Materiales y equipo	14
8.2.1. De campo	14
8.2.2. De laboratorio	14
8.2.3. De gabinete	15
8.3. Métodos	15
8.3.1. Tipo de investigación	15
8.3.2. Población y muestra	15

8.3.3. Diseño estadístico	15
8.3.4. Análisis estadístico	16
8.3.5. Procedimiento	17
8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
8.5. Técnicas de presentación de resultados	18
IX. RESULTADOS	19
9.1. Resistencia al fuego de la madera de <i>S. amara</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	19
9.1.1. Punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	19
9.1.2. Punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	22
9.2. Resistencia al fuego de la madera de <i>C. cateniformis</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	25
9.2.1. Punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	25
9.2.2. Punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> a diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas	28
X. DISCUSION	31
XI. CONCLUSIONES	34
XII. RECOMENDACIONES	35
XIII. BIBLIOGRAFIA	36
ANEXO	39

## LISTA DE CUADROS

Nº	Título	Pág.
1	Punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades y niveles de fuste.	20
2	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades y niveles de fuste.	23
3	Punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades y niveles de fuste.	26
4	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades y niveles de fuste.	29
5	Densidad básica de la madera de las plantaciones de <i>S. amara</i> y <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades y niveles del fuste.	41
6	Análisis de Varianza del punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> .	42
7	Prueba de Duncan del factor B: edad de la plantación, del punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> .	42
8	Prueba de Duncan del factor C: niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> .	42
9	Interacción de los factores B-C, edades y niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> .	42
10	Análisis de Varianza del punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> .	43
11	Prueba de Duncan del factor B: edad de la plantación, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> .	43
12	Prueba de Duncan del factor C: niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> .	43
13	Interacción de los factores B-C, edades y niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> .	43
14	Análisis de Varianza del punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	44
15	Prueba de Duncan del factor B: edad de la plantación, del punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	44

16	Prueba de Duncan del factor C: niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	44
17	Interacción de los factores B-C, edades y niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	44
18	Análisis de Varianza del punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	45
19	Prueba de Duncan del factor B: edad de la plantación, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	45
20	Prueba de Duncan del factor C: niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	45
21	Interacción de los factores B-C edades y niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> .	45

---



## LISTA DE FIGURAS

Nº	Titulo	Pág.
1	Punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades y niveles del fuste.	21
2	Punto de ignición de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades.	21
3	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades y niveles del fuste.	24
4	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>S. amara</i> de diferentes edades.	24
5	Punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades y niveles del fuste.	27
6	Punto de ignición de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades.	27
7	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades y niveles del fuste.	30
8	Punto de descomposición térmica de la madera de <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades.	30
9	Mapa de ubicación de las plantaciones demostrativas de <i>S. amara</i> y <i>C. cateniformis</i> de diferentes edades, en el CIEFOR, Puerto-Almendra.	40
10	Confección de muestras para ensayos de punto de ignición y descomposición térmica. (a): orientación de la troza; (b): troza orientada y codificada; (c): elaboración de viguetas; (d): corte de las viguetas; (e): selección de las muestra; (f): muestras terminadas y codificada.	40
11	Ensayos de punto de ignición y descomposición térmica. (a): pesado de las muestras; (b): ingreso de las muestras a la estufa; (c): punto de ignición; (d): punto de descomposición térmica; (e): retiro de las muestras; (f): enfriamiento de las muestras.	47
12	Registro y lectura de datos en los ensayos de punto de ignición y descomposición térmica. (a): toma de datos; (b): temperatura	48

mínima del punto de ignición; (c): temperatura máxima de descomposición térmica; (d): materiales y equipos usados.

---

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, Química y Energía de Productos Forestales del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra de la Facultad de Ciencias Forestales-UNAP, Iquitos, Perú; con la finalidad de determinar la resistencia al fuego de la madera de *Simarouba amara* (Aubl) “marupa” y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) “tornillo” de diferentes edades y diferentes niveles del fuste, mediante ensayos del punto de ignición y punto de descomposición térmica. La mayor resistencia al punto de ignición con 323°C y 393°C, se determinó en la madera de *S. amara* y *C. cateniformis*, respectivamente, en el nivel inferior del fuste de un árbol de >30–40 años de edad; con tendencia a la mayor resistencia en el nivel inferior del fuste de diferentes edades. La madera de *S. amara* de la plantación de >30–40 años en el nivel inferior del fuste, ofrece la mayor resistencia al punto de descomposición térmica con 350°C, mientras que la madera de *C. cateniformis*, de la misma edad ofrece la mayor resistencia al punto de descomposición térmica con 450°C en el nivel medio del fuste.

**Palabras claves:** Resistencia al fuego, madera de plantaciones, punto de ignición, punto de descomposición térmica.

## I. INTRODUCCION

La madera es un material higroscópico, heterogéneo, vistos de sus diferentes planos de corte, y en consecuencia presenta comportamientos heterogéneos (Valderrama, 2005). Como materia prima es utilizada principalmente en la industria de la construcción y carpintería, debido a su bajo costo y a la facilidad de conseguir el material que se ofrece en el mercado, por lo tanto, es necesaria la evaluación de su resistencia a la combustión en sus diferentes etapas: punto de ignición y descomposición térmica. Al conocer el soporte máximo de temperatura y calcular el tiempo de encendido de la madera, se estará previniendo posibles desastres; pues, la velocidad de combustión es un factor clave en el fuego de crecimiento de modelado y resistencia al fuego de estructuras de madera (Hao y Robert, 1992).

Por ello, es necesario plantear una innovación tecnológica que posibilite la clasificación de las maderas por su resistencia a la ignición y la reacción al fuego; además, generar productos competitivos de alta calidad, especialmente en lo que concierne al fuego y su destrucción. Para esto se requiere la aplicación de tecnología moderna y diversos mecanismos que aseguren una respuesta favorable por parte del usuario.

Al conocer la resistencia a la combustión de la madera de plantaciones demostrativas de diferentes edades de *Simarouba amara* (Aubl) "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal–Puerto Almendra, se estará incrementando el conocimiento y su valor como material de construcción, pues, la necesidad de asegurar el

abastecimiento a la industria y/o usuarios de la madera con características de resistencia y reacción al fuego hace necesario el estudio de maderas para recomendar su uso.

## II. EL PROBLEMA

### 2.1. Descripción del problema

En la Amazonía peruana existen plantaciones de diferentes especies y edades que faltan validar tecnológicamente; para conocer la edad óptima de aprovechamiento para que el empresario y/o industrial pueda financiar proyectos de tiempo definido y como consecuencia un retorno de su inversión.

El mercado de exportación de la madera es cada vez más exigente, más aún con la firma de tratados de libre comercio (TLC), pone a la industria frente al reto de decidir sobre el uso de la madera con las que no estaban familiarizadas. Una de las industrias que usa maderas es la construcción, este material tiene que ser presentado como los demás materiales que se usa en edificaciones que tenga resistencia a la ignición y a la reacción al fuego, es decisiva en caso de revestimientos ya que va a condicionar la probabilidad de incendios y el comportamiento del mismo si se produce.

Uno de los mayores obstáculos que limitan el uso de la madera en la construcción de viviendas lo representa su combustibilidad, factor de aparente perjuicio frente a otros materiales incombustibles y tradicionalmente usados en este sector como el concreto o ladrillo; sin embargo las propiedades higroscópicas de este recurso aumentan su resistencia al fuego.

### 2.2. Definición del problema

¿Cuánto será la resistencia al fuego de la madera de plantaciones demostrativas de *Simarouba amara* (Aubl) "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" de diferentes edades y niveles del fuste en Puerto Almendra, Iquitos-Perú?

### III. HIPOTESIS

#### 3.1. Hipótesis general

La resistencia al fuego varía de acuerdo a la edad de la madera de plantaciones de *C. cateniformis* y *S. amara*, en Puerto Almendra, Iquitos-Perú.

#### 3.2. Hipótesis alterna

La resistencia al fuego varia de acuerdo a los niveles del fuste del árbol de plantaciones de *C. cateniformis* y *S. amara*, en Puerto Almendra, Iquitos-Perú.

#### 3.3. Hipótesis nula

No existe diferencia en la resistencia al fuego de la madera de *C. cateniformis* y *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste en Puerto Almendra, Iquitos-Perú.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Determinar la resistencia al fuego de la madera de plantaciones demostrativas de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles del fuste y en Puerto Almendra, Iquitos-Perú.

### **4.2. Objetivo Específico**

- Cuantificar la resistencia al fuego de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste y provenientes de plantaciones demostrativas.
- Cuantificar la resistencia al fuego de la madera de *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles del fuste provenientes de plantaciones demostrativas.



## V. VARIABLES

### 5.1. Identificación de variables, indicadores e índices

VARIABLES	INDICADORES	INDICES
A: Especies forestales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>S. amara</i></li> <li>➤ <i>C. cateniformis</i></li> </ul>	
B: Edad de la plantación	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ &gt;15 – 20</li> <li>➤ &gt;20 – 25</li> <li>➤ &gt;25 – 30</li> <li>➤ &gt;30 – 40</li> </ul>	años años años años
C: Niveles de fuste	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inferior</li> <li>➤ Medio</li> <li>➤ Superior</li> </ul>	
D: Resistencia al fuego	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Punto de ignición</li> <li>➤ Punto de descomposición térmica</li> </ul>	°C °C

### 5.2. Operacionalización de variables

Parámetros de ensayo	Especies											
	<i>S. amara</i>						<i>C. cateniformis</i>					
	>15-20 años			>20-25 años			>25-30 años			>30-40 años		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
Punto de ignición												
Punto de descomposición térmica												

Niveles del fuste: I = Inferior      M = Medio      S = Superior

## VI. MARCO TEORICO

Pereyra *et al.* (2006), estudiando las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de la madera de grevillea, (*Grevillea robusta*), paraíso (*Melia azederach*) toona (*Toona ciliata*) y kiri (*Paulonia tomentosa*) determinaron valores medios de densidad aparente de 0,53g/cm<sup>3</sup>; 0,60g/cm<sup>3</sup>; 0,42g/cm<sup>3</sup> y 0,27g/cm<sup>3</sup> respectivamente; mientras que la contracción tangencial de paraíso, toona, grevillea y kiri presentaron valores de 6,82%; 7,85%; 5,69% y 4,51% respectivamente; en radial de las mismas maderas presentaron los valores de 5,44%; 4,11%; 3,5% y 1,57% respectivamente. La madera experimenta variaciones en su volumen, es decir, se contrae o se hincha, según el grado de humedad de la misma. Al punto al cual las fibras de la madera están saturadas en humedad, y ya no absorben más agua, se le denomina punto de intersección, e indica el grado de humedad a partir del cual la madera empieza a sufrir contracciones e hinchamientos. Como consecuencia de la anisotropía que muestran las propiedades de la madera, estas contracciones e hinchamientos son diferentes a lo largo de las tres direcciones principales. Así, las variaciones axiales son muy pequeñas (< 1%), en la dirección radial pueden llegar a un 6%, y en la dirección tangencial pueden alcanzar un 18% ([www.fao.org/docrep/x5355S/x5355s05.htm](http://www.fao.org/docrep/x5355S/x5355s05.htm), 2009).

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad. Es una de las características físicas más importantes de la madera que está directamente relacionada con sus propiedades físicas y mecánicas y con su resistencia al fuego. Depende de varios factores, entre ellos la composición de las

paredes celulares, el grosor de las paredes celulares, el tamaño de las porosidades y la composición de la celulosa (Valderrama, 1992).

La tasa de liberación de calor por área depende de la especie de madera, alcanzando los más altos valores en pino radiata, mientras que el tiempo de ignición de los tableros de densidad media sometidos a una fuente de radiación de  $50 \text{ kW/m}^2$ , es más o menos similar que para productos sólidos de madera (Contador y Tsantaridis, 2010).

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas: celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol. Existen diferencias significativas entre los valores calóricos de los carbones, entre la parte baja, media y alta, observándose el menor valor para la parte alta del fuste del árbol (García *et al.*, 2009).

Con respecto a la descomposición térmica de la madera en el intervalo de  $250^\circ$  a  $350^\circ\text{C}$  tiene lugar la fase cuantitativamente más importante de la pirólisis de la madera, (Cordero *et al.*, 2009; Zanci *et al.*, 1996). Este intervalo puede ser a mayores valores de temperatura para madera si ésta es pre-tratada con iones metálicos (Qirong *et al.*, 2008).

Quintana (2002), evaluando las propiedades físicas-mecánicas de tableros de fibra de residuos del aserrío de tres especies forestales ha determinado que el tablero de castaña es la que tuvo la mayor temperatura de ignición con  $348^\circ\text{C}$

seguido del pashaco 337°C y sapotillo con 333°C. El mayor punto de descomposición térmica fue determinado en castaña, seguido de pashaco y sapotillo con 356°C, 349°C y 344°C, respectivamente.

Océano (1996), manifiesta que la madera tiene una mala reacción al fuego y una buena resistencia al mismo. Esta premisa es esencial, para por ejemplo la evacuación de bienes y vidas ya que la madera tiene un tiempo fiable y conocido de incineración, lo cual no es característico en otros materiales comúnmente utilizados. Además indica que la madera arde de una manera constante a una velocidad aproximada de 1cm/15 minutos por cada cara expuesta al fuego y se sabe perfectamente que la parte no quemada conserva todas sus características mecánicas, por lo tanto es suficiente añadir a la sección obtenida, considerando las solicitaciones mecánicas, los centímetros necesarios para alcanzar la resistencia al fuego requerida. La combustión periférica de una pieza desde el exterior hacia el interior de una sección de madera es de 0,6 a 7,0mm por minuto, de manera constante factor que también influye en la baja conductividad térmica que presenta la madera. La conductividad térmica está en relación con la densidad, contenido de humedad, contenido de extractivos.

La velocidad de combustión es un factor clave en el fuego de crecimiento de modelado y resistencia al fuego de estructuras de madera. Hao y Robert (1992), investigaron la velocidad de combustión de los materiales de madera seleccionada según lo determinado por la liberación de calor, pérdida de masa y las tasas de carbonización, de las muestras secoya, pino, roble rojo y el tilo se ensayaron en un calorímetro. Los resultados sobre la inflamabilidad y la liberación promedio, la pérdida de masa y las tasas de carbonización se reportan para un

amplio flujo de calor entre 15kW y 55kW. En este rango, la velocidad de combustión aumentó linealmente con el flujo de calor. Velocidad de combustión fue muy dependiente de las especies. Velocidad de liberación de calor estaba relacionada con la pérdida de masa por el calor efectivo de combustión, que también se incrementó con el flujo ritmo. La tasa de carbonización se relacionó para nombrar la pérdida de masa y densidad de la madera original. Un método de cálculo simplificado se propone para el cálculo de tasa de pérdida de masa y la carbonización tarifa basada en el calor velocidad de liberación.

El cono calorimétrico es un método de ensayo de fuego estandarizado internacionalmente y que se usa para determinar la mayor parte de las propiedades de un producto que son importantes en un fuego o incendio inicial. Estas propiedades, a menudo llamadas de reacción al fuego, tienen especial importancia en los primeros productos que quedan expuestos a la acción del incendio tales como revestimientos interiores de muros y las muestras de ensayo a niveles de flujo de calor incidente, entre 0 y 100 kW/m<sup>2</sup> (Contador y Tsantaridis, 2010).

[www.consumer.es/web/es/bricolaje/carpinteria/2008/06/19/177862.php](http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/carpinteria/2008/06/19/177862.php), (2011), La madera se utiliza en suelos, paredes y techos. Aunque en ocasiones necesita someterse a tratamientos anti humedad u otros que mejoren su resistencia y durabilidad, es un material adecuado para la mayoría de los espacios. Un estudio reciente subraya, además, los beneficios en el entorno de sus propiedades térmicas y acústicas.

Durante siglos, la madera ha sido considerada –en comparación con otros– un material de alto riesgo debido a su tendencia a consumirse fácilmente en eventos

asociados con el fuego. Sin embargo, este mito carece de sustento cuando se revisa su comportamiento real en esta situación y la efectividad de los productos desarrollados para retardar su combustión ([www.revista-mm.com](http://www.revista-mm.com), 2010).

Valenzuela *et al.* (1991), menciona que algunos de los factores principales que afectan las propiedades mecánicas son la densidad, existiendo una relación directa entre la densidad y la resistencia, a mayor densidad mayor resistencia, a si también el contenido de humedad tiene gran influencia en las propiedades mecánicas.

## VII. MARCO CONCEPTUAL

**Calor:** Flujo de energía entre dos cuerpos con diferente temperatura (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Coefficiente de conductividad térmica:** Característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Comburente:** Sustancia en cuya presencia, el combustible puede arder, se considera al oxígeno (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Combustible:** Sustancia que en presencia de oxígeno y aportándole una cierta temperatura, es capaz de arder (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Combustión:** Reacción de oxidación entre un combustible y un comburente, con desprendimiento de calor (reacción exotérmica) (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Conducción:** Intercambio de calor que se produce de un punto a otro por contacto directo a través de un medio conductor ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Conductividad térmica:** Medida de la capacidad de un material para conducir el calor a través de su masa ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Contacto directo de la llama:** Cuando una sustancia es calentada hasta el punto en que emite vapores inflamables ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Convección:** Proceso de transmisión del calor a través de movimientos del aire ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Energía calorífica:** Cantidad de calor (energía) necesaria para aumentar en un grado centígrado (°C) la temperatura de un kilogramo de agua ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Energía de activación o calor:** Energía necesaria para que la reacción se inicie (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Enfriamiento:** Reducción de la temperatura del combustible ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Fuego:** Reacción que se caracteriza por la emisión de calor acompañada de humo, llamas o de ambos (Contador y Tsantaridis, 2010).

**Inhibición:** Rotura de la reacción en cadena ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Punto de descomposición térmica:** Mayor temperatura de resistencia al fuego (Océano, 1996).

**Punto de ignición:** Máxima temperatura que soporta la madera para que empiece la propagación de la llama e inflamabilidad, (Océano, 1996).

**Radiación:** Transmisión de calor de un cuerpo a otro a través de un espacio ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Resistencia térmica (R):** Resistencia que ejerce un material determinado al flujo de calor. Un buen material aislante tendrá una resistencia térmica (R) alta ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Sofocación:** Quitar el oxígeno ([www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos), 2011).

**Temperatura:** Nivel de energía interna de cada cuerpo (Contador y Tsantaridis, 2010).



## **VIII. MATERIALES Y METODOS**

### **8.1. Lugar de ejecución**

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Química y Energía de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP. Las muestras de las especies en estudio se obtuvieron en las parcelas demostrativas instaladas en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) – Puerto Almendra, ubicado al margen derecho del río Nanay a 22 Km de distancia en dirección Sur-Oeste desde la ciudad de Iquitos ( $3^{\circ} 49' 40''$  LS y  $73^{\circ} 22' 30''$  LO), a una altitud aproximada de 122 msnm (Quintana, 2006). Teniendo como punto de referencia a la ciudad de Iquitos, para llegar al CIEFOR Puerto Almendra, se puede usar dos medios: terrestre utilizando una carretera afirmada y el fluvial por el río Nanay (ver figura 9 del anexo). Climatológicamente presenta las siguientes características: la precipitación media anual está en 2979,3mm; la temperatura media anual es de  $26,4^{\circ}\text{C}$ ; las temperaturas máximas y mínimas promedio anuales alcanzan  $31,6^{\circ}\text{C}$  y  $21,6^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, la humedad relativa media anual es de 82,1%. El área de estudio se localiza dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo tropical (bh – T) (Quintana, 2006).

### **8.2. Materiales y equipo**

**8.2.1. De Campo:** Libreta de campo, brújula, wincha, botas, machete, rafia.

**8.2.2. De Laboratorio:** Estufa eléctrica, balanza mecánica, vernier o pie de rey, balanza de precisión con aproximación de  $\pm 0.1\text{g}$ , desecador con sal higroscópica "silicagel", probetas de madera de  $3.0\text{cm} \times 3.0\text{cm} \times 10.0\text{cm}$ , mufla con termostato hasta  $1200^{\circ}\text{C}$ .

**8.2.3. De Gabinete:** Computadora personal y accesorios, útiles de escritorio y papelería en general.

### 8.3. Método

#### 8.3.1. Tipo y nivel de investigación

El presente estudio fue del nivel básico y del tipo experimental.

#### 8.3.2. Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por todos los árboles de diferentes edades de *S. amara* y *C. cateniformis*, establecida en el CIEFOR Pto. Almendra, dentro del área de cada plantación según inventario realizado por Cabudivo (2005). La muestra representativa de los árboles se determinó al azar a juicio de los expertos (Cabudivo *et al.*, 2010), el cual fue de 1 árbol por edad de las especies, como se muestra a continuación:

No. Plantación	Especies	Edad (Años)	Área total (ha)	Total árboles (Población)	Muestra	Probetas
P-17	<i>C. cateniformis</i>	23	0,18	17	1	30
P-11	<i>C. cateniformis</i>	30	0,75	393	1	30
P-07	<i>S. amara</i>	28	0,14	103	1	30
P-5M	<i>S. amara</i>	16	0,36	10	1	30
P-5T	<i>C. cateniformis</i>	16	0,36	11	1	30
P-10	<i>S. amara</i>	22	0,34	196	1	30
P-20	<i>C. cateniformis</i>	40	1,00	30	1	30
P-20	<i>S. amara</i>	40	0,25	25	1	30

Fuente: "Turno tecnológico de aprovechamiento de la madera de *Simarouba amara* "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* "tornillo" de diferentes edades en Puerto Almendra, Iquitos-Perú" (Cabudivo *et al.*, 2010).

#### 8.3.3 Diseño estadístico

Para evaluar el comportamiento al fuego de la madera procedente de las plantaciones de *S. amara* y *C. cateniformis*, se estudió el efecto simultáneo de 2 variables (factores) independientes (edades-niveles de fuste).

**Factor A: Especies***S. amara**C. cateniformis***Factor B: Edad de la plantación**Nivel  $b_0$  >15 - 20 añosNivel  $b_1$  >20 - 25 añosNivel  $b_2$  >25 - 30 añosNivel  $b_3$  >30 - 40 años**Factor C: Niveles de fuste**Nivel  $c_0$  InferiorNivel  $c_1$  MedioNivel  $c_2$  Superior**Factor D: Resistencia al fuego**

Punto de ignición

Punto de descomposición térmica

Ensayos para el punto de ignición y descomposición térmica para la madera de *S. amara* y *C. cateniformis*.

Factor B: Edad de la plantación	Factor C: Niveles del fuste			sub total	Repeticiones	Total
	Inferior ( $c_0$ )	Medio ( $c_1$ )	Superior ( $c_2$ )			
>15 - 20 ( $b_0$ )	$b_0c_0$	$b_0c_1$	$b_0c_2$	3	3	9
>20 - 25 ( $b_1$ )	$b_1c_0$	$b_1c_1$	$b_1c_2$	3	3	9
>25 - 30 ( $b_2$ )	$b_2c_0$	$b_2c_1$	$b_2c_2$	3	3	9
>30 - 40 ( $b_3$ )	$b_3c_0$	$b_3c_1$	$b_3c_2$	3	3	9
Sub total	4	4	4			
Repeticiones	3	3	3			
Total	12	12	12			36

**8.3.4. Análisis estadístico**

Los resultados de la evaluación del comportamiento al fuego de la madera de las plantaciones de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles de fuste, se analizaron mediante la estadística descriptiva, referente a los promedios

y el análisis de varianza; además, se aplicó la prueba estadística de Duncan para conocer el grado de relación entre las variables ensayadas.

### **8.3.5. Procedimiento**

#### **➤ Obtención de las probetas para ensayos de punto de ignición y descomposición térmica.**

Se realizó la selección y la tumba del árbol utilizando una motosierra, luego se procedió al troceado del fuste del árbol obteniendo trozas de 0,50m del nivel inferior, medio y superior del fuste, para su traslado a la carpintería del CIEFOR-Puerto Almendra, donde se hizo la orientación de las trozas de acuerdo a los anillos de crecimiento, para ser escuadrados en la garlopa; para luego elaborar viguetas 3cm x 3cm x 50cm, cepillándose los lados. Las muestras para los ensayos de ignición y descomposición térmica se obtuvieron a partir de las viguetas obtenidas, cortando en la mesa de sierra circular las medidas de 1cm x 1cm x 1cm (ver figura 10 del anexo).

#### **➤ Ensayos de punto de ignición.**

Con las muestras ya obtenidas con las medidas de 1cm x 1cm x 1cm, se realizó el pesado de las muestras en la balanza digital y su respectivo registro en la libreta de apuntes, luego las muestras son ingresadas a la mufla eléctrica con termostato hasta 1200°C, se determino el punto de ignición teniendo en cuenta la máxima temperatura que soportaron las muestras para que empiece la propagación de la llama e inflamabilidad, registrándose la temperatura alcanzada y pasar a retirar las muestras de la mufla, para posteriormente ser apagadas en el desecador con sal higroscópica (ver figura 11 del anexo).

➤ **Ensayos de punto de descomposición térmica.**

Se siguió el mismo procedimiento de los ensayos de punto de ignición con la diferencia que para determinación del punto de descomposición térmica la lectura de las temperaturas se registraron en el momento que la llama e inflamabilidad cubrían toda la muestra (ver figura 11 del anexo).

➤ **Análisis e interpretación de los datos.**

Los análisis e interpretación de los resultados se realizaron en relación a los factores A: especie, B: edad de la plantación, C: niveles de fuste y D: resistencia al fuego. Además, se ha aplicado la estadística inferencial mediante la elaboración del análisis de varianza con la prueba de F 0,05 de nivel de significancia, y la prueba estadística de Duncan para comparar los tratamientos.

#### **8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se utilizaron las técnicas del inventario, observación y experimentación, para los cuales el instrumento fue el formato de toma de datos.

#### **8.5. Técnica de presentación de resultados**

Los resultados son presentados en cuadros de doble entrada y en figuras de barras, los cuales permitieron interpretar los ensayos y elaborar la discusión y las conclusiones correspondientes.

## IX. RESULTADOS

### **9.1. Resistencia al fuego de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste en plantaciones demostrativas.**

#### **9.1.1. Punto de ignición de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste en plantaciones demostrativas.**

En el cuadro 1 y las figuras 1 y 2 se presentan los resultados del punto de ignición de la madera de *S. amara* en relación a la edad y niveles del fuste; siendo la madera de la plantación de >30-40 años la que tiene mayor resistencia con promedio de 306°C, siendo el nivel inferior del fuste de esta plantación que ofrece mayor resistencia con 323°C y con tendencia a reducir su resistencia a niveles superiores del fuste con 297°C. En el mismo cuadro y figuras se presenta que la madera de la plantación de >15-20 años es la que tiene la menor resistencia con promedio de 273°C, siendo el nivel inferior del fuste que también ofrece la mayor resistencia con 287°C y el nivel superior la menor resistencia con 260°C. Además, se puede apreciar en términos generales que la madera del fuste inferior de las plantaciones tiende a ofrecer mayor resistencia al punto de ignición.

El ANVA (GL = 11;  $\alpha = 0,05$ ), reporta que existe diferencia significativa entre la edad y los niveles del fuste; no existiendo significancia en la interacción entre los factores de edades y niveles del fuste. La prueba de Duncan para las edades de las plantaciones presenta que en la edad de >30-40 años, no existe diferencia significativa con respecto a la plantación de >25-30 años. También no existe significancia entre la plantación de >25-30 años con respecto a la plantación de >20-25 años; en la prueba de Duncan para los niveles del fuste de los arboles de la plantación, indica que no existe diferencia significativa entre el nivel medio y

superior del fuste. Con respecto a la prueba de Duncan de la interacción de la edad de la plantación con los niveles del fuste, se observa que no existe diferencia significativa entre la plantación de >25-30 años del nivel superior del fuste hasta el nivel superior del fuste de la plantación de >20-25 años. El cálculo de los parámetros de comparación del ANVA y la prueba de Duncan se muestran en los cuadros 6, 7, 8 y 9 del Anexo.

**Cuadro 1.** Punto de ignición de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste.

Edad de la plantación (años)	Niveles del fuste	Punto de ignición por niveles del fuste (°C)	Punto de ignición por edad de la plantación (°C)
>15 – 20	Inferior	287	273
	Medio	273	
	Superior	260	
>20 – 25	Inferior	307	293
	Medio	290	
	Superior	283	
>25 – 30	Inferior	300	299
	Medio	297	
	Superior	300	
>30 – 40	Inferior	323	306
	Medio	297	
	Superior	297	

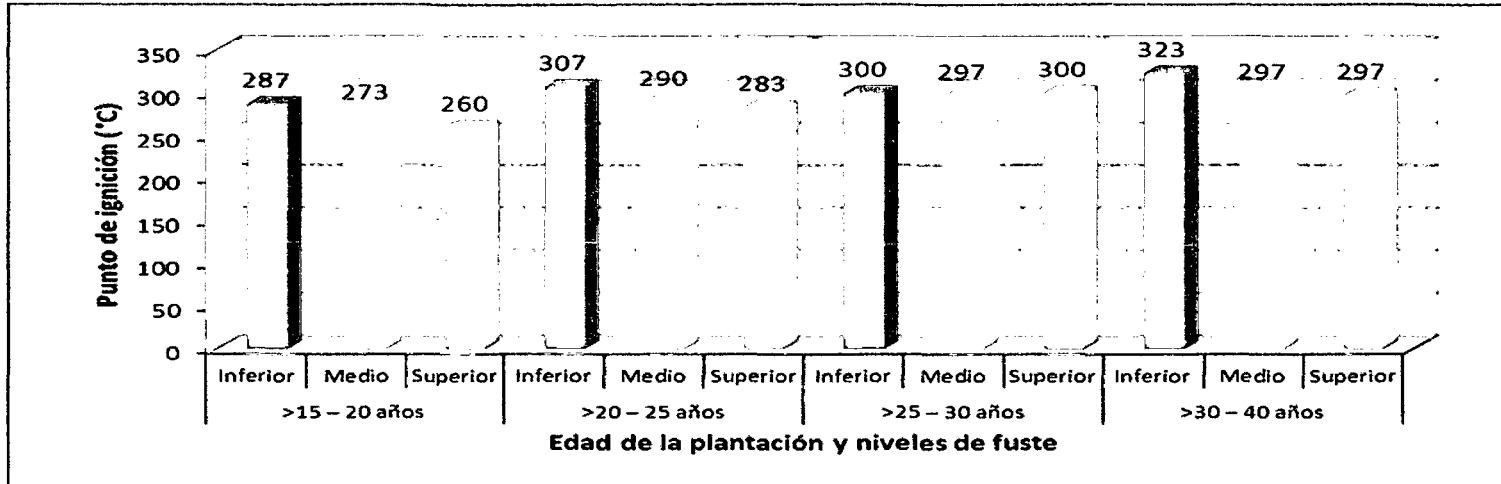


Figura 1. Punto de ignición de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste.

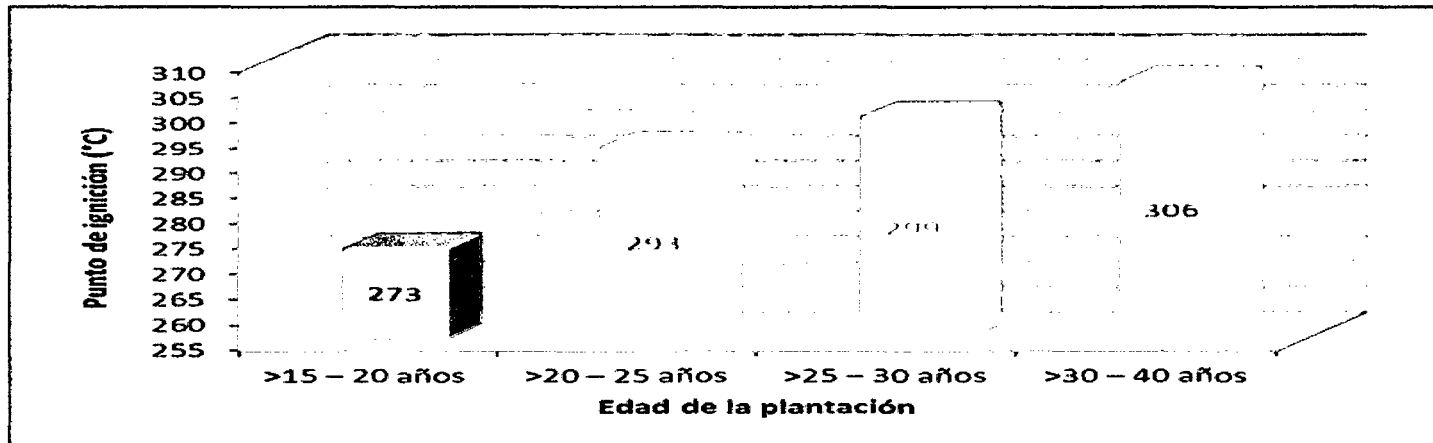


Figura 2. Punto de ignición de la madera de *S. amara* de diferentes edades.



### **9.1.2. Punto de descomposición térmica de *S. amara* de diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas.**

En el cuadro 2 y las figuras 3 y 4 se presentan los resultados del punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara* en relación a la edad y niveles del fuste; siendo la madera de la plantación de >30-40 años la que tiene mayor resistencia con promedio de 341°C, siendo el nivel inferior del fuste de esta plantación que ofrece mayor resistencia con 350°C, con tendencia a reducir su resistencia en el nivel medio del fuste con 330°C y aumentar su resistencia en el nivel superior con 343°C. En el mismo cuadro y figuras se presenta que la madera de la plantación de >15-20 años es la que tiene la menor resistencia con promedio de 310°C, siendo el nivel inferior del fuste que también ofrece la mayor resistencia con 330°C y la menor resistencia en los niveles superiores con 300°C.

Además, en términos generales se puede apreciar que la madera del fuste inferior de las plantaciones tiende a ofrecer mayor resistencia al fuego, a excepción de la plantación de >25-30 donde el nivel medio del fuste ofrece mayor resistencia.

El ANVA (GL = 11;  $\alpha = 0,05$ ), reporta que existe diferencia significativa en la edad y los niveles del fuste, existiendo también diferencia significativa en la interacción de las edades y niveles del fuste. La prueba de Duncan para las edades de las plantaciones presenta que no existe diferencia significativa en la edad de >30-40 años, hasta la edad de >20-25 años. La prueba de Duncan para los niveles del fuste de los árboles de la plantación, indica que no existe diferencia significativa entre el nivel medio y superior del fuste. Con respecto a la prueba de Duncan de la interacción de la edad de la plantación con los niveles del fuste, se observa que no existe diferencia significativa entre la plantación de >30-40 años

del nivel superior del fuste hasta el nivel inferior del fuste de la plantación de >15-20 años. El cálculo de los parámetros de comparación del ANVA y la prueba de Duncan se muestran en los cuadros 10, 11, 12 y 13 del Anexo.

**Cuadro 2.** Punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara* a diferentes edades y niveles del fuste.

Edad de la plantación (años)	Niveles del fuste	Punto de descomposición térmica por niveles del fuste (°C)	Punto de descomposición térmica por edad de la plantación (°C)
>15 - 20	Inferior	330	310
	Medio	300	
	Superior	300	
>20 - 25	Inferior	343	334
	Medio	330	
	Superior	330	
>25 - 30	Inferior	337	337
	Medio	340	
	Superior	333	
>30 - 40	Inferior	350	341
	Medio	330	
	Superior	343	



539

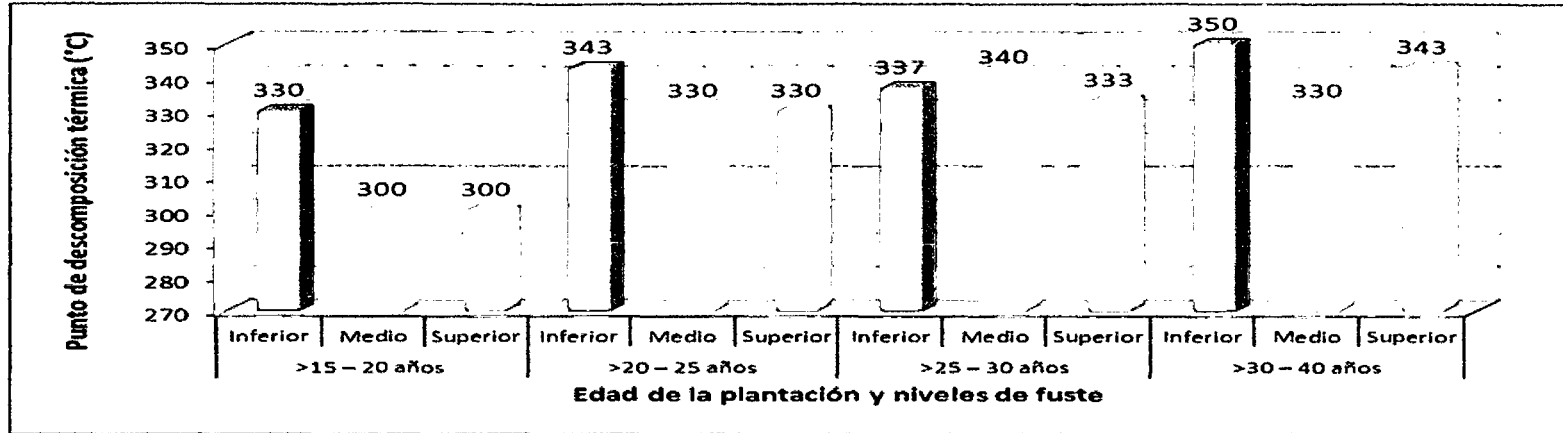


Figura 3. Punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara* de diferentes edades y niveles del fuste.

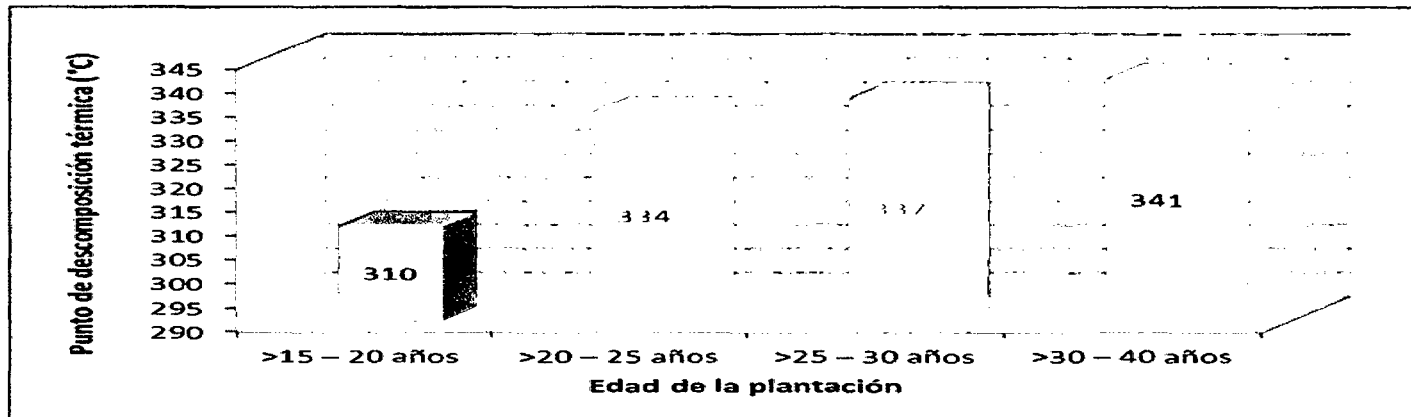


Figura 4. Punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara* de diferentes edades.

## **9.2. Resistencia al fuego de la madera de *C. cateniformis* de diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas.**

### **9.2.1. Punto de ignición de la madera de *C. cateniformis* de diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas.**

En el cuadro 3 y las figuras 5 y 6 se presentan los resultados del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis* en relación a la edad y niveles del fuste; siendo la madera de la plantación de >30-40 años la que tiene mayor resistencia con promedio de 378°C siendo el nivel medio del fuste de esta plantación que ofrece mayor resistencia con 393°C y la menor resistencia se encuentra en el nivel superior del fuste con 360°C. En el mismo cuadro y figuras se presenta que la madera de la plantación de >15-20 años es la que tiene la menor resistencia con promedio de 368°C, siendo el nivel medio del fuste que también ofrece la mayor resistencia con 370°C y el nivel inferior y superior la menor resistencia con 367°C.

El ANVA (GL = 11;  $\alpha = 0,05$ ), reporta que no existe diferencia significativa en la edad y los niveles del fuste, existiendo diferencia significativa en la interacción de las edades y niveles del fuste. La prueba de Duncan para las edades de las plantaciones presenta que no existe diferencia significativa entre las edades de esta plantación. La prueba de Duncan para los niveles del fuste de los arboles de la plantación, indica que no existe diferencia significativa entre ninguno de los niveles del fuste. Con respecto a la prueba de Duncan de la interacción de la edad de la plantación con los niveles del fuste, se observa que no existe diferencia significativa entre la plantación de >30-40 años del nivel inferior del fuste hasta el nivel medio del fuste de la plantación de >25-30 años. El cálculo de los

parámetros de comparación del ANVA y la prueba de Duncan se muestran en los cuadros 14, 15, 16 y 17 del Anexo.

**Cuadro 3.** Punto de ignición de la madera de las plantaciones de *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles de fuste.

Edad de la plantación (años)	Niveles del fuste	Punto de ignición por niveles del fuste (°C)	Punto de ignición por edad de la plantación (°C)
>15 - 20	Inferior	367	368
	Medio	370	
	Superior	367	
>20 - 25	Inferior	367	370
	Medio	370	
	Superior	373	
>25 - 30	Inferior	370	370
	Medio	360	
	Superior	380	
>30 - 40	Inferior	380	378
	Medio	393	
	Superior	360	

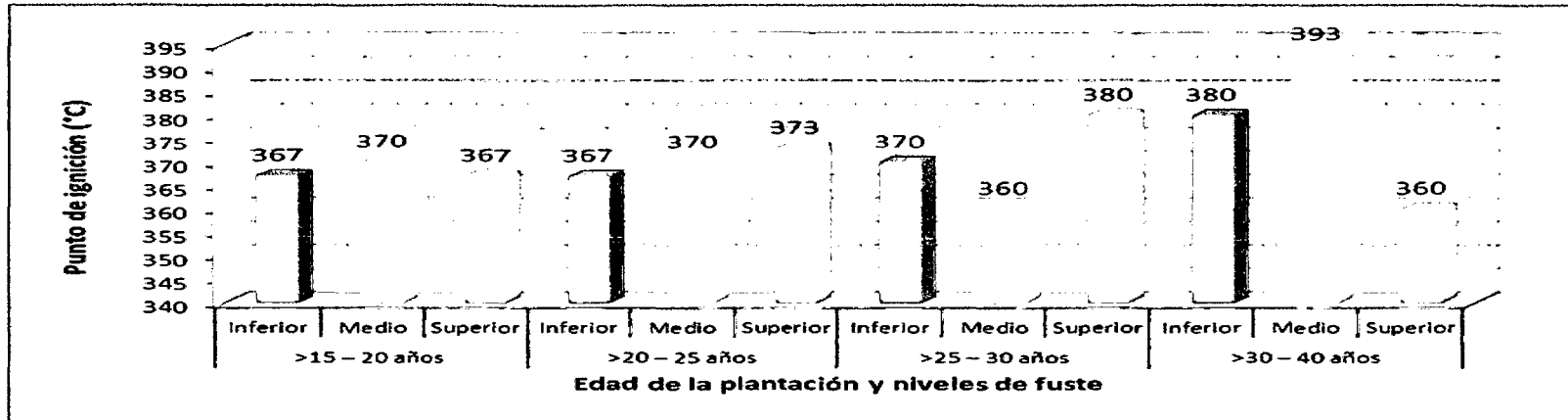


Figura 5. Punto de ignición de la madera de *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles del fuste.

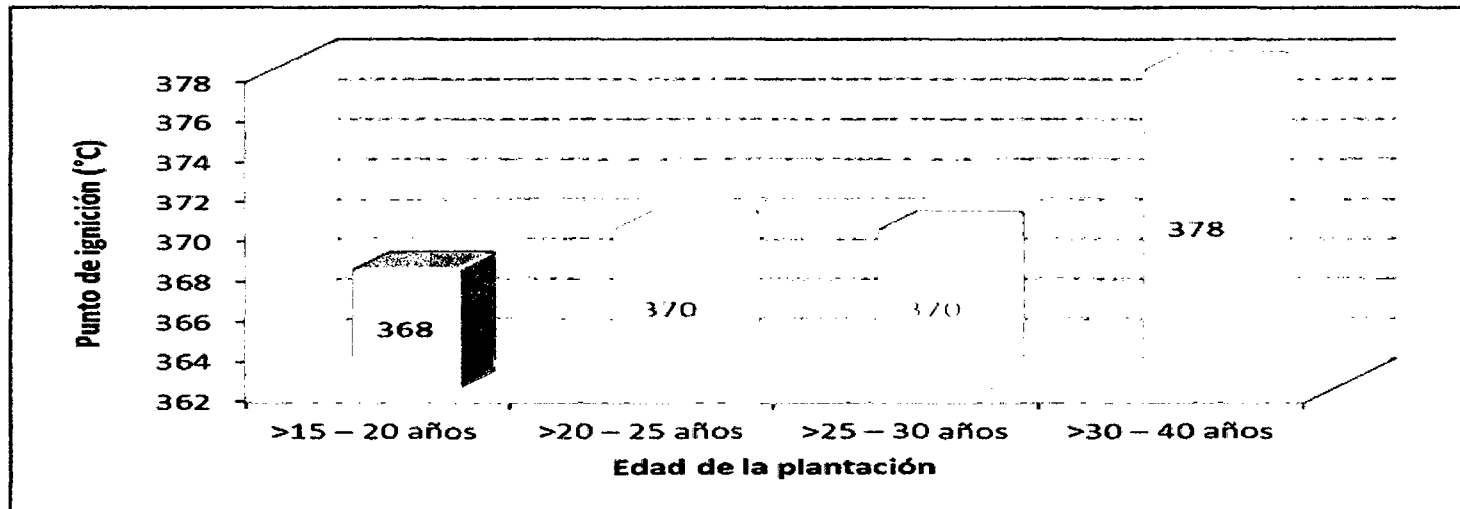


Figura 6. Punto de ignición de la madera de *C. cateniformis* de diferentes edades.

### **9.2.2. Punto de descomposición térmica de *C. cateniformis* de diferentes niveles del fuste y edades en plantaciones demostrativas.**

En el cuadro 4 y las figuras 7 y 8 se presentan los resultados del punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis* en relación a la edad y niveles del fuste; siendo la madera de la plantación de >30-40 años la que tiene mayor resistencia con promedio de 436°C, siendo el nivel medio del fuste de esta plantación que ofrece mayor resistencia con 450°C, y la menor resistencia se encuentra en el nivel superior del fuste con 420°C. En el mismo cuadro y figuras se presenta que la madera de la plantación de >15-20 años es la que tiene menor resistencia a la descomposición térmica con promedio de 406°C, siendo el nivel inferior del fuste que ofrece la mayor resistencia con 413°C, con tendencia a reducir su resistencia en el nivel medio del fuste con 400°C y aumentar su resistencia en el nivel superior con 403°C.

El ANVA (GL = 11;  $\alpha = 0,05$ ), reporta que existe diferencia significativa en la edad de la plantación, existiendo también diferencia significativa en la interacción de las edades y niveles del fuste, pero no existe diferencia significativa entre los niveles del fuste. La prueba de Duncan para las edades de las plantaciones presenta que existe diferencia significativa entre todas las edades de la plantación. La prueba de Duncan para los niveles del fuste de los arboles de la plantación, indica que no existe diferencia significativa entre ninguno de los niveles del fuste de los arboles. Con respecto a la prueba de Duncan de la interacción de la edad de la plantación con los niveles del fuste, se observa que no existe diferencia significativa entre la plantación de >30-40, de >25-30, de >20-25 y de >25-30 años en los niveles inferior, inferior, superior y medio del fuste,

respectivamente. El cálculo de los parámetros de comparación del ANVA y la prueba de Duncan se muestran en los cuadros 18, 19, 20 y 21 del Anexo.

**Cuadro 4.** Punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis* a diferentes edades y niveles del fuste.

Edad de la plantación (años)	Niveles del fuste	Punto de descomposición térmica por niveles del fuste (°C)	Punto de descomposición térmica por edad de la plantación (°C)
>15 - 20	Inferior	413	406
	Medio	400	
	Superior	403	
>20 - 25	Inferior	410	417
	Medio	410	
	Superior	430	
>25 - 30	Inferior	430	426
	Medio	427	
	Superior	420	
>30 - 40	Inferior	437	436
	Medio	450	
	Superior	420	



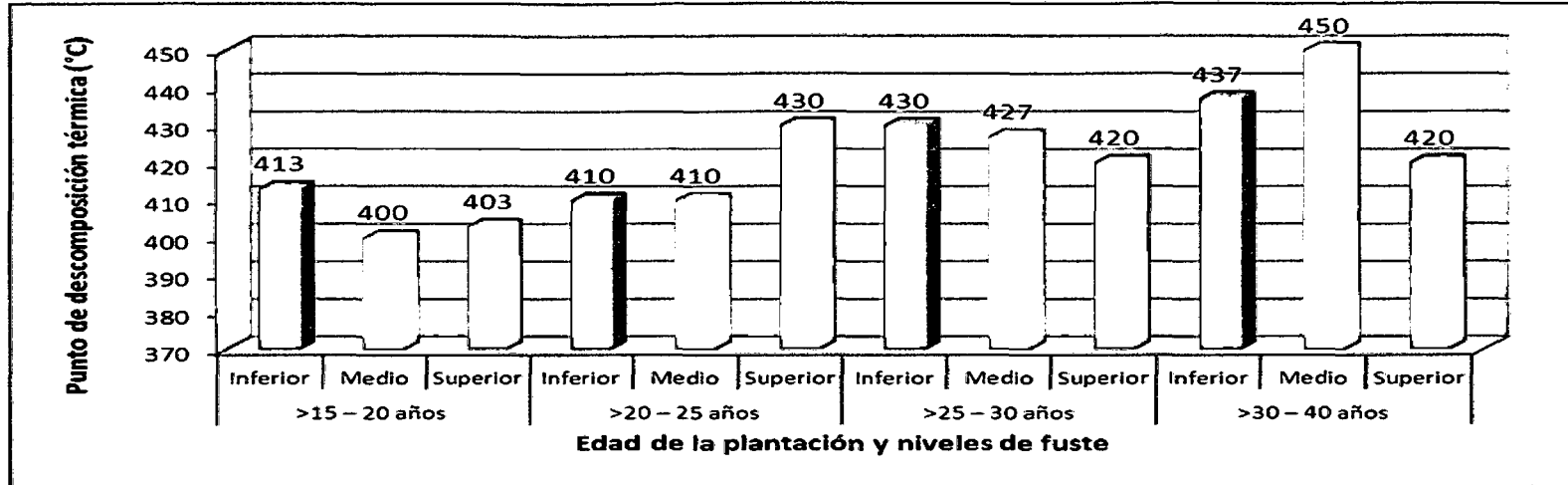


Figura 7. Punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles del fuste.

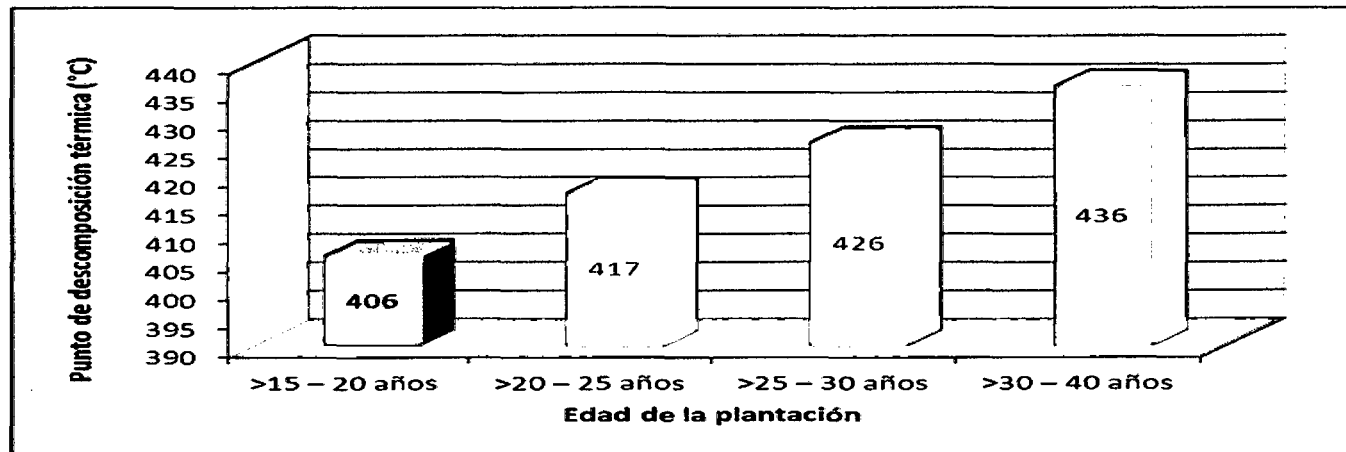


Figura 8. Punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis* de diferentes edades.

## X. DISCUSION

La madera de *S. amara* de la plantación de >30-40 años de edad, del nivel inferior del fuste, ofrece la mayor resistencia al punto de ignición con 323°C; esta resistencia también ocurre en los niveles inferiores de la madera de plantaciones de >25-30 años, de >20-25 años y de >15-20 años, con 300°C, 307°C y 287°C respectivamente, siendo la tendencia de mayor resistencia al punto de ignición en el nivel inferior del fuste y menor en los niveles medio y superior del fuste. Este resultado se debe a que la madera del nivel inferior del fuste tiene mayor densidad básica con respecto a la madera del nivel medio y el nivel superior del fuste, siendo la densidad básica del nivel inferior de la plantación de >30-40 años 374,03kg/m<sup>3</sup> (el autor), y para los niveles superiores del fuste de las plantaciones de >25-30 años, de >20-25 años y de >15-20 años; 382,19kg/m<sup>3</sup>, 366,75kg/m<sup>3</sup> y 345,19kg/m<sup>3</sup> (el autor), respectivamente.

La prueba de Duncan al 0,05 de nivel de significancia, muestra que no existe diferencia significativa entre la madera de las plantaciones de *S. amara* de >30-40 años y de >25-30 años, y entre las plantaciones de >25-30 años y de >20-25 años de edad. En el caso de los niveles del fuste no existe diferencia significativa entre la madera de los niveles medio y superior del fuste.

Estos resultados confirman lo mencionado por Valenzuela *et al.* (1991), que existe una relación directa entre la densidad básica y la resistencia, a mayor densidad básica mayor es la resistencia, y para efectos del caso mayor es la resistencia al punto de ignición. También concuerdan con los resultados de Quintana (2002), que trabajando con tableros de fibras de residuos de madera, en el cual encontró que la mayor resistencia al punto de ignición lo presenta el tablero con mayor

densidad básica. Estos resultados también son confirmados para la madera de *C. cateniformis* la mayor resistencia al punto de ignición es de 393°C que lo presenta el nivel medio de la plantación de >30-40 años de plantado y con una densidad básica de 480,03kg/m<sup>3</sup> (el autor), no teniendo tendencia para las plantaciones de menos edad.

En la prueba de Duncan al 0,05 de nivel de significancia, muestra que no existe diferencia significativa entre la madera de las plantaciones de *C. cateniformis* de >30-40 años, de >25-30 años, de >20-25 años y de >15-20 años. En el caso de los niveles del fuste no existe diferencia significativa entre la madera de los niveles inferior, medio y superior del fuste.

La madera de *S. amara* de la plantación de >30-40 años en el nivel inferior del fuste, ofrece la mayor resistencia al punto de descomposición térmica con 350°C, para la madera de la plantación de >25-30 años la mayor resistencia a la descomposición térmica se encuentra en el nivel medio del fuste con 340°C, en caso de la madera de las plantaciones de >20-25 años y de >15-20 años la mayor resistencia se hallan en el nivel inferior del fuste con 343°C y 330°C respectivamente, siendo la tendencia de menor resistencia al punto de descomposición en el nivel medio y superior del fuste; de acuerdo a los resultados determinados la madera del nivel inferior del fuste tiene mayor densidad básica con respecto a la madera del nivel medio y el nivel superior del fuste.

Estos resultados también confirman lo mencionado por Valenzuela *et al.* (1991) y lo mencionado por Quintana (2002), quienes concuerdan que la madera con mayor densidad básica tiene mayor resistencia. En el cuadro 8 de la prueba de Duncan al 0,05 de nivel de significancia muestra que no existe diferencia

significativa entre la madera de las plantaciones de *S. amara* de >30-40 años, de >25-30 años y de >20-25 años. En el caso de los niveles del fuste no existe diferencia significativa entre la madera de los niveles medio y superior del fuste.

Para la madera la madera de *C. cateniformis*, la mayor resistencia al punto de ignición de 450°C lo presenta el nivel medio de la plantación de >30-40 años de plantado y con una densidad básica de 480,03kg/m<sup>3</sup> (el autor), confirmando también lo mencionado por Valenzuela *et al.* (1991) y Quintana (2002), para la plantación de >25-30 años la mayor resistencia a la descomposición térmica se presenta en el nivel inferior del fuste 430°C y con una densidad básica de 509,95kg/m<sup>3</sup> (el autor), reafirmando lo mencionado por Valenzuela *et al.* (1991) y Quintana (2002).

También hace mención Quinde (1985), que la madera esta compuesta por extractivos, celulosa y lignina y que la madera de mayor densidad contiene mayor proporción de lignina por lo tanto, tendrá mayor resistencia mecánica y por lo tanto mayor resistencia a la combustión, Océano (1996), manifiesta que la madera tiene una mala reacción al fuego y una buena resistencia al mismo.

En la prueba de Duncan al 0,05 de nivel de significancia, muestra que si existe diferencia significativa entre la madera de las plantaciones de *C. cateniformis* de >30-40 años, de >25-30 años, de >20-25 años y de >15-20 años de edad. En el caso de los niveles del fuste no existe diferencia significativa entre la madera de los niveles inferior, medio y superior del fuste.

## XI. CONCLUSIONES

1. La madera de *S. amara* de la plantación de >30-40 años de edad, ofrece la mayor resistencia al punto de ignición en su nivel inferior del fuste con 323°C, seguida de las plantaciones de >25-30 años, de >20-25 años y de >15-20 años de edad, que también ofrecen en los niveles inferiores con 300°C, 307°C y 287°C, respectivamente.
2. La madera de *C. cateniformis* de la plantación de >30-40 años, ofrece la mayor resistencia al punto de ignición en su nivel medio del fuste con 393°C.
3. La madera de *S. amara* de la plantación de >30-40 años en el nivel inferior del fuste, ofrece la mayor resistencia al punto de descomposición térmica con 350°C.
4. La madera de *C. cateniformis* de la plantación de >30-40 años en el nivel medio del fuste, ofrece la mayor resistencia a la descomposición térmica con 450°C.

## **XII. RECOMENDACIONES**

1. Usar para la industria de la construcción y en la elaboración de muebles, maderas de plantaciones de *S. amara* y *C. cateniformis* mayores de 25 años de edad, porque ofrecen una buena resistencia al punto de ignición y punto de descomposición térmica.
2. Continuar la investigación de estas especies, empleando insumos químicos retardantes al fuego de la madera.
3. Continuar trabajos similares con otras especies, de esta manera se estará conociendo su resistencia al fuego y así emplearlo de modo adecuado.

### XIII. BIBLIOGRAFIA

- Cabudivo, A. 2005. Cuantificación del efecto del ciclaje de biomasa en la concentración de nutrientes en suelos de plantaciones forestales Pto. Almendra-Loreto. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Oficina General de Investigación. Artículo científico. Iquitos, Perú 15 p.
- Contador, P.; Tsantaridis, L. 2010. Ensayos de reacción al fuego en el cono calorimétrico. Instituto Forestal <[www.infor.C1/madera\\_fuego/Documentos/Ensayos%20de%20reacci%C3%B3n.PDF](http://www.infor.C1/madera_fuego/Documentos/Ensayos%20de%20reacci%C3%B3n.PDF)>
- Cordero, T.; García, F.; Lahoz, C. 2009. Estudio de la pirólisis convencional de madera de encina (*Quercus rotundifolia*) y pino (*Pinus halepensis*). *An. Quim.* 85(3): 445-447.
- García, L.; Márquez, F.; Aguiar, L.; Arauso, J.; Carballo, L.; Orealgarza, U.; Zanzi, R. 2009. Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 147-154.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Tomo I. Traducción del Alemán al español. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigación y Servicios de la madera. Madrid 675 p.
- Océano. 1996. Atrium de carpintería. Volumen V. Ediciones Océano 117 p.
- Pereyra, O.; Suirezs, M.; Pitsch, C.; Báez, R. 2006. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de la madera de kiri, grevillea, paraíso y toona. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. Argentina 15 p.

- Qirong, F.; Dimitris, S.; David, C.; Lucian, A. 2008. Understanding the pyrolysis of CCA-treated wood Part I. Effect of metal ions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 81(1): 60–64.
- Quinde, A. 1985. Fundamentos de química de la madera. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima 165 p.
- Quintana, S. 2006. Influencia de los nutrientes de la biomasa foliar en las propiedades químicas del suelo en plantaciones de *Simarouba amara* Aubl “marupa” y *Cedrelinga catenaeformis* Ducke “tornillo” de diferentes edades; en Pto. Almendra-Loreto. Perú. Tesis M.Sc. Escuela de Post Grado. UNAP. Iquitos-Perú 90 p.
- Quintana, S. 2002. Elaboración y evaluación físico-mecánica de tableros de fibra de residuos del aserrío de tres especies forestales del CIEFOR-Pto. Almendra. FIF-UNAP. Tesis Ing. Forestal. Iquitos 79 p.
- Tran, H. C.; White, R. W. 1992. Burning rate of solid wood measured in a heat release rate calorimeter. *Fire and Materials* 16: 197-206.
- Valderrama, H. 2005. Apuntes de clases de propiedades físico-mecánica de la madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos 58 p.
- Valderrama, H. 1992. Influencia de la estructura anatómica en el comportamiento tecnológico de treinta especies forestales de la Amazonia peruana. *Conocimiento* 2(2-3): 13-23.
- Valenzuela, W.; Morse, S.; Carre, J. 1991. Paneles de fibrocemento Fabricación, Características y Usos, serie Técnica N° 01 REDINFOR, Lima-Perú 25 p.
- Zanci, R.; Sjostrom, K.; Björnbom, E. 1996. Rapid high temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor. *Fuel* 75(5):545-550.



[www.fao.org/docrep/x5355S/x5355s05.htm](http://www.fao.org/docrep/x5355S/x5355s05.htm)

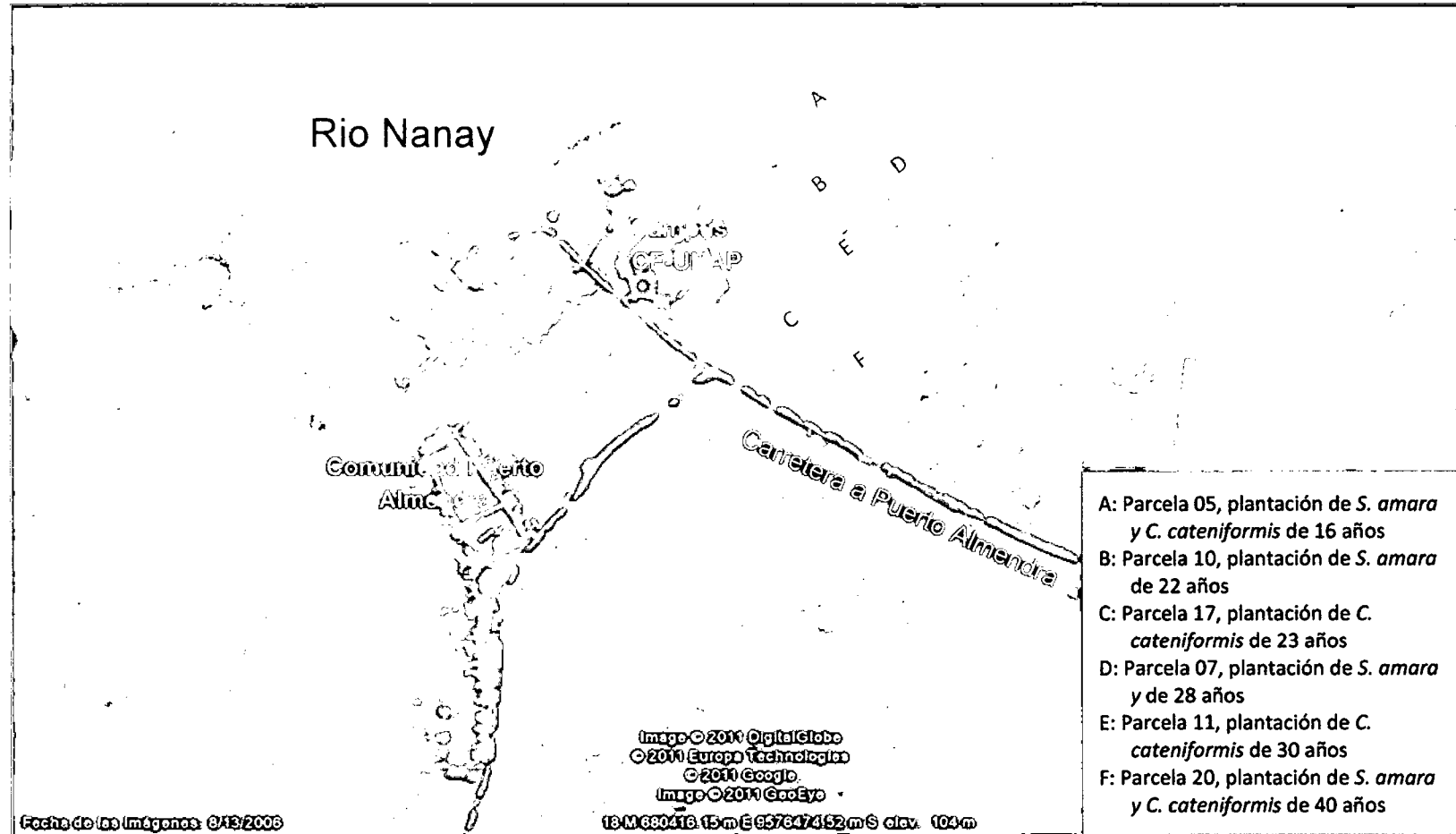
[www.geocities.com/cokevilchez/madera.htm](http://www.geocities.com/cokevilchez/madera.htm)

[www.consumer.es/web/es/bricolaje/carpinteria/2008/06/19/177862.php](http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/carpinteria/2008/06/19/177862.php)

[www.revista-mm.com](http://www.revista-mm.com)

[www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos](http://www.mailxmail.com/curso-fuego-calor/tipos-fuegos)

# **ANEXO**



**Figura 9.** Mapa de ubicación de las plantaciones demostrativas de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades, en el CIEFOR, Puerto-Almendra.

**Cuadro 5.** Densidad básica de la madera de las plantaciones de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades y niveles del fuste.

Plantación	Edad (años)	Niveles del fuste	Db (kg/m <sup>3</sup> )
<i>S. amara</i>	>15 - 20	inferior	345,19
		medio	322,72
		superior	312,41
	>20 - 25	inferior	366,75
		medio	366,52
		superior	348,74
	>25 - 30	inferior	382,19
		medio	358,64
		superior	367,17
	>30 - 40	inferior	374,03
		medio	366,93
		superior	368,02
<i>C. cateniformis</i>	>15 - 20	inferior	429,32
		medio	429,59
		superior	410,15
	>20 - 25	inferior	500,02
		medio	470,00
		superior	450,06
	>25 - 30	inferior	509,95
		medio	449,98
		superior	450,04
	>30 - 40	inferior	480,00
		medio	480,03
		superior	449,97

(Fuente: El autor)

**Cuadro 6.** Análisis de Varianza del punto de ignición de la madera de *S. amara*.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. cal.	F. t0,05
tratamiento	11	8541,6667	776,5152	7,9870	2,22*
edad: A	3	5097,2222	1699,0741	17,4762	3,01*
fuste: B	2	2516,6667	1258,3334	12,9429	3,40*
A x B	6	927,7778	154,6296	1,5905	2,51 N.S
error	24	2333,3333	97,2222		
total	35	10875,00			

**Cuadro 7.** Prueba de Duncan del factor B: Edad de la plantación, del punto de ignición de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Edades (años)	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	>30 - 40	305,56	
2	>25 - 30	298,89	
3	>20 - 25	293,33	
4	>15 - 20	273,33	

**Cuadro 8.** Prueba de Duncan del factor C: Niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Niveles	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	inferior	304,17	
2	medio	288,33	
3	superior	285,00	

**Cuadro 9.** Interacción de los factores B-C: Edades y Niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Edades (años)	Niveles del fuste	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	>30 - 40	inferior	323,33	
2	>20 - 25	inferior	306,67	
3	>25 - 30	superior	300,00	
4	>25 - 30	inferior	300,00	
5	>30 - 40	superior	296,67	
6	>30 - 40	medio	296,67	
7	>25 - 30	medio	296,67	
8	>20 - 25	medio	290,00	
9	>15 - 20	inferior	286,67	
10	>20 - 25	superior	283,33	
11	>15 - 20	medio	273,33	
12	>15 - 20	superior	260,00	

**Cuadro 10.** Análisis de Varianza del punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara*.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. cal.	F. t0,05
tratamiento	11	8122,2223	738,3838	13,9905	2,22*
edad: A	3	5277,7779	1759,2593	33,3335	3,01*
fuste: B	2	1622,2223	811,1112	15,3685	3,40*
A x B	6	1222,2221	203,7037	3,8597	2,51*
error	24	1266,6587	52,7774		
total	35	9388,881			

**Cuadro 11.** Prueba de Duncan del factor B: Edad de la plantación, del punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Edades (años)	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	>30 - 40	341,11	
2	>25 - 30	336,67	
3	>20 - 25	334,44	
4	>15 - 20	310,00	

**Cuadro 12.** Prueba de Duncan del factor C: Niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Niveles	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	inferior	340,00	
2	superior	326,66	
3	medio	325,00	

**Cuadro 13.** Interacción de los factores B-C: Edades y Niveles del fuste, del punto de descomposición térmica de la madera de *S. amara*.

Orden de mérito	Edades (años)	Niveles del fuste	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	>30 - 40	inferior	350,00	
2	>30 - 40	superior	343,33	
3	>20 - 25	inferior	343,33	
4	>25 - 30	medio	340,00	
5	>25 - 30	inferior	336,67	
6	>25 - 30	superior	333,33	
7	>30 - 40	medio	330,00	
8	>20 - 25	superior	330,00	
9	>20 - 25	medio	330,00	
10	>15 - 20	inferior	330,00	
11	>15 - 20	superior	300,00	
12	>15 - 20	medio	300,00	

**Cuadro 14.** Análisis de Varianza del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. cal.	F. t <sub>0,05</sub>
tratamiento	11	2897,2227	263,3839	2,4952	2,22*
edad: A	3	519,4449	173,1483	1,6404	3,01 N.S
fuste: B	2	72,2227	36,1114	0,3421	3,40 N.S
A x B	6	2305,5551	384,2592	3,6404	2,51*
error	24	2533,3329	105,5555		
total	35	5430,5556			

**Cuadro 15.** Prueba de Duncan del factor B: Edad de la plantación, del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Edades (años)	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	>30 - 40	377,78	
2	>25 - 30	370,00	
3	>20 - 25	370,00	
4	>15 - 20	367,78	

**Cuadro 16.** Prueba de Duncan del factor C: Niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Niveles	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	medio	373,33	
2	inferior	370,83	
3	superior	370,00	

**Cuadro 17.** Interacción de los factores B-C: Edades y niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Edades (años)	Niveles del fuste	Punto de ignición (°C)	Significancia
1	>30 - 40	medio	393,33	
2	>30 - 40	inferior	380,00	
3	>25 - 30	superior	380,00	
4	>20 - 25	superior	373,33	
5	>25 - 30	inferior	370,00	
6	>20 - 25	medio	370,00	
7	>15 - 20	medio	370,00	
8	>20 - 25	inferior	366,67	
9	>15 - 20	superior	366,67	
10	>15 - 20	inferior	366,67	
11	>30 - 40	superior	360,00	
12	>25 - 30	medio	360,00	

**Cuadro 18.** Análisis de Varianza del punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis*.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. cal.	F. t <sub>0,05</sub>
tratamiento	11	7008,3333	637,1212	17,6434	2,22*
edad: A	3	4408,3333	1469,4444	40,6923	3,01*
fuste: B	2	116,6667	58,3334	1,6154	3,40 N.S
A x B	6	2483,3333	413,8889	11,4615	2,51*
error	24	866,6667	36,1111		
total	35	7875			

**Cuadro 19.** Prueba de Duncan del factor B: Edad de la plantación, del punto de descomposición térmica de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Edades (años)	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	>30 - 40	435,56	
2	>25 - 30	425,56	
3	>20 - 25	416,67	
4	>15 - 20	405,55	

**Cuadro 20.** Prueba de Duncan del factor C: Niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Niveles	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	inferior	422,50	
2	medio	421,67	
3	superior	418,33	

**Cuadro 21.** Interacción de los factores B-C: Edades y niveles del fuste, del punto de ignición de la madera de *C. cateniformis*.

Orden de mérito	Edades (años)	Niveles del fuste	Punto de descomposición térmica (°C)	Significancia
1	>30 - 40	medio	450,00	
2	>30 - 40	inferior	436,67	
3	>25 - 30	inferior	430,00	
4	>20 - 25	superior	430,00	
5	>25 - 30	medio	426,67	
6	>30 - 40	superior	420,00	
7	>25 - 30	superior	420,00	
8	>15 - 20	inferior	413,33	
9	>20 - 25	medio	410,00	
10	>20 - 25	inferior	410,00	
11	>15 - 20	superior	403,33	
12	>15 - 20	medio	400,00	