

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRONOMIA



"EVALUACION FISICO-MECANICA DE LA MADERA DE LA PALMA DE COCO (COCOS NUCIFERA L").

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO ESPECIALIDAD BOSQUES

P R E S E N T A

RAUL RODRIGUEZ ANDA

GUADALAJARA, JAL., 1989



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección.

Expediente

Número

Junio 16 de 1989

C. PROFESORES:

M.C. EZEQUIEL MONTES RUELAS, DIRECTOR
M.C. ARTURO GURIEL BALLESTEROS, ASESOR
ING. CARLOS MANUEL BOZMAN PAREDES, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

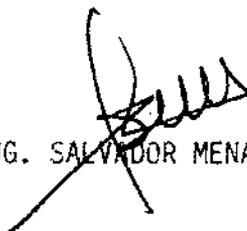
" EVALUACION FISICO-MECANICA DE LA MADERA DE LA PALMA DE COCO (Cocos nucífera, L.) ".

presentado por el (los) PASANTE (ES) RAUL RODRIGUEZ ANDA

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO


ING. SALVADOR MENA MUNGUIA

srd'

Al contestar este oficio cítese fecha y número



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección

Expediente

Número

Junio 16 de 1989

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)
RAUL RODRIGUEZ ANDA

titulada:

" EVALUACION FISICO - MECANICA DE LA MADERA DE LA PALMA DE COCO (Co
cos nucifera, L.)".

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

M.C. EZEQUIEL MONTES RUELAS

ASESOR

ASESOR

M.C. ARTURO CURTEL BALLESTEROS

ING. CARLOS MANUEL GUZMAN PAREDES

srd'

Al contestar este oficio citese fecha y número

Al Instituto de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad
de Guadalajara, por las facilidades otorgadas para la
realización de este trabajo.

A mi Director de Tesis:

M en C. Ezequiel Montes Ruelas.
Por su orientación y dirección en el presente trabajo.

A mis Asesores:

Ing. Carlos Manuel Guzman Paredes.
M en C. Arturo Curiel Ballesteros.
Por sus valiosos puntos de vista, y por esa fina atención
que siempre me han brindado.

A todas las personas que de alguna u otra forma contibuyeron
a la realización de este trabajo.

A mis Padres:

Jesus Rodriguez Mandujano
Graciela Anda de Rodriguez
Porque supieron inculcar en mi
ese deseo de lucha y superación,
otorgandome con ello el mayor de
los tesoros "LA EDUCACION".



ESCUELA DE AGRÓNOMOS
BIBLIOTECA

A mis Hermanos:

Fca.Marta
Yolanda
Ma.Guadalupe
Rogelio
Eduardo
Beatriz
Silvia
Que en gran medida, me impulsaron
a seguir adelante.

A mi Esposa:

Gpe.Yolanda Padilla Jimenez
Que desde el inicio de la carrera
me dio su apoyo, y supo conservar
en mi ese ánimo de superación.

A mi Hijo:

Isaac Rodriguez Padilla
Como un ejemplo que un padre
tiene que brindar a su hijo.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	ANTECEDENTES	2
	1. Origen	2
	2. Origen citogenético	2
	3. Descripción botánica	3
	3.1. Raiz	3
	3.2. Tallo	3
	3.3. Hojas	4
	3.4. Inflorescencias	5
	3.5. Fruto	5
	4. Condiciones ecológicas y edáficas.....	6
	5. Cultivo del cocotero	6
	6. Plagas y enfermedades	7
	7. Investigaciones realizadas	9
	7.1. Propiedades anatómicas	9
	7.2. Propiedades químicas	11
	7.3. Propiedades físicas	13
	7.3.1. Contenido de humedad	13
	7.3.2. Densidad	15
	7.3.3. Hinchamiento y contracción	17
	7.4. Propiedades mecánicas	18
	7.5. Elaboración de tableros aglomerados	20
	7.6. Aserrio	23
	7.7. Secado	25
	7.8. Conservación de la madera de palma	27
	7.8.1. Tratamiento con brocha	28
	7.8.2. De impregnación	28
	7.8.3. Baño caliente y frío	28
	7.8.4. Desplazamiento de sabia	29
	8. Propiedades físicas de la madera	29
	8.1. Contenido de humedad	29
	8.1.1. Deseccación por estufa	31
	8.1.2. Métodos eléctricos	31
	8.2. Densidad	32
	8.2.1. Determinación estereométrica del volumen	33

8.2.2. Determinación por desplazamiento de fluidos.	33
8.3. Estabilidad dimensional	33
9. Propiedades mecánicas de la madera	35
9.1. Factores que influyen en las propiedades físico-mecánicas.	36
9.1.1. Contenido de humedad	36
9.1.2. Densidad	38
9.1.3. Desviación de la fibra	38
9.1.4. Otros	40
III. MATERIALES Y METODOS	41
1. Descripción de la zona de muestreo	41
2. Monitoreo preliminar y recolección de muestras... ..	42
3. Asierre y elaboración de probetas	43
4. Determinación de las propiedades físico mecánicas.	46
4.1. Ensayo de flexión	46
4.2. Ensayo de tensión	48
4.3. Ensayo de cizallamiento	50
4.4. Ensayo de Dureza (Brinell)	52
4.5. Ensayo de compresión	54
4.6. Ensayo de impacto	56
4.7. Contenido de humedad	57
4.8. Densidad	58
4.9. Materiales utilizados	59
5. Analisis estadístico	60
IV. RESULTADÓS	62
V. DISCUSION	73
VI. CONCLUSIONES	77
VII. RESUMEN	78
VIII. APENDICE	79
IX. BIBLIOGRAFIA	86

I. INTRODUCCION

El actual crecimiento demográfico, la falta de fomento a las plantaciones, los costos de extracción, así como otros factores que influyen directamente en la inflación desmedida del producto maderero, se ha reflejado en la imperiosa necesidad de introducir nuevas especies al ámbito maderero; Los requerimientos de la industria mueblera y de la construcción son tales, que para satisfacer sus necesidades, recurren a la importación de madera.

Sin embargo, existen varias especies, que conociendo sus propiedades tecnológicas, se podrían incorporar a dicha actividad, subsanando con ello sus requerimientos.

Uno de estos materiales es la palma de coco (Cocos nucifera L.), el cual es un vegetal, que en su estado adulto, su producción de frutos es notablemente reducida siendo económicamente incosteable su manutención, otros de los elementos que influyen en la producción de la palma, es el relacionado con el ataque de insectos y/o microorganismos, o bien aquellas palmas que son derribadas por el viento o cuando algún rayo incide sobre ellas; Posteriormente éstas palmas pasan a ser un material ocioso, siendo derribadas y quemadas. Cuando la palma llega a éste punto, es inmediatamente sustituida por 3 elementos más, asegurándose un rendimiento sostenido del cultivo.

En México es relativamente poca la información que existe en cuanto al aprovechamiento de este recurso, y practicamente nula referente a la explotación del tronco o fuste como recurso maderable.

Los objetivos que motivaron a la realización de éste trabajo son los siguientes:

- Como objetivo general es el de conocer el comportamiento fisico-mecánico de este material. Sometiendo al material en estudio, dentro del ámbito mecánico a los ensayos de:
 - Flexión.
 - Compresión Longitudinal y Perpendicular.
 - Tensión.
 - Cizallamiento.
 - Dureza Paralela y Perpendicular.
 - Impacto.Dentro de las determinaciones físicas:
 - Contenido de humedad.
 - Densidad.

- Determinar su potencialidad de uso, comparando sus propiedades tecnológicas con especies (maderables) de uso común.

II. ANTECEDENTES

1. Origen

Existe una gran diversidad de opiniones por lo que se refiere al lugar de origen de esta planta, una de ellas argumenta que procede de America, sin embargo, la probabilidad es muy remota ya que al descubrimiento de América hecha por Colón, Oviedo halló un cocotal en el litoral Occidental de Itsmo de Panamá. Aún esta versión del origen del Cocos nucifera, se cree que es errónea debido a una incorrecta traducción.

El cocotero se ha cultivado en la India desde la más remota antigüedad, sin embargo, no existen pruebas que demuestren que es nativo de ese país.

En la actualidad se considera que Asia y más concretamente al Archipiélago Malayo, constituyen el foco del cual se dispersó en el océano Pacífico pasando con posterioridad al océano Índico. Como y cuando se introdujo el coco al continente Americano, no existe una explicación convincente al respecto, argumentando que las corrientes marinas o bien los nativos de America originaron su dispersión en este continente.

2. Origen Citogénético

El género Cocos pertenece a la familia de las palmas, tribu Ceroxylinae. El coco es un género monotípico cuya especie es nucifera, con sus variedades botánicas praecociflora, sinphyllica, spicata y palmirensis. Otros géneros relacionados son Elaeis, Acrocomia, Attalia, Arecastrum, Butia, Jubae y Maximiliana; De las cuales Elaeis es el representante económico de mayor importancia.

La clasificación taxonómica del Cocos nucifera es la siguiente:

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Sub-división	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Sub-clase	Monocotiledoneae
Orden	Arecales
Familia	Palmaceae

Tribu	Ceroxilinae
Género	<u>Cocos</u>
Especie	<u>nucifera</u>
Variedad botánica	<u>praecociflora</u>
Variedad botánica	<u>sinphyllica</u>
Variedad botánica	<u>spicata</u>
Variedad botánica	<u>palmirensis</u>

3. Descripción Botánica

3.1. Raiz

El cocotero está desprovisto de raíz principal, desde su germinación se desarrollan raíces adventicias que parten de la base del tallo, siendo muy variable la cantidad de éstas, oscilando entre 4000 a 8000 (OHLER 1986), debiéndose al tipo de variedad, condiciones de crecimiento, edad y salud de la palmera.

Las raíces que nacen por encima de la superficie del terreno causan el ensanchamiento basal de la palma. Un desarrollo radicular intenso ocasiona un crecimiento óptimo y al mismo tiempo una mayor superficie foliar. Las raíces en un principio poseen una coloración blanco amarillento, tornándose posteriormente en una tonalidad roja clara u oscura.

La longitud de las raíces es por demás variable situándose entre 5 y 10 m (COSTE 1969); Según las investigaciones realizadas se demuestra que los primeros 30 cm de profundidad (en el suelo) se encuentra desprovisto de raíces funcionales, siendo el rango de 30 a 120 cm donde se localiza la mayor actividad radicular.

3.2. Tallo

El tallo se desarrolla partiendo de una yema terminal en el centro de la parte apical del mismo, como Monocotiledonea que es no posee cambium, por lo que no existe un engrosamiento secundario.

Durante los primeros años después de la germinación solo se forman internudos muy cortos de los que brotan muchas raíces adventicias, solo cuando el tronco ha llegado a su pleno grosor, aumenta su alargamiento y sale del suelo, la base del tronco se ensancha dependiendo de la variedad.

Por lo general las palmeras crecen erectas, a menos que predominen vientos en una sola dirección obligándolas a que se inclinen hacia sotavento.

Su aspecto es de color grisáceo, cuya base puede alcanzar 1 m de diámetro, varía de 30 a 50 cm. El tallo muestra en su superficie un gran número de cicatrices que pertenecieron a las inserciones de las hojas que en algún tiempo poseían ese lugar. Al espacio que existe entre las inserciones se le denomina internudos; el número de éstos varía de 10 a 15 por metro cuando la planta es joven y las condiciones climáticas y edáficas son favorables, incrementándose de 30 a 35 cicatrices por metro cuando la planta se encuentra en estado adulto (OHLER 1986).

El número de cicatrices permite estimar la edad de la palma existiendo una correlación positiva entre altura del tallo y la producción, encontrando que los elementos de mayor altura son los que ofrecen mayor rendimiento (PATEL 1938).

Mediante mediciones hechas en la India (Kazagarod), durante 15 años se ha evaluado que el crecimiento medio anual de una palma es de 23 cm; variando a 29 cm en los primeros 5 años y 18 cm en los últimos 5 años (ROBLES 1982).

Al término del tallo en el extremo apical superior lleva la corona o penacho y termina en una sola yema terminal (primordio foliar) que dará origen a todas las hojas (cogollo).

El tallo no se ramifica y todas las hojas parten del ápice ya que solo tiene tejido meristemático o de crecimiento en la punta. Las heridas hechas en la corteza del tallo no se regeneran, debido a inexistencia de tejido meristemático es esa zona.

3.3. Hojas

La copa de un cocotero está comprendida por un penacho de hojas que oscila entre 25 a 40, las cuales poseen una longitud que puede variar de 2 a 6 m, pesando cada una de ellas entre 10 y 15 kg.

Cada hoja lo componen el peciolo, raquiz y hojuelas. El peciolo varía en longitud de 75 a 140 cm aproximadamente, a lo largo del raquiz, están distribuidas las hojuelas o foliolos, cuya cantidad puede variar de 200 a 300, su longitud oscila entre los 40 y 100 cm, y la anchura entre 1.5 y 8 cm.

En un árbol de suficiente edad para empezar a producir maduran de 12 a 14 hojas durante el año, pudiendo cada hoja mantener su tamaño completo durante 2 años antes de desprenderse.

3.4. Inflorescencias

El cocotero es una planta monóica, esto es que sus órganos sexuales se encuentran en flores distintas pero sobre el mismo individuo. Sin embargo, las flores masculinas y femeninas se localizan en una misma inflorescencia racimosa, denominada espádice.

Normalmente este espádice se desarrolla en la axila de cada hoja; Por lo tanto, el número de hojas producidas por año determina también el número posible de inflorescencias.

El espádice llega a medir 120 cm de largo (COSTE 1969) hasta 2 m (ROBLES 1982), y de 15 a 20 cm de diámetro. Este espádice consiste de un eje principal que cuenta de 20 a 60 espigas que producen flores, llegando a ser de 20 a 40 flores por espádice y de 300 a 600 flores por espiga.

3.5. Fruto

Botánicamente el fruto del cocotero es una drupa que posee una sola semilla. Está constituido por un pericarpio liso y céreo, mesocarpio fibroso y endocarpio pétreo. Según la variedad, el color, la forma y el grosor del fruto cambian cuando el fruto está maduro, su color puede ser amarillo, verde o castaño. La forma puede ser redonda, ovoide-globoso u ovoide triangular. El diámetro varía de 10 a 40 cm, el endocarpio tiene tres ojos basales. El peso del fruto puede variar de 0.5 a 1.5 kg.

composición del fruto maduro:

Mesocarpio	35% (incluyendo pericarpio)
Endocarpio	12%
Endospermo	28%
Agua	25%

4. Condiciones Ecologicas y Edaficas

El cocotero en un cultivo de zonas tropicales húmedas, el cual se encuentra entre los paralelos de latitud 20° N y 20° S, la altura de este cultivo sobre el nivel del mar oscila entre 0 y 300 m como máximo. Sin embargo, se pueden encontrar cocoteros a alturas de 700 a 800 m.s.n.m., con lo cual merma su producción. Requiere una temperatura media anual de 25°C y una precipitación media anual de 1000 a 1500 mm.

El cocotero no prospera en zonas nubladas, ya que requiere buena insolación, de ahí la importancia de hacer un buen control de malezas. No exige una humedad relativa constantemente alta, pero si le afecta una baja humedad relativa acompañada de sequia. Los vientos suaves benefician al cocotero por jugar este un papel importante en la polinización.

Los cocoteros se cultivan en una gran variedad de tierras, que van de arenas gruesas a arcillas, aunque no crecen en todas partes con la misma frondosidad.

La textura del suelo, además de la importancia que tiene para su aireación, es importante para la formación del sistema radical y, por consiguiente para la fijación de la palmera. Por lo general, el sistema radical del cocotero que crece en un suelo ligero, se desarrolla en una superficie más vasta que cuando se trata de suelos pesados. En suelos blandos en extremo la fijación de la palma es insuficiente y facilmente la arrancan los vendavales.

Aparte de la gran adaptabilidad por lo que respecta a la textura del suelo, el cocotero se adapta a rangos de pH del suelo de 5.5 a 7.0. (OHLER 1986).

5. Cultivo del cocotero

En México, el cocotero está establecido como plantaciones en 13 entidades de la República, en regiones al Sur del trópico de cancer. La superficie reportada es de 194 473 hectareas (GOMEZ 1985). Lo que representa el 0.49 % del total de la superficie arbolada en la República (38'913,675 ha.) (Cámara Nacional de la Industria Derivada de la Silvicultura 1987). Las entidades principales en superficie establecida son los estados de Guerrero, Colima, Tabasco y Oaxaca; De la superficie total 136, 101 has. son de temporal y 58,372 has. son de riego.

No existe una recomendación general para el espaciamiento de los cocoteros, ya que la densidad correcta depende de muchos factores que varían de una zona a otra (tipo de suelo, variedad cultivada, como monocultivo o pluricultivo, etc.). Durante mucho tiempo, el espaciamiento más frecuentemente usado en las plantaciones de cocoteros se basa más bien en la tradición, que es lo que determina su espaciamiento, por lo general existe una gran variedad en los espaciamientos pudiendo ser de 7.5 m en disposición triangular (210 palmeras/ha.), y a 10 m en formaciones cuadradas (100 palmeras/ha.).

El tamaño de cepa recomendable es de 1.20 * 1.20 * 0.90 m., siempre y cuando existan aplicaciones de materia orgánica; o bien de 0.90 * 0.90 * 0.90 m. cuando no se den aplicaciones de materia orgánica. Estas aplicaciones deberán consistir en 50 kg de borra y 50 kg de estiércol, debiendo el estiércol estar completamente descompuesto para evitar "quemar" las raíces de la plántula, se recomienda batirlo fuertemente con la arena hasta obtener una muestra homogénea. (ARIAS 1981).

Los requerimientos nutricionales, dependen de varios factores (edáficos, climáticos, etc.) sin embargo, OHLER (1986) presenta las cifras de absorción anual de los principales nutrientes para la palma (híbridos que dan 6.7 toneladas de copra/ha).

N = 174 kg/ha
P = 20 " "
K = 49 " "

6. Plagas y Enfermedades

Dentro de las plagas se tienen identificadas las siguientes:

Defoliadores:

- Sexava spp.
- Graeffe crovani
- Aspidiotus destructor
- Hidari irava
- Nephantis serinopa
- Setora nitens Walker
- Parasa lepida
- Cantheyla ritunda
- Brachartona catoxantha

Por otra parte existe otra plagas que atacan a diferentes partes de la palma como lo son:

- Amblypelta cocophaga.
El insecto se alimenta de las inflorescencias y nueces del cocotero.
- Pseudotheraptus wagi.
Las ninfas jóvenes se alimentan del espádice en desarrollo haciendolo en la base de las flores masculinas, las ninfas mayores y los adultos suelen alimentarse más de las nueces y las flores femeninas en desarrollo.
- Tirathaba spp.
La oruga de la polilla se alimenta de las flores masculinas y femeninas.
- Castina daedalus.
Las larvas penetran en el tallo a la altura de las bases de las hojas, provocando su marchités y haciendo caer los frutos por falta de soporte adecuado.
- Coelaenimenondera spp.
Es un minador de la hoja.
- Rhynchophorus spp.
Este insecto es un perforador del tallo.
- Orytes rhinoceros.
Este insecto ataca al tallo perforandolo.
- Strategus aloeus.
Penetran por el suelo cerca de las palmeras jóvenes y perforan el tronco en desarrollo.
- Eriophyes guerreronis.
Acaro que ataca los racimos de cocos ocasionando el daño por secreciones tóxicas.
- Birgus latro.
Este cangrejo trepa la planta por las noches cortando la nuez.
- Rattus spp.
Las ratas roen el fruto haciendo agujeros en las nueces sobre todo para extraer el agua.

Por lo que respecta a las enfermedades existen varios tipos, a continuación se mencionan las mas comunes:

- Anillo rojo.

Causado por el nemátodo Aphelenchoides cocophilus Cobb, los síntomas son una rápida marchites de las hojas y un anillo rojo en el tronco.

- Pudrición del cogollo.

Esta enfermedad es ocasionada por varias causas incluyendo a Phytophthora palmivora Butler.

- Hemorragia del tallo.

Es una herida parasitaria de menor importancia.

- Muerte del ápice hacia atrás.

Ocasionado por el Botryodiplodia theobromae Pat. parásito o saprófito débil.

- Marchites de la hoja.

Pestalotia palmarum Cke. parásito o saprófito débil.

- Podredumbre basal del tallo.

Es ocasionado por el hongo Ganoderma boninense.

- Podredumbre del fruto.

Llamado también como antracnosis causada por el hongo Colletotrichum gloeosporoides Penz.

7. Investigaciones Realizadas

En países Asiáticos es donde se concentra la mayor información de estudios integrales referentes a éste cultivo, que a continuación se mencionan:

7.1. Propiedades Anatómicas

La madera de la palma consiste en un cierto número de haces vasculares dispersos, fijados en una matriz de células más o menos esféricas de parénquima. Los haces vasculares

son mayores en las partes periféricas del tallo; MONTES (1986) contabiliza 10 haces/cm² en la porción central y de 50 haces/cm² en la zona periférica a 1 m de altura. Por otra parte, FUENTES (1987) obtiene una relación entre la cantidad de haces/cm² y la distancia existente entre la periferia de la palma hasta su parte central, oscilando entre 119 haces/cm² a 1 cm. de la periferia hacia el centro y de 11 haces a una distancia de 15 cm. Estos datos fueron contabilizados a una altura de 1.30 m.

MOSTEIRO (1978) menciona que la cantidad de haces vasculares/cm² se encuentra en mas abundancia en la zona periférica pudiendo oscilar entre los 63 a 99 haces/cm² afirmando que disminuye su cantidad conforme se acerca a la parte central de la palma.

KILLMANN (1983) establece 3 ejes en la cara transversal de la palma prolongandolo a todo lo largo de la palma denominando como eje "A", a la parte externa de la palma, eje "B", a la parte intermedia, y como eje "C", a la parte central de la palma. Obteniendo para el eje "A" una cantidad de 31 a 90 haces vasculares/cm², para alturas de 1 a 17 m. Para el eje "B", de 17 a 28 haces/cm² para alturas de 1 a 14 m. Y para el eje "C", de 8 a 36 haces/cm² para alturas de 1 a 17 m.

Por su parte SILVA (1989) propone 3 zonas definidas en un corte transversal de la palma, denominándolas periférica, intermedia y central, expresando que la zona periférica es la que posee mayor cantidad de haces vasculares, siendo en menor proporción en la zona intermedia, decreciendo aun más en la zona central; Sin embargo se expresa que el factor altura de la planta es un punto altamente significativo para la contabilización de dichos haces, pudiendo oscilar para la zona periférica, desde 36 haces/cm² en la base de la palma, hasta 139 haces /cm² a una altura de 14 m. Por su parte la zona intermedia registra 20 haces /cm² hasta 82 haces/cm², por lo que respecta la zona central contabiliza de 10 haces/cm² hasta 47 haces/cm² para las alturas antes mencionadas.

Existe una alta correlación entre la cantidad de haces vasculares y la altura de la palma (KILLMANN 1983, SILVA 1989), así como la cantidad de haces vasculares con respecto a la densidad y humedad.

FUENTES (1987) reporta que la constitución de los haces vasculares lo componen una gran cantidad de fibras de longitud media según la clasificación de WAGENFUEHR (1966), de lumen amplio y paredes celulares bien formadas, cuyos valores son reportados en la tabla 1.

TABLA 1. MEDICIONES DE FIBRAS DEL COCOTERO OBTENIDAS POR FUENTES (1987).

	LONGITUD (mm)	DIAMETRO (mm)
Promedio	1.72	.055
Maximo	2.29	.076
Minimo	1.03	.040
Desv.Est	.34	.008

TAMOLANG (1976) reporta (tabla 2) valores de las dimensiones de las fibras.

TABLA 2. RESULTADOS DE MEDICIONES DE FIBRAS OBTENIDOS POR TAMOLANG (1976).

LARGO	(mm).	1.94
ANCHO	(mm).	0.036
LUMEN	(mm).	0.024
ESPEJOR DE LA PARED CELULAR	(mm).	0.006

7.2. Propiedades Químicas

TAMOLANG (1976) realiza una serie de análisis químico en muestras de palma por medio de destilación a 600 °F, observandose los resultados en la tabla 3.

TABLA 3. RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICO DE CARBONIZACION REALIZADOS POR TAMOLANG (1976).

MUESTRA	MAT.VOLATIL (%)	CENIZA (%)	CARBON FIJO (%)
Tronco sin corteza	75.20	3.18	21.60
Carbón del tronco *	15.80	6.36	77.80
Tronco con corteza	64.40	4.30	31.30
Carbón de corteza *	12.70	3.40	83.90

* Destilación de madera en retorta a 600 °F

MONTES (1986) realiza un análisis químico encontrando que los valores aproximados del carbón es: Carbón fijo 70 %, Materia combustible volátil 16 %, Contenido de humedad 12 % y cenizas 2 %.

Por lo que respecta al carbón activado, la activación del carbón del tronco y de la corteza es llevado mediante métodos de activación usando cloruro de Zinc, mostrándose que los resultados obtenidos (tabla 4) son superiores al carbón decolorizante comercial (TAMOLANG 1976).

El carbón activado puede fabricarse con madera de palma de coco, eliminando los alquitranes hidrocarbónicos adheridos al carbón, para crear una vasta red de vasos moleculares que incrementa y mejora la capacidad de absorción del carbón.

El carbón activado de cáscara de coco presenta mejores condiciones de absorción de gas y de vapor por su elevada densidad.

El carbón activado de madera por su baja densidad es más apto para depuración líquida.

TABLA.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE CARBON DE TRONCO Y DE CORTEZA CON RESPECTO AL COMERCIAL (TAMOLANG 1976).

ESPECIE	PESO DEL CARBON (g)	ABSORCIVIDAD DE YODO (Gm/gm)
Carbón de tronco *	.05	1156.90
	.10	1133.80
	.25	975.60
	.50	727.70
	.75	566.40
	1.00	497.10
Carbón de corteza *	.05	1421.00
	.10	1200.00
	.25	1186.00
	.50	946.50
	.75	676.00
	1.00	500.10
Carbón decolorizante comercial	.05	400.90
	.10	378.80
	.25	375.80
	.50	306.40
	.75	243.50

7.3. Propiedades Físicas

Dentro de las propiedades físicas se catalogan el contenido de humedad, densidad, hinchamiento y contracción.

7.3.1. Contenido de Humedad

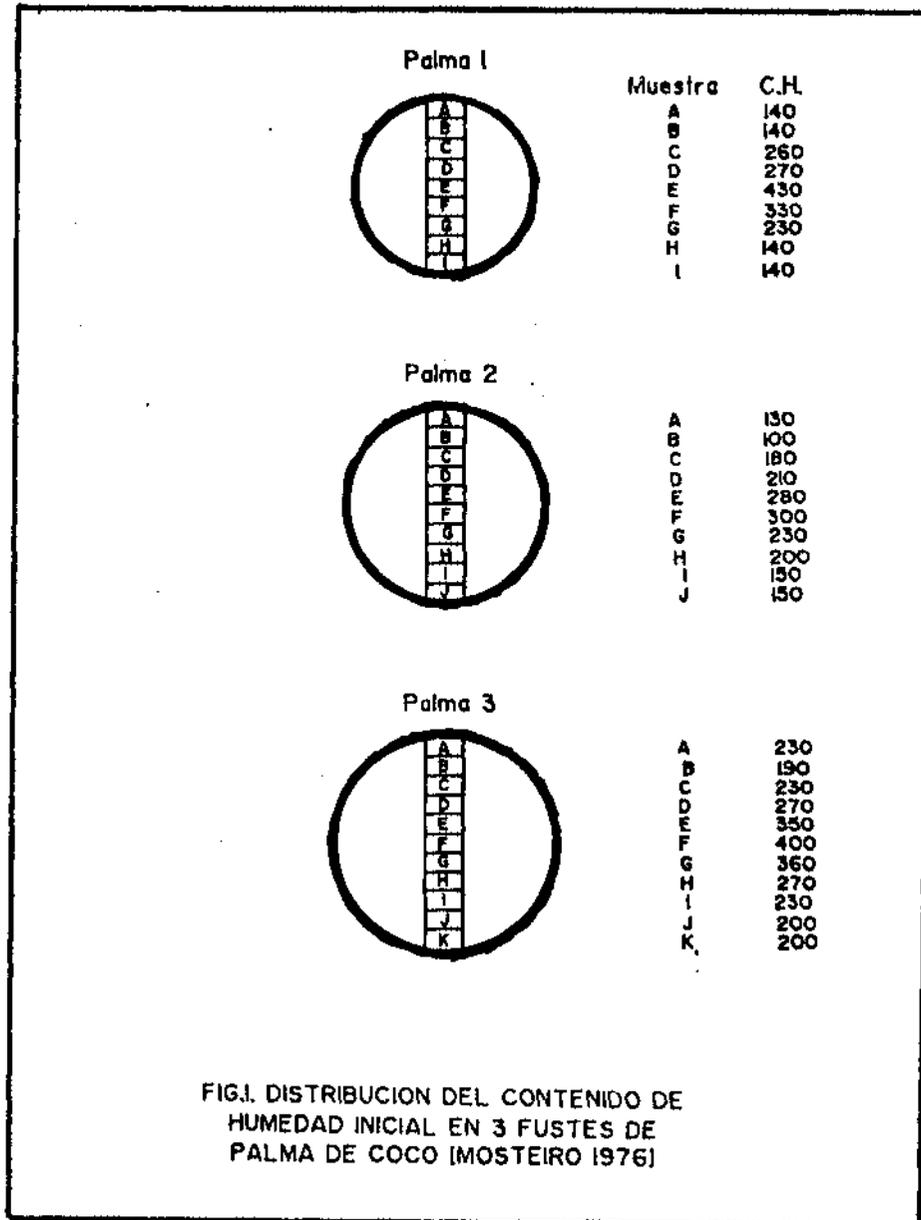
El contenido de humedad de una palma recién derribada difiere considerablemente de la parte basal, a la apical del fuste, así mismo la zona periférica a la zona central.

MOSTEIRO (1983) expresa que el contenido de humedad que puede contener el fuste desde su parte basal hasta el extremo apical, en la zona central, puede oscilar de los 303% a 550% respectivamente.

LAXAMANA (1978) reporta que el contenido de humedad en la palma es más alto pudiendo oscilar hasta en 400% en la zona central.

FUENTES (1987) determina que en la zona periférica del fuste puede oscilar el contenido de humedad de 84% a una altura de 1.30 m. hasta de 209% para una altura de 10.05 m. y de 192% a 315% para la zona central para las alturas antes mencionadas.

MOSTEIRO (1976) analiza las partes centrales y la periferia del tronco con un promedio de 163% y 380% respectivamente, observandose en la fig.1 tal distribución.

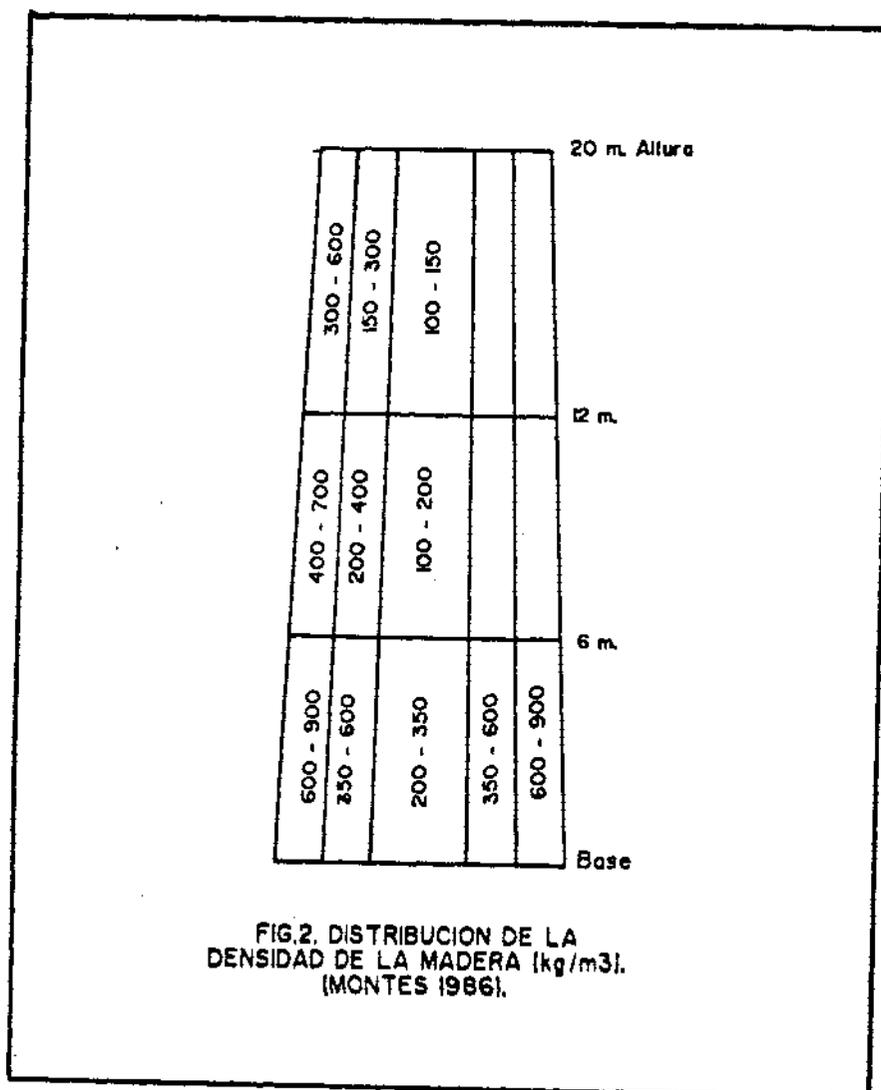


KILLMANN (1983) establece 3 ejes en la sección transversal, prolongando a lo largo de todo el fuste, determinando contenidos de humedad para la zona periférica de 62 % a 1 m de altura, aumentando la cantidad de agua contenida en la madera hasta 229 % a 21 m de altura; Referente a la zona intermedia registra datos de 99 % a 1 m de altura y de 126 % a 15 m; Por su parte la zona central establece datos de 216 % a 1 m y de 411 % a 22 m de altura.

7.3.2. Densidad

La madera del cocotero muestran gradientes de densidad desde el centro del tallo hasta la superficie y desde el extremo inferior hasta el extremo superior del tronco.

MONTES (1986) presenta la distribución de densidad en el fuste de la palma (fig.2).



FUENTES (1987) registra densidades para la zona periférica desde 0.70 g/cm³ a una altura de 1.30 m; y de 0.43 g/cm³ a la altura de 10.05 m. La parte central con rangos de 0.42 g/cm³ hasta 0.38 g/cm³ para alturas antes mencionadas.

MOSTEIRO (1983) afirma que la densidad varía de acuerdo a la zona de muestreo, obteniendo que los valores oscilan de 0.601 g/cm³ para la periferia y de 0.425 g/cm³ para la zona intermedia, para la zona central 0.265 g/cm³ respectivamente.

LAXAMANA (1978) en un proceso de secado de la madera del cocotero, al determinar la densidad de la madera obtuvo un valor de 0.356 g/cm³ para el centro, y de 0.713 g/cm³ para la periferia.

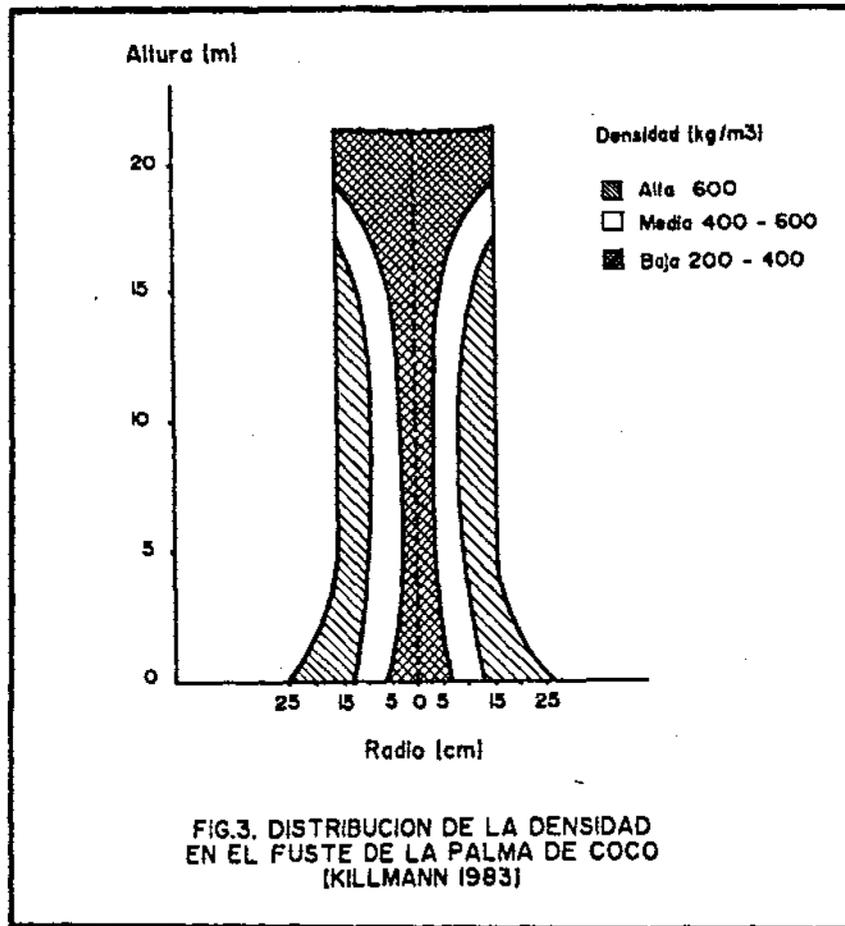
MONTE (1986) clasifica la madera de la palma en tres categorías (tabla.5).

TABLA.5. CLASIFICACION DE LA MADERA DE COCOTERO DE ACUERDO A SU DENSIDAD. (MONTE 1986).

Densidad Alta : > 500 Kg/m³
Densidad Media : 500 - 350 Kg/m³
Densidad Baja : < 350 Kg/m³

KILLMANN (1983) establece un rango de densidad a lo largo y ancho del fuste estimando que la densidad varía desde 0.848 g/cm³ a 0.255 g/cm³ de una altura de 1 a 23 m. refiriéndose a la zona periférica. Por lo que respecta a la zona intermedia valores de 0.576 g/cm³ a una altura de 1 m. y de 0.348 g/cm³ a una altura de 14 m. Por su parte la zona central con rangos de 0.368 g/cm³ a 0.111 g/cm³, esto para alturas de 1 a 23 m.

Al igual que Montes, Killmann establece una clasificación de la madera del cocotero. (fig.3.)



7.3.3. Hinchamiento y Contracción

MOSTEIRO (1983) menciona que los valores de contracción de un estado verde a un estado seco en sentido radial fue de 6.0 % para la zona periférica y de 6.10 % para la zona central. En sentido tangencial la contracción fue de 6.71 % para la zona periférica, y de 5.71 % para la zona central.

La diferencia de contracción entre la cara radial y la cara tangencial es muy ligera, dado que la palma de coco no posee anillos anuales de crecimiento y por lo tanto no se encuentran bien definidas sus caras. Mosteiro menciona que para realizar estas mediciones, toma la cara radial a partir de un eje del centro hacia la periferia, y la cara tangencial como perpendicular a la cara radial.

KILLMANN (1983) determina los valores de contracción para los ejes tangencial, radial y longitudinal, así como la contracción volumétrica, realizando mediciones para las zonas periférica, intermedia y central, a altura que oscilan desde 1 a 21 m. Killmann obtuvo valores de la zona periférica para la cara tangencial de 4.15 a 8.66 %, para la cara radial de 4.58 a 7.0 %, para el eje longitudinal de

0.01 a 0.19 %, con una contracción volumétrica de 8.79 a 13.70 %. Por lo que respecta a la zona intermedia, para la cara tangencial valores de 3.03 a 5.40 %, para la cara radial de 3.17 a 4.18 %, para el eje longitudinal de 0.11 a 0.00 %, con una contracción volumétrica de 7.45 a 10.29 %. Respecto a la zona central para la cara tangencial de 2.5 a 2.95, para la cara radial 2.90 a 3.90 %, para el eje longitudinal 0.12 a 0.66 %, con una contracción volumétrica de 5.60 a 7.50 %.

7.4. Propiedades Mecánicas

Las propiedades físico mecánicas se han venido desarrollando en los países de Australia, India, Filipinas y Nueva Zelanda.

Las pruebas realizadas en Filipinas en cocotero en estado verde con una gravedad específica de 0.50, se han obtenido resultados de resistencia a la flexión de 30.6 N/mm². Para la zona periférica se han realizado ensayos, encontrándose que sus valores de resistencia son tan altos como las maderas tradicionales de Filipinas (MOSTEIRO 1978).

En otros estudios realizados también en Filipinas ESPILOY (1978) realizó ensayos de flexión arrojando los siguientes valores (tabla.6).

TABLA.6. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION
OBTENIDOS POR ESPILOY (1978)

	RESISTENCIA	MOD.ELASTICIDAD	DENSIDAD	CON.HUMEDAD
Media	39.45 N/mm ²	6790.98 N/mm ²	0.45 g/cm	179.60
Desv.Est.	10.18	2657.34	0.048	17.91
Coef.Var.	25.80 %	39.10 %	10.8 %	10 %

TAMOLANG (1976) muestra los siguientes resultados al someter la madera de la palma de coco a diferentes ensayos (tabla.7.).

TABLA.7. MADERA DE PALMA DE COCO SOMETIDA
A ENSAYOS FISICO-MECANICOS (TAMOLANG 1976).

PROPIEDAD	UNIDAD	ZONA PERIFERICA	ZONA CENTRAL
Cont.Humedad	%	121.00	287.0
Grav.Especifica		0.53	0.299
Flexión			
Resistencia	N/mm ²	52.7	24.2
Mod.Elasticidad	N/mm ²	7360.0	3060.0
Compresión Long			
Resistencia	N/mm ²	29.40	12.3
Mod.Elasticidad	N/mm ²	10900.0	4780
Cizallamiento	N/mm ²	5.31	2.25

FUENTES (1987) analiza la madera fisico-mecánicamente (tabla.8) las zonas centrales y periféricas a 2 alturas definidas, 1.30 y 4.50 m. obteniendo los siguientes resultados:

TABLA.8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FISICO-MECANICOS
OBTENIDOS POR FUENTES (1987).

COMPRESION LONGITUDINAL

	RESISTENCIA (N/mm ²)	M.ELASTICIDAD (N/mm ²)	DENSIDAD (g/cm ³)	HUMEDAD (%)
Altura Periferia	53.3	13143.0	0.69	10
1.30 m Central	17.6	5653.0	0.40	13
Altura Periferia	32.6	8664.1	0.57	12
4.50 m Central	14.7	3392.0	0.42	13

FLEXION

	RESISTENCIA (N/mm ²)	M.ELASTICIDAD (N/mm ²)	DENSIDAD (g/cm ³)	HUMEDAD (%)
Altura Periferia	85.1	10794.6	0.593	10
1.30 m Central	40.1	4198.6	0.420	13
ALTURA Periferia	62.5	6727.5	0.573	12
4.50 m Central	31.3	2845.6	0.440	13

TENSION LONGITUDINAL

	RESISTENCIA (N/mm ²)	M.ELASTICIDAD (N/mm ²)	DENSIDAD (g/cm ³)	HUMEDAD (%)
Altura Periferia	48.6	10818.1	0.557	11
1.30 m				
Altura Periferia	37.9	7494.2	0.440	12.5
4.50 m				

7.5. Elaboración de Tableros Aglomerados

En el Reino Unido y en Filipinas se han efectuado ensayos de fabricación de tableros de partículas a partir de la madera de la palma de coco. Se comprobó que el tronco del cocotero era una materia poco idónea para la fabricación de tableros, aunque es posible su manufacturación de acuerdo a las normas de aceptación. Sin embargo, mediante la visualización de un estudio económico, se indicó que no era costeable su elaboración, en cuyos lugares que existan materiales competidores, o de mercados demasiado pequeños (MONTES 1986).

TAMDLANG (1976) encontró técnicamente factible la elaboración de tableros aglomerados realizado con proporciones de 100% de astilla de cocotero y tableros de 50% de astilla de cocotero y 50% de astilla de madera, utilizándose Urea-Formaldehído a niveles que fluctuaron entre 8 y 10%.

En la elaboración de tableros de 100% de astilla de cocotero, se encuentra que en 1 m³ es factible elaborar de 10 a 11 paneles de 12.70 mm * 1.22 m. * 2.44 m.; Sin embargo, en proporciones 50:50, en 1 m³ se pueden obtener 13 paneles.

La producción de tableros de astilla de cocotero o en combinación con madera ofrece resultados satisfactorios, conforme a la Australian and British Standard Specifications. Sin embargo, en proporciones 50:50 las resistencias físico-mecánicas son más altas que si se utilizaran únicamente astillas de cocotero. Por otra parte, con proporciones 50:50 a un nivel de 8% de resina; es un punto óptimo en el cual las resistencias y los costos de producción es factible.

FUENTES (1987) elabora tableros aglomerados, astillando 2 secciones del fuste, la primera de ellas comprendida del tocón hasta una altura máxima de 4 m. y la segunda sección comprendida de 10 a 12.5 m. Obtenidas las astillas se tamizaron en mallas de 3/8" y 1/8". Mostrándose en la tabla.9. las condiciones de elaboración del tablero.

TABLA.9. CONDICIONES DE PROCESO EN LA ELABORACION DEL TABLERO AGLOMERADO REALIZADO POR FUENTES (1987).

Temperatura	: 150 °C
Tiempo	: 10 minutos
Presión	: 60 kg/cm ²
Resina	: 14 % U.formaldehido
Parafina	: 1 %
Densidad	: 0.70...0.75 g/cm ³
Espesor	: 19 mm una capa

De acuerdo a los resultados obtenidos, Fuentes menciona que la astilla obtenida de la sección superior, retenida en la malla 1/8", presenta los mejores resultados, estando aun por encima de las especificaciones DIN (Deutsche Internatiolen Normen) 68763.

Referente a los tableros obtenidos de la sección inferior encontró que sus propiedades físico-mecánicas son menores con respecto a los obtenidos de la parte superior, únicamente la resistencia a la flexión es menor, conforme a la norma anteriormente citada. Por otra parte, se hace mención que independientemente de la sección de la cual se hallan elaborado los tableros, sus propiedades a la tensión perpendicular y la hinchamiento, se encuentran muy por encima con respecto a los tableros comerciales elaborados con astilla de pino.

FUENTES (1988) elabora tableros aglomerados con la fibra de la estopa de coco en combinación con aserrín. Dada la longitud de la fibra (30 cm.), la cual por su grandeza dificulta la impregnación de la resina y la formación del colchón, se opta por pasarla por un molino de discos a 3 diferentes aperturas; 100/1000", 75/1000" y 50/1000". Las proporciones de fibra-aserrín son mostradas en la tabla.10.

TABLA.10. PROPORCIONES FIBRA-ASERRIN UTILIZADOS POR FUENTES (1988).

Fibra / Aserrin	
100	/ 0
80	/ 20
60	/ 40
50	/ 50
40	/ 60
20	/ 80

Las condiciones de proceso para la elaboración del tablero son presentados en la tabla.11.

TABLA.11. CONDICIONES DE ELABORACION DEL TABLERO (FUENTES 1988).

Temperatura :	160 °C
Tiempo :	12 min.
Presión :	80 Bars
Resina :	10 % U-formaldehido
Densidad :	0.65 - 0.70 g/cm ³
Espesor :	16 mm una capa

Los resultados obtenidos por Fuentes muestran que las propiedades fisico-mecánicas con tableros de 100% de fibra, así como tableros en combinación con aserrín con proporciones no mayores de 40% (aserrín), resultan satisfactorios, pudiendo competir con los tableros comerciales. Respecto a la apertura idonea de discos, los tableros con aperturas de 50 y 75/1000", son los que presentan los mejores resultados, ambas sin presentar diferencias estadísticamente significativas.

7.6. Aserrio

De acuerdo a las observaciones por MONTES (1986), menciona que el asierre de los troncos deben ser cuando éstos aún se encuentren en estado verde, esto es, que el contenido de humedad sea elevado, para obtener madera de mejor calidad.

La acumulación de calor en la hoja de la sierra durante el proceso de aserrio se reduce al mínimo por el alto contenido de humedad de los troncos.

La operación de aserrio del cocotero es difícil, y las sierra normales de acero se embotan y quedan inutilizadas después de unos cuantos cortes. Existen dos factores que probablemente constituyen a ello; en primer termino, las fibras de las paredes gruesas son extremadamente duras; en segundo termino, el tejido parinquemal se desintegra formando un polvo fino y abrasivo que es difícil de eliminar de la corta y que causa un incremento al calor a la fricción. Cuando se seca la madera y la pared celular se endurece, éstos problemas se agravan.

El empleo de puntas de carburo de tungsteno (o dientes de punta de estelita o dientes incrustados) han permitido superar los problemas básicos de aserrio, pero ha aumentado los problemas del mantenimiento de la sierra, por cuanto requiere un equipo mas costoso.

Existen varios materiales adecuados para la superficie dura del diente de la sierra, cada uno de los cuales tiene su propio método de aplicación y necesidades de mantenimiento. Los materiales utilizados hasta ahora, son el carburo de Tungsteno, tungtech, carbitrono, acero de alta velocidad y acero endurecido de alta frecuencia.

La calidad normal de carburo utilizado en los dientes de la sierra es ISO K20 o su equivalente, pero para cortar la madera de coco puede utilizarse al grado de dureza inmediatamente superior ISO K30.

El empleo de carburo de tungsteno, no es un método económico para las sierra de banda, por el número de púntas requerido.

Debido a que las zonas periféricas presentan la mayor dificultad para aserrar TAMOLANG (1976) efectua ensayos de aserrio (tablas 12 y 13.) en esas zonas. Efectuándose 2 estudios en cocoteros procedentes de Tiaong, Quezon y Canlubang. obteniendose los siguientes resultados.

TABLA.12. DESARROLLO DEL CORTE (TAMOLANG 1976).

DESARROLLO DEL CORTE

TRATAMIENTO DEL DIENTE	AREA DE SUPERFICIE CORTADA (m ²)
Suajado total	23.0
Suajado alternado	22.0
Punta de estelita	46.0

TABLA.13. PRODUCCION ESTANDAR (TAMOLANG 1976).

PRODUCCION ESTANDAR

TIPO DE HOJA (SIERRA)	TIEMPO DE CORTE POR TRONCO (min)	PRODUCCION ESTANDART (m ³ /h)
Suajado total	32.68	0.43
Suajado alternado	29.25	0.47
Punta de estelita	11.32	1.06

Las tablas indican que la sierra con diente de estelita presenta los mejores resultados. Siendo de mayor capacidad de corte en un tiempo minimo lograndose aserrar 5 troncos por hora.

Mediante las investigaciones realizadas por MOSTEIRO (1978), hace mención que el asierre de la madera de la palma de coco, es difícil de efectuar mediante sierras ordinarias, esta dificultad puede ser atribuida a la presencia de sílica contenida en las células.

Mosteiro evalúa pruebas de corte utilizando 2 tipos de discos en la sierra, uno de ellos denominado estandar de alta velocidad (de uso común); y el otro con diente de punta de carburo.

Se encontraron resultados satisfactorios con el disco estandar, cuando la madera se encontraba en estado verde, sin embargo, cuando la madera se encontraba en estado seco,

las superficies eran quemadas al momento del corte y el filo del diente se desgastaba rápidamente. Por otra parte, el disco con punta de carburo, ofrecía un excelente superficie de corte.

7.7. Secado

La madera de la palma de coco cuando se encuentra en estado verde o a altas humedades relativas es muy susceptible al ataque de microorganismos, por lo que se recomienda introducir la madera en una solución química profiláctica inmediatamente despues del aserrio. Ninguna parte del tronco es resistente al pudrimiento causado por el hongo, pero un material de mayor densidad tardará mas tiempo en pudrirse; Estas son las razones por la cual la madera debe secarse, existiendo varios métodos para ello.

El secado de la madera de la palma de coco, es comunmente realizado mediante el método de secado al aire libre. El peligro de que se produzca decoloración y moho con el secado al aire libre es muy grande, por lo que se recomienda sumergir la madera en un producto químico adecuado. Además es preciso proteger a la madera de la lluvia, y el secado por aire debe realizarse a cubierto, con un cobertizo abierto por los lados.

La madera de 1" de espesor, toman de 9 a 10 semanas, del estado verde, hasta niveles de 17 a 20 % de contenido de humedad, mientras las tablas de 2" de espesor le tomarian 6 meses o mas. (MONTES 1986).

Los estudios realizados por MOSTEIRO (1978), hacen referencia que para madera de 1" de espesor, toman 8 semanas para reducir su contenido de humedad de 158 % a 19.3 %. Por su parte LAXAMANA (1978), obtiene en 2.5 meses una humedad de equilibrio en la madera de 17 a 19 % partiendo de un contenido de humedad inicial de 122.8 % a 114.4 %, en madera de 1" de espesor.

Posteriormente MOSTEIRO (1983) asierra 60 troncos de 25.5 a 30.5 cm de diametro y 3 m de largo, cuyo contenido de humedad oscilaba entre los 106.1 %. Para ser secados al aire libre, le tomo 112 días para reducir su contenido de humedad hasta 19 %, esto para maderas de baja densidad y de 1" de espesor. Para maderas de 2" de espesor de igual densidad, le tomo igual número de días, de 65 % de contenido de humedad, llevarlo hasta 15.5 %.

Para madera de 1" de espesor de alta densidad le tomo 112 días para secarla de 55.7 a 16.99 %. El espesor de 2" le tomo 115 días reducir su contenido de humedad, de 53.5 a 15.81 %.

RODRIGUEZ (1989) realiza el secado de la madera de coco de 2" de espesor, mediante la utilización de un secador solar tomándole 62 días secar la madera de un 50 % de contenido de humedad a 15 %.

Referente a la utilización del secado "convencional" de la madera del cocotero, MONTES (1986) utiliza diferentes secuelas de secado, observándose en la tabla 14 las condiciones del proceso de secado dependiendo de su espesor.

TABLA.14. CONDICIONES DE SECADO DE LA MADERA DE COCO
DEPENDIENDO DE SU ESPESOR (MONTES 1986).

PARA ESPESOR DE 1"

CONT.HUMEDAD	TEMP.BULBO SECO	TEMP.BULBO HUMEDO
Verde	60 °C	54 °C
100 %	60 °C	51 °C
60 %	71 °C	60 °C
Acondicionamiento final (4 hrs.)	77 °C	76 °C

PARA ESPESOR DE 2"

CONT.HUMEDAD	TEMP.BULBO SECO	TEMP.BULBO HUMEDO
30 %	60 °C	54 °C
25 %	66 °C	57 °C
20 %	70 °C	66 °C
Acondicionamiento final (8 hrs.)	71 °C	70 °C

Referente al material de 1" de espesor le tomaría de 6 a 7 días para su secado; Por lo que respecta al material de 2" de espesor le tomaría de 5 a 6 días.

MOSTEIRO (1978) unicamente hace referencia que el secado puede llevar 6 días, de un promedio en su contenido de humedad de 160 a 9.5 % ; Coincidiendo con LAXAMANA (1978), en cuanto a su contenido de humedad inicial y el tiempo de secado; Sin embargo, RODRIGUEZ (1989) le toma 20 días secar la madera de 2" de espesor, mostrandose en la tabla 15 las condiciones de secado.

TABLA.15. CONDICIONES DE SECADO UTILIZADO POR RODRIGUEZ (1989).

Clima de calentamiento	(H.eq.)18
Tiempo de calentamiento	(Hrs)8
Temperatura inicial	(°C)60
Temperatura final	(°C)80
Gradiente de secado inicial	2.5
Gradiente de secado final	3.5

El colapso es la degradación más frecuente del secado, aumentando progresivamente por debajo de una densidad básica de unos 350 kg/m³.

7.8. Conservación de la Madera de la Palma de Coco

En general existen dos agentes de conservación de la madera; los basados en aceites como la creosota y el pentaclorofenol y los agentes salinos hidricos como el cobre-cromo-arsenato.

El agente creosota, es eficaz para la conservación de la madera, pero su color, y el hecho de que la madera tratada con creosota no puede pintarse bien, hacen que este agente no sea adecuado para la madera acabada cuya apariencia es importante, por otra parte la madera tratada con creosota despide un olor desagradable, la utilización de la creosota da buenos resultados para maderas que serán utilizadas como postes del tendido electrico o bien madera que se utilizan externamente y estan en contacto con el suelo.

Referente al agente de pentaclorofenol, no suele proporcionar una superficie limpia o que se pueda pintar, las soluciones de pentaclorofenol se acostumbran aplicarse a las maderas de uso externo.

Los agentes de cobre-cromo-arsenato, son en la actualidad los preferidos porque el tratamiento deja una madera limpia, que puede pintarse y no despiden un olor desagradable.

Existen varios métodos de tratamiento como lo son:

7.8.1. Tratamiento con Brocha

El tratamiento con brocha es el método más sencillo para aplicar el agente de conservación puede emplearse una cantidad mínima de pentaclorofenol o de cobre-cromo-arsenato al 5 %. Se pueden aplicar de una a tres capas. Para la mayoría de los casos se recomienda que la madera tratada mediante este método se destine exclusivamente a uso interno. (MONTES 1986).

7.8.2. De Impregnación

La impregnación en frío de la madera bien secada, se suele obtener mejores resultados, comparado con el tratamiento con brocha. La madera se empapa en una solución del 3 a 5 % de cobre-cromo-arsenato (CCA) de 1 a 8 horas según el uso al cual se le destine (MONTES 1986). Sin embargo, para la impregnación de madera en estado verde se requieren de 2 días a 3 semanas.

La absorción de la solución preservativa es muy rápida en los primeros 3 días y continúa disminuyendo por periodo indefinido. MOSTEIRO (1981) reporta cantidades de retención de 7.04 a 9.76 kg/m³, en lapsos de 2 a 3 días, en maderas de 2.5 * 5 * 30 cm.

7.8.3. Baño Caliente y Frío

Este proceso consiste en el calentamiento en aceite pesado de la creosota, o el pentaclorofenol, sumergiendo el material en la solución durante la aplicación del tratamiento.

La madera se calienta con el agente de conservación en una cisterna abierta durante varias horas, e inmediatamente después se sumerge en un agente de conservación frío durante un número por lo menos igual de horas. MONTES (1986)

recomienda que para la madera de coco bien secada, un baño caliente de 2 a 3 horas seguido de un baño frío de igual o mayor duración.

MOSTEIRO (1976) recomienda una mezcla con proporciones de 50:50 (por peso) de creosota con aceite, sumergiendo la madera en baño caliente durante un lapso de tiempo de 3 horas, y posteriormente un baño frío por un tiempo de 2 horas, obteniéndose retenciones de 143.2 kg/m^3 en maderas cuyas dimensiones son $5 * 7.62 * 25 \text{ cm}$ con un contenido de humedad que oscilaba entre 20 a 60 %; La temperatura del baño caliente fue entre 92.4 a $97.9 \text{ }^\circ\text{C}$.

TAMOLANG (1976) menciona que para la impregnación con creosota de la madera aserrada de cocotero se requiere una retención de 272 a 329.6 kg/m^3 , la cual se puede lograr mediante un baño caliente por un lapso de tiempo de 6 a 8 horas, posteriormente sometiendo al baño frío por un tiempo de 12 a 15 horas.

7.8.4. Desplazamiento de Sabia

Este método es utilizado en troncos recién cortados, el cual consiste en desplazar la sabia contenida en el fuste, quedando en su lugar la solución preservadora; En uno de los extremos del fuste se coloca una bomba cuya capacidad puede oscilar entre los 75 a 200 psi. El tiempo de duración puede ser de 20 minutos o más, lo cual dependerá del tamaño del fuste a preservar. Sin embargo, algunos autores sugieren un lapso mínimo de 45 minutos, a una presión nominal de 75 psi (MOSTEIRO 1981).

8. Propiedades Físicas de la Madera

8.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad se define como el peso del agua contenida en la madera, expresada en fracción, usualmente como porcentaje de la masa de la pieza anhidra.

La madera como material higroscópico que es, posee la facultad de absorber o ceder humedad, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente; Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable.

Cuando la madera se encuentra en "estado verde", sus cavidades y paredes celulares se encuentran llenas de agua. Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el "agua libre" que se encuentra en sus cavidades, hasta alcanzar un punto denominado "punto de saturación de la fibra", que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado toda el "agua libre", y las paredes celulares permanecen saturadas. El punto de saturación de la fibra depende de diversos factores y varía para las diferentes especies; Sin embargo, se acepta un 28 % como promedio (PEREZ 1978). Por debajo del punto de saturación de la fibra y al continuar el proceso de evaporación, la madera cede el agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar un punto en el cual el proceso se detiene; Este punto se conoce como "humedad de equilibrio", el cual depende fundamentalmente de la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

La fórmula para determinar el contenido de humedad es la siguiente:

$$C.H = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100 = \%$$

donde:

C.H = Contenido de humedad
Ph = Peso húmedo
Ps = Peso seco

Existen varios métodos para determinar el contenido de humedad en la madera:

- Desecación en estufa
- Desecación mediante sustancias higroscópicas
- Desecación por vacío
- Determinación del volumen de agua por destilación
- Método del acetileno
- Expulsión directa del agua mediante presión
- Centrifugación del agua
- Extracción del agua por alcohol y soluciones azucaradas
- Métodos eléctricos

De los métodos anteriormente mencionados, los mas empleados dadas sus facilidades de manejo son:

- Desecación por estufa
- Métodos eléctricos

B.1.1 Deseccación por Estufa

Puede decirse que el procedimiento más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera, es de conseguir su evaporación, calculando posteriormente la diferencia de pesos, mediante la utilización de la fórmula. El secado de las muestras se realiza mediante aire caliente, en pequeñas estufas o cajas de secado calentadas por gas, electricidad, etc. Según la norma Alemana DIN 52 183 la temperatura en el aparato debe mantenerse de 100 a 103 °C, hasta obtener en la probeta peso constante, en probetas cuya longitud no sobrepase los 20 mm.

Para su enfriamiento deberá colocarse la probeta en un desecador sobre un medio secante (Cl_2 , Ca o P_2O_5), para determinar posteriormente su peso seco.

B.1.2. Métodos Electricos

Para determinaciones rápidas y sin destrucciones, se puede determinar la medición del contenido de humedad de la madera mediante métodos eléctricos, cuyo principio se apoya en la medición de la resistencia eléctrica de la madera.

La resistencia Ohmica de la madera, depende en fuerte medida del rango higroscópico de la madera. A medida que el contenido de humedad aumenta, la madera proporciona menos resistencia al paso de una corriente eléctrica. Esta relación entre el contenido de humedad de la madera y su resistencia eléctrica, dan la base para la construcción de aparatos para su determinación. El contenido de humedad abajo del punto de saturación de la fibra, tienen un efecto mucho mayor sobre la resistencia de la madera, que los cambios arriba de dicho punto. El medidor de resistencia, se utiliza normalmente en variaciones del contenido de humedad que oscile entre los 7 a 25 %. Las mediciones hechas en maderas con alto contenido de humedad (> 30 %) deben considerarse como datos indicativos, debido a la imprecisión de este método en condiciones adversas.

Los medidores de humedad por resistencia generalmente están equipados con electrodos y el medidor indicará el más alto contenido de humedad que existe en la madera que está entre los electrodos.

B.2. Densidad

Se le denomina densidad a la relación existente entre su peso y el volumen de un material.

La madera por ser higroscópica, presenta aspectos más complejos, debido a que tanto el peso como el volumen de una pieza varía con el contenido de humedad en ella. De las cuales se puede definir:

- Densidad anhidra. Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra.
- Densidad aparente. Es la que relaciona la masa y el volumen determinado a un mismo contenido de humedad.
- Densidad básica. Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad especificado.

Según la norma DIN 1306 designa como densidad de un material a la ecuación entre la masa (g) y el volumen (cm³):

$$D = \frac{m}{v} = (g/cm^3)$$

donde:

D = densidad
m = masa
v = volumen

Mientras que el peso del material se puede determinar de forma sencilla y, con tanta precisión como se quiera, la determinación del volumen de una pieza de madera tropieza con algunas dificultades; Por lo cual existen varios métodos para su determinación:

- Cálculo estereométrico. Determinación del volumen por las dimensiones de la muestra.
- Método de desplazamiento. Determinación del volumen mediante la inmersión de la pieza considerada dentro de un líquido de peso específico conocido.

8.2.1. Determinación Estereométrica del Volumen

El calculo del volumen de las probetas, se efectua mediante la medición de las aristas de las probetas, por lo cual, las probetas deben estar exentas de rajaduras y con los lados de las superficies perfectamente paralelas. La determinación de las mediciones pueden conseguirse con instrumentos de medición de longitudes (Berniers, tornillos micrométricos, medidores reloj, etc.).

8.2.2. Determinación por Desplazamiento de Fluidos

El caracter higroscópico de la madera exige mucha prudencia en este método, con el empleo de grasa, parafinas, etc, u otras medios antihigroscópicos no se consigue sino sustituir una causa de error por otra. El principio de utilización de éstos métodos es sencillo, se lleva a cabo mediante la inmersión de la probeta en un recipiente de volumen y fluido conocido, y mediante el desplazamiento del fluido, utilizando una relación sencilla se obtiene el volumen de la probeta. O bien, existen aparatos que de forma directa se indica el volumen de la probeta, como lo son el recipiente de desalojamiento para determinar volúmenes de H. Niethammer o el aparato para medir volúmenes de Breuil.

8.3. Estabilidad Dimensional

La madera como material poroso que es, absorbe o desprende humedad de acuerdo a las condiciones ambientales prevalecientes. Mientras el aumento o disminución del contenido de humedad se realiza dentro de los rangos del estado verde, la madera es dimensionalmente estable, esto es, que sus dimensiones permanecen inalteradas. Sin embargo, cuando la variación del contenido de humedad se produce por debajo del punto de saturación de la fibra, el fenómeno origina un aumento o disminución de las dimensiones iniciales de la madera.

Las contracciones e hinchamientos sufridos por la madera, son medidos en 3 direcciones: tangencial, radial y longitudinal.

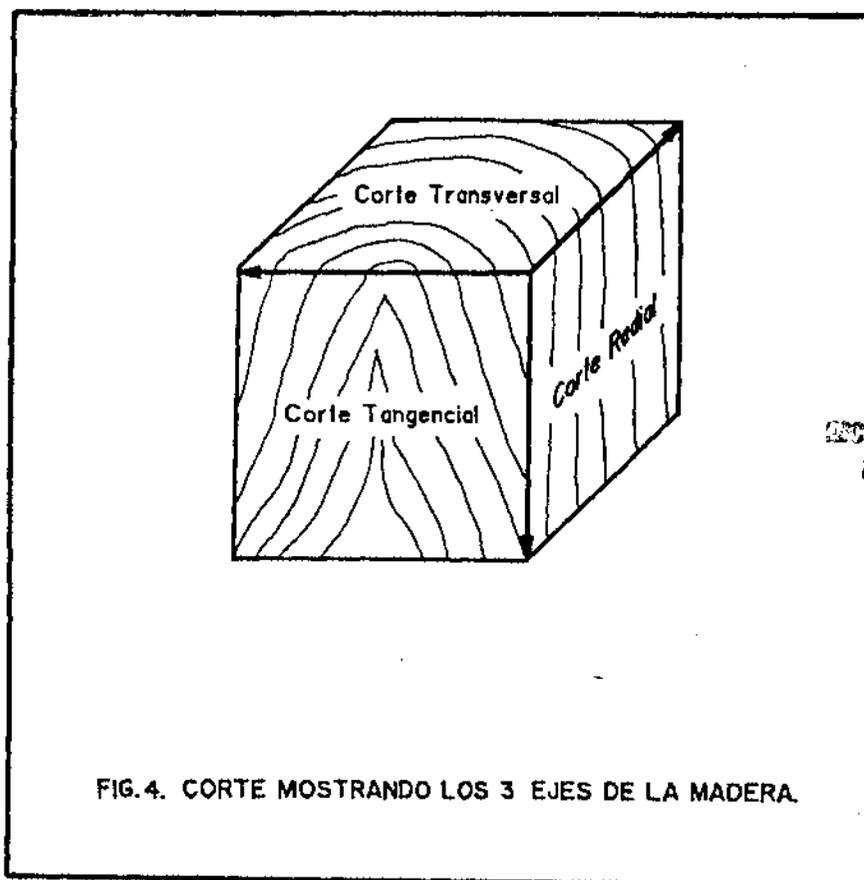


FIG.4. CORTE MOSTRANDO LOS 3 EJES DE LA MADERA.

La madera es un material anisotrópico, por lo que sus propiedades varían de acuerdo a la dirección que se considere. Desde el punto de vista de la contracción y el hinchamiento, las diferencias son muy marcadas, siendo mayores en la dirección tangencial que en la radial, y ésta a su vez mayor que la longitudinal.

El movimiento de la madera normal en la dirección longitudinal es muy pequeño, alcanzando valores entre 0.1 a 0.3 % .

La contracción se define como la reducción de las dimensiones de una pieza de madera, causada por la disminución del contenido de humedad a partir del punto de saturación de la fibra. Esta contracción es ocasionada por la disminución de tamaño de las paredes celulares. Cuando la contracción se determina para una dirección particular, se denomina contracción lineal, y cuando se determina la reducción de un volumen dado se denomina contracción volumétrica.

Con respecto al proceso de dilatación, se puede definir, como el incremento dimensional producido en una madera seca al aumentar su contenido de humedad; por lo que se supone que su comportamiento es regulado por las mismas relaciones que rigen la contracción (PEREZ 1983).

9. Propiedades Mecánicas de la Madera

Al igual que las propiedades físicas, el conocimiento de las propiedades mecánicas constituye una base fundamental para determinar los posibles usos a la que puede ser destinada la madera; Para lo cual hace necesario someter a la madera a diferentes ensayos.

El conocimiento de las propiedades mecánicas, se obtiene por medio de la experimentación, ya sea por medio de ensayos del material bajo las verdaderas condiciones que se encuentren en la práctica, o por medio de experimentos de laboratorio que requieren el uso de aparatos especiales.

Desde el punto de vista de la eficiencia, cuando los ensayos de laboratorio se han efectuado correctamente, son preferibles bajo todo concepto; Por otra parte, se emplea menos tiempo y material que en las determinaciones directas, y en consecuencia están mejor adaptados para el gran número de ensayos que deben realizarse para estudiar las variaciones naturales de la madera, además en los experimentos de laboratorio se hace posible establecer métodos, obteniéndose de este modo, medios prácticos para comparar las diferentes clases de madera y, para poder especificar también dimensiones precisas del material para sus diversos usos.

Entre los diferentes ensayos a los cuales se somete la madera son:

- Flexión
- Tensión
- Cizallamiento
- Dureza

{	paralela a la fibra	{	radial
	perpendicular a la fibra		tangencial
- Compresión

{	paralela a la fibra	{	radial
	perpendicular a la fibra		tangencial
- Impacto

9.1. Factores que Influyen en las Propiedades Físico-Mecánicas

No siempre resulta evidente el porque las probetas de una especie maderera determinada, extraídas de diferentes árboles o aún de piezas provenientes del mismo árbol, muestran una pronunciada diferencia en su densidad y en su resistencia, la variabilidad entre árboles de la misma especie responde a diferencias genéticas, de ambiente y/o ambas. En un mismo árbol el crecimiento es irregular, existen además diferencias en las propiedades mecánicas, debido al tratamiento de la madera en su elaboración.

Los factores que influyen en las propiedades físico mecánicas, que son considerados como los de mayor importancia son:

- Contenido de humedad
- Densidad
- Desviación de la fibra
- Otros

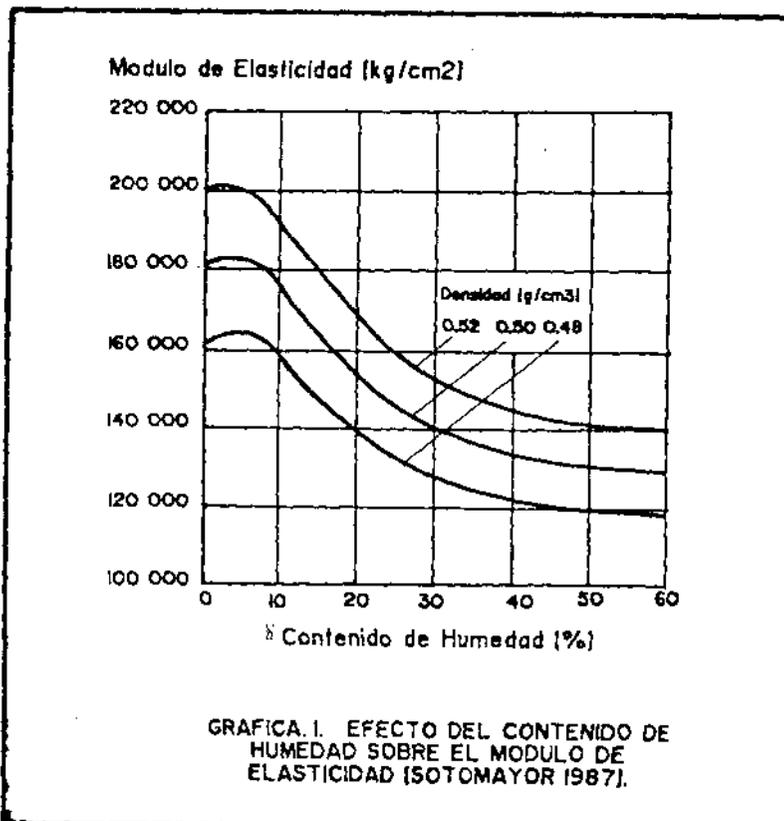
9.1.1. Contenido de Humedad

Quando la madera pierde agua bajo el punto de saturación de la fibra, cada célula se compacta cada vez más, debido a ello, las fibras se ponen cada vez más rígidas y fuertes resultando de lo anterior que una pérdida del contenido de humedad de la madera va acompañada de un incremento de su resistencia.

La relación general entre el contenido de humedad con respecto al módulo de elasticidad y la resistencia, son mostrados en la gráfica 1 y en la tabla 16.

TABLA.14w INCREMENTO PROMEDIO POR CADA 1 %
DE DISMINUCION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
(PEREZ 1978).

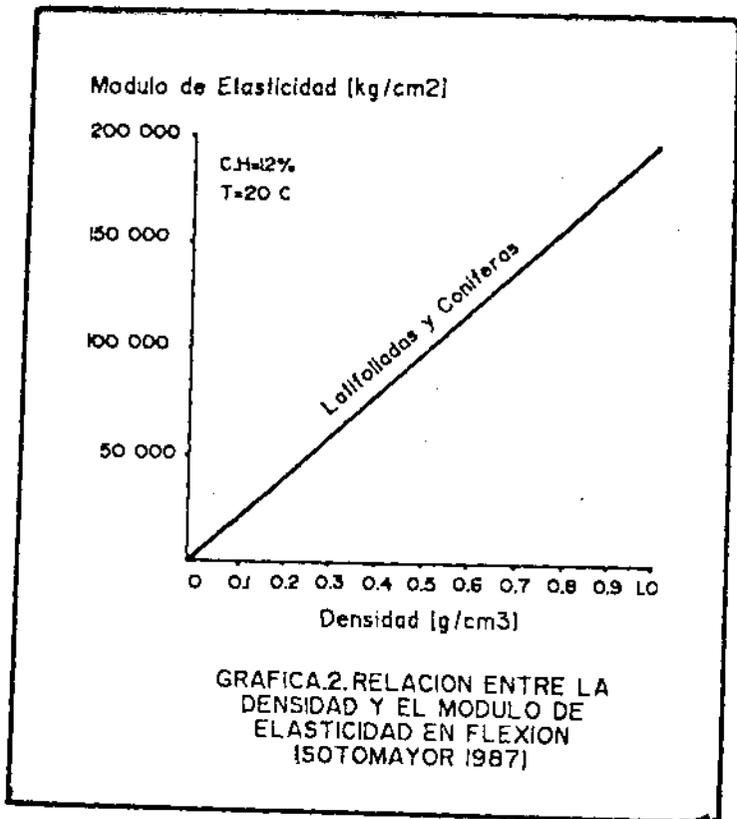
Propiedades mecánicas afectadas	Porcentaje de aumento (%)
Flexión:	
- Módulo de rotura	4
- Módulo de elasticidad	2
Compresión paralela:	
- Tensión máxima	6
Dureza:	
- Paralela	4
- Perpendicular	2.5
Cizallamiento:	
- Tensión máxima	3



9.1.2. Densidad

Aparte de los ensayos de resistencia la densidad de una pieza de madera, es el criterio más satisfactorio para determinar su resistencia. Las células que constituyen la madera, están ligadas por una sustancia llamada lignina, la pared celular está compuesta principalmente por celulosa, encontrándose además holocelulosa y lignina.

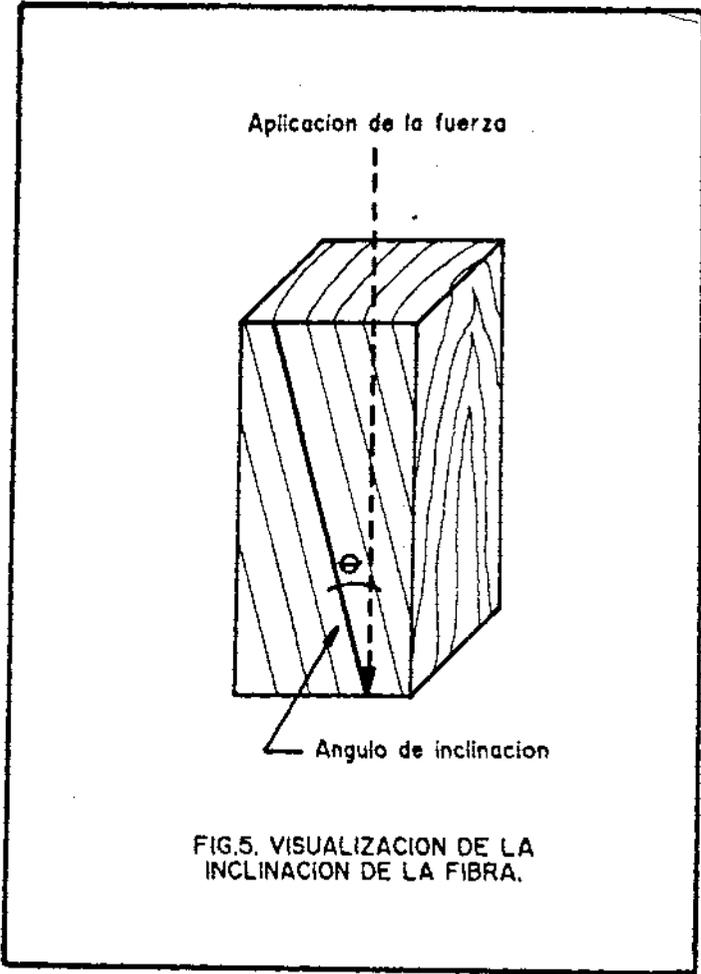
Las diferencias de composición de la madera, entre especies y dentro de ellas, es la primera causa de la variación de la densidad. El grosor de las paredes celulares y el tamaño de las porosidades también es variable, añadiendo a esto una nueva causa de variabilidad.



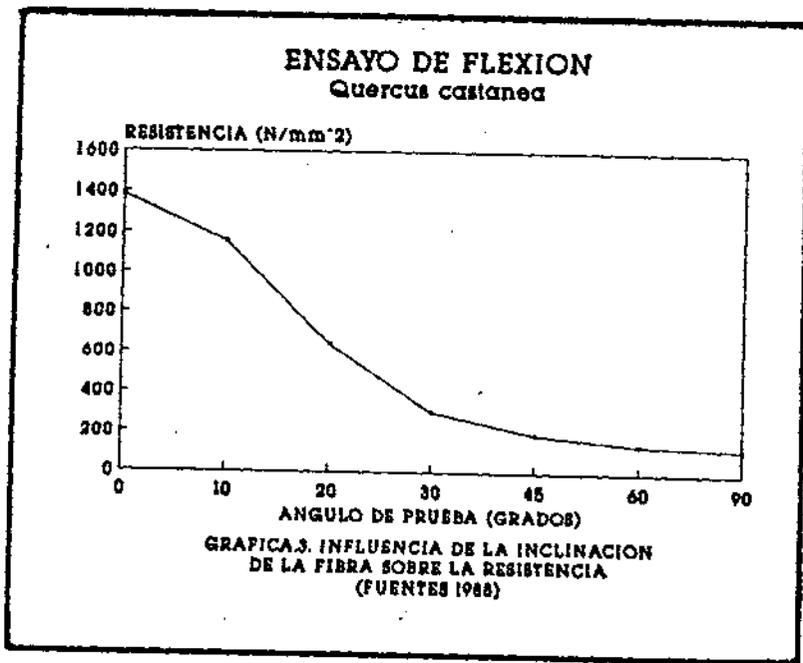
9.1.3. Desviación de la Fibra

En algunos productos madereros, no siempre la madera conserva una buena dirección de la fibra, la cual es de vital importancia para la aplicación del producto maderero.

El término desviación de la fibra, está relacionado con respecto a la dirección que posee la fibra en relación al eje de la pieza (fig.5).



Este tipo de anomalia se presenta de forma frecuente en la madera (gráfica 3), sin embargo, no se le da la importancia que a ello le corresponde; pudiendo presentar la madera mermas considerables en su resistencia, dependiendo del grado de inclinación de la misma.



9.1.4. Otros

Dentro de "otros" factores que influyen en la resistencia fisico-mecánicas, se pueden considerar como cualquier defecto que se encuentre presente en la madera; definiendo el término defecto como cualquier irregularidad física o química, o fisico-química, que afecten las propiedades fisico-mecánicas de la madera, y por consecuencia limitando su aplicación.

Los defectos que comúnmente se hacen presentes en la madera, incidiendo sobre sus resistencia fisico-mecánicas son; nudos, rajaduras, pudrición, perforación presencia de bolsas de resinas, etc.

Debido a lo anterior las evaluaciones hechas en laboratorio, deben efectuarse con especímenes libres de defectos.

III. MATERIALES Y METODOS

1. Descripción de la Zona de Muestreo

Las zonas en las cuales se recolectaron las muestras; fueron comprendidos en las zonas costeras de los Estados de Colima y Jalisco, propiamente dicho los poblados de:

- Tecomán.

Cuya ubicación es de 18° 55' latitud y de 103° 53' de longitud. Con una temperatura media anual de 28 a 30°C, con clima Awo(w) (tipos calidos subhmedos con lluvias en verano) según la clasificación de Köppen.

- Cuyutlán.

Su ubicación es de 18° 55' latitud y de 104° 04' longitud, con temperatura media anual de 28 a 30°C, con clima Awo(w).

- Manzanillo.

Su ubicación es de 19° 03' latitud y de 104° 20' longitud, con temperatura media anual de 28 a 30°C, con clima Awo(w).

- Cihuatlán.

Su ubicación es de 19° 14' latitud y de 104° 34' de longitud, con temperatura media anual de 28 a 30°C, con clima de Awo(w).

- La Manzanilla.

Con temperatura media anual de 28 a 30°C, con clima Awo(w).



FIG.6. UBICACION DE LA ZONA DE MUESTREO.

2. Monitoreo Preliminar y Recolección de las Muestras

Inicialmente se derribó una palma, con la finalidad de efectuar un monitoreo del comportamiento de la misma, determinando el módulo de elasticidad en compresión (N/mm²) a tres diferentes alturas de la palma, arrojando los siguientes resultados:

1	8245.00	12369.80	3826.50
2	9880.00	19689.70	3356.80
3	11510.60	16069.50	6379.50
4	13149.90	15565.60	6708.00
5	13651.80	18411.50	3882.80
6	13146.40	14752.70	3883.90
7	12606.00		5126.50
8	13491.10		5942.60
9	13174.00		7864.30
10	12894.60		4069.90
11	12228.30		4579.60
12	12644.90		6499.40
\bar{X}	12218.55	16143.13	5176.65
S	1619.84	2616.63	1459.00
C.V.	13.25	16.20	28.18

Cada una de las columnas de resultados corresponden a diferentes alturas de la palma.

Este monitoreo dio lugar para determinar la cantidad de probetas necesarias por ensayo para la obtención de resultados confiables, encontrandose que la columna que mayor número de probetas requeridas, fué de 5; Dicha relación se encontró mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(N) * (Z)^2 * (S^2)}{(N) * (d)^2 + (Z)^2 * (S^2)}$$

donde:

- n = cantidad de probetas necesarias
- N = tamaño de la muestra
- Z = 1.96 (95 % de confiabilidad)
- d = precisión (1000 N/mm²)
- S² = varianza

Sin embargo, sujetandonos a lo estipulado por las normas DIN (Deutsche Internatiolen Normen), el número de probetas a evaluarse por ensayo es de 10, por lo consiguiente, se hizo necesario incrementar el número de probetas para quedar dentro de los parametros establecidos por las normas antes mencionadas.

Posteriormente, se recolectó un total de 8 palmas de las zonas antes descritas, 5 de las palmas derribadas eran elementos que por causas de enfermedad, ataque de insectos, o bien por inclemencias de las condiciones ambientales habian dejado de ser productivas. Las 3 palmas restantes eran elementos aun productivos.

3. Asierre y Elaboración de Probetas

Derribada la palma se troceo a partir del tocón (30 cm) a intervalos de 1.20 m de longitud para cada troza (fig.7), tomando en consideración que los valores obtenidos en la parte apical de la troza son válidos para la parte basal de la misma.

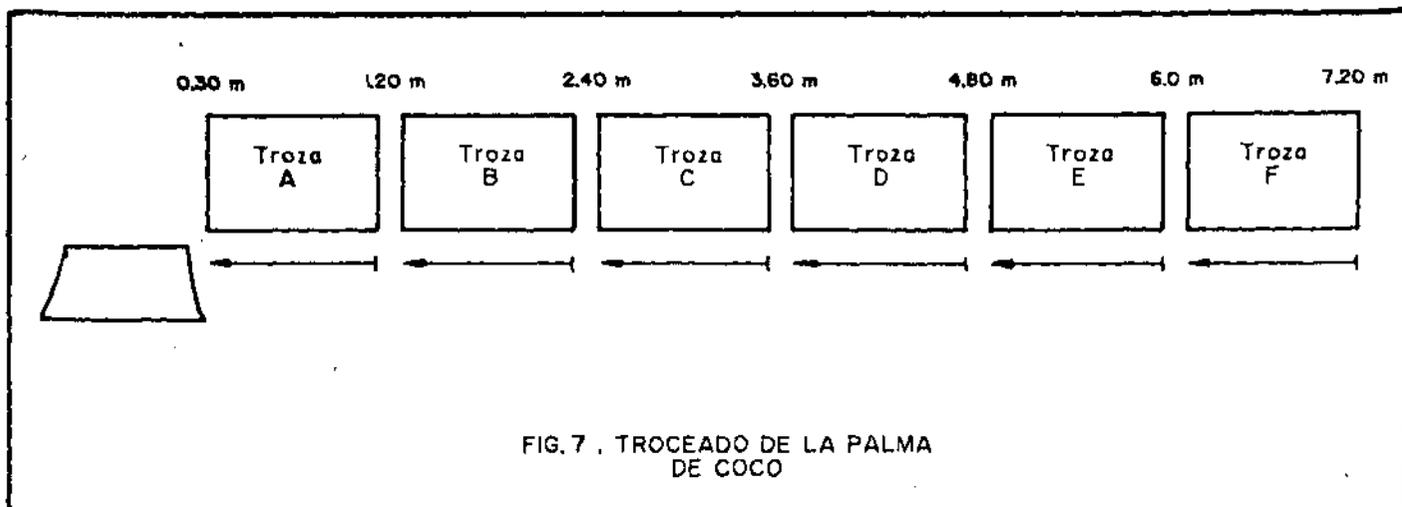


FIG. 7 . TROCEADO DE LA PALMA DE COCO

Troceada la palma, mediante apreciación visual, en uno de los extremos de cada una de las trozas se definen las 3 zonas de la palma (en corte transversal), mediante la observación de la cantidad de ases fibrosos, que son los que determinan tal diferenciación, siendo denominada las áreas como periférica, intermedia, y central. (fig.8.).

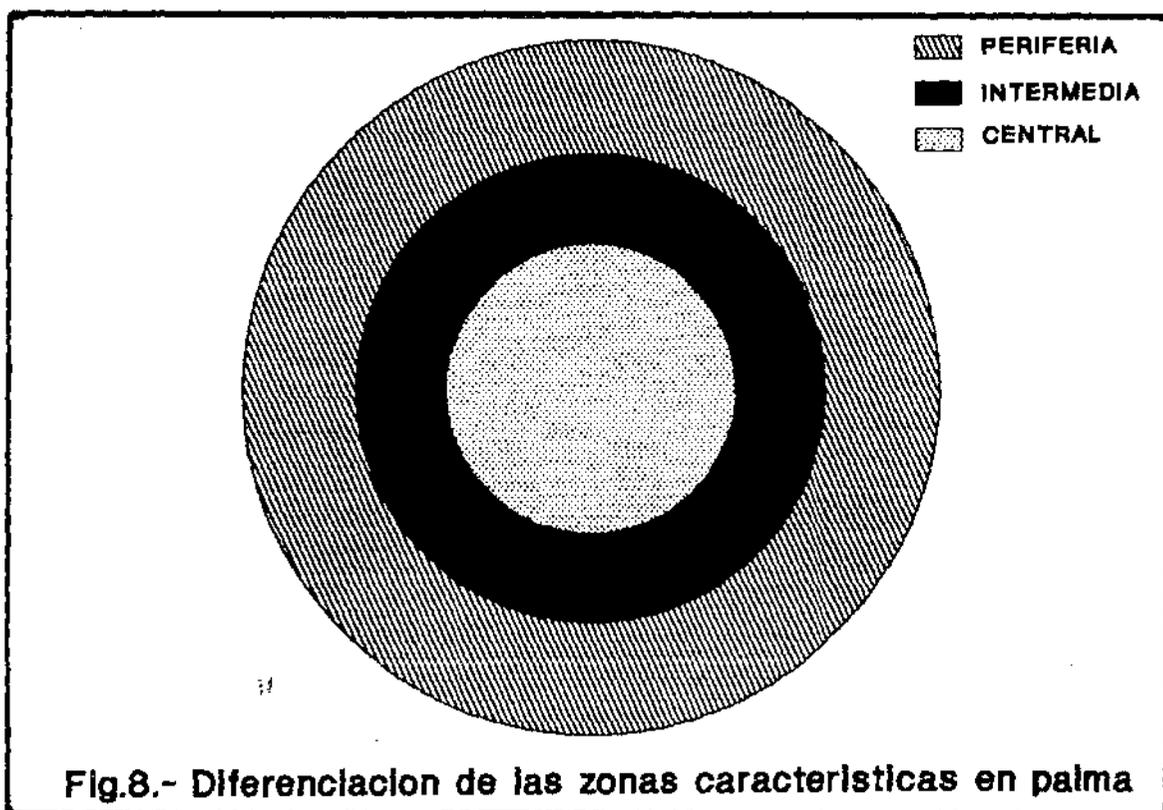


Fig.8.- Diferenciación de las zonas características en palma

Definidas las zonas se procede al asierre de las mismas, mostrandose en la figura 9 la forma en la cual se aserraron, dándole a cada una de ellas su respectiva nomenclatura.

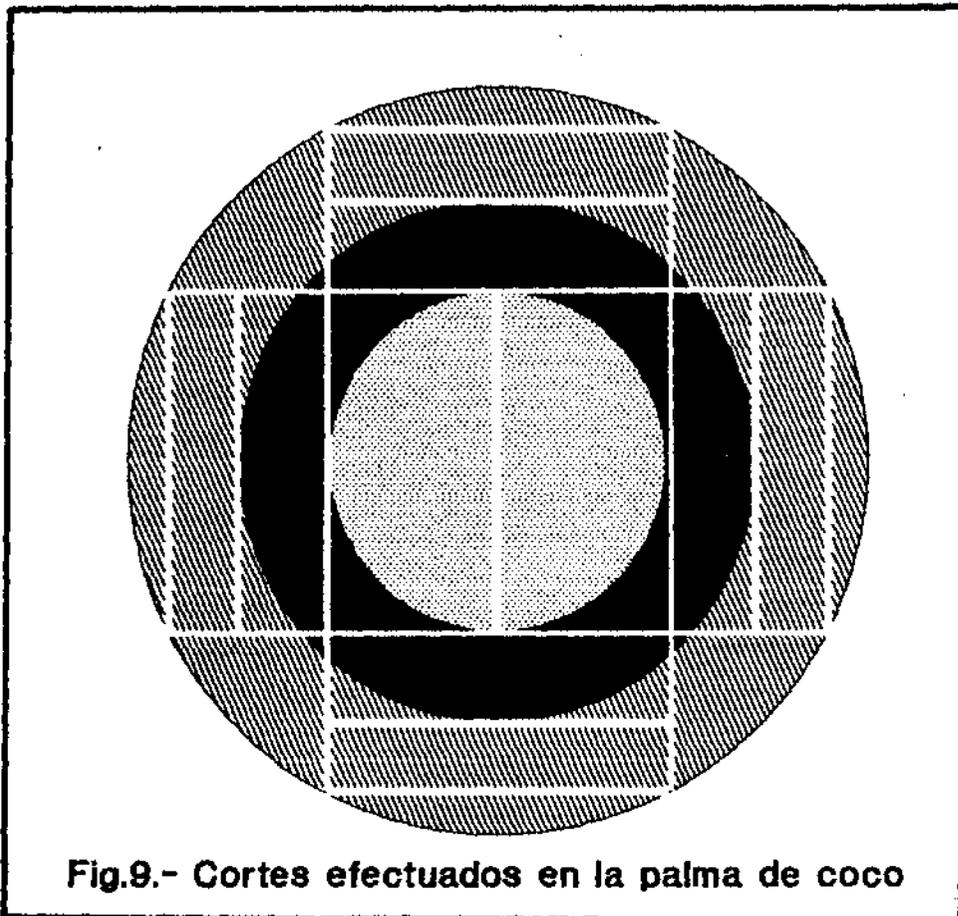
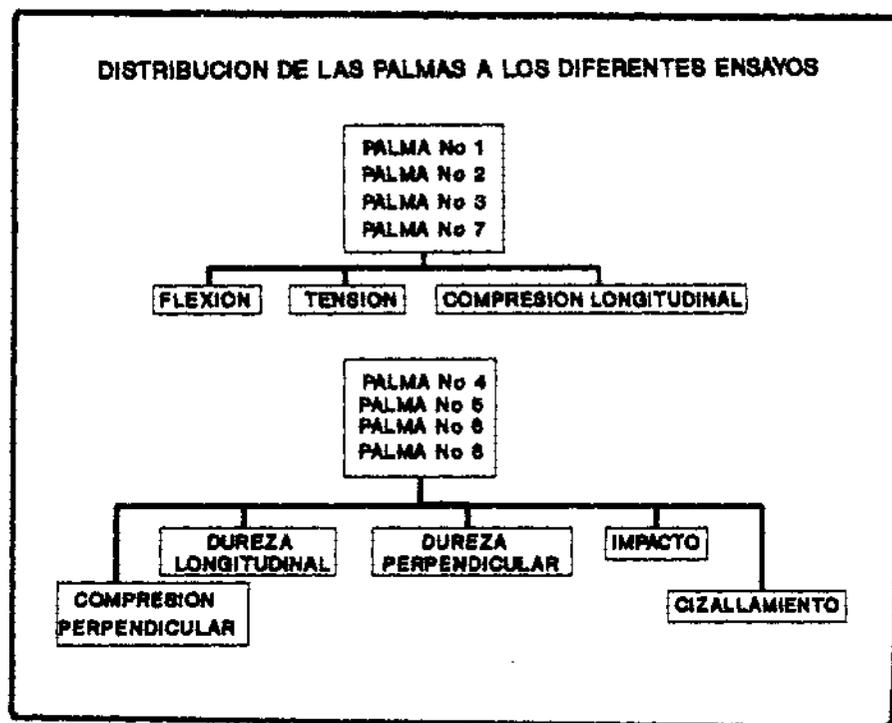


Fig.9.- Cortes efectuados en la palma de coco

Terminado el proceso de aserrio, las tablas se impregnaban con un material químico preventivo para evitar el ataque de hongos, dada la suceptibilidad de la madera al encontrarse en estado "verde". La madera fue secada bajo los procesos de secado convencional y solar.

Disminuido el contenido de humedad al 12 %, humedad a la cual la madera se considera seca, se pasa al taller de carpintería para la elaboración de las probetas.

Como se explicó anteriormente la palma fue clasificada en 3 zonas en diámetro y 6 trozas en altura. Para cada una de éstas zonas se tuvo que llevar a cabo la elaboración de las probetas, quedando la distribución de las palmas para los ensayos de la forma siguiente:



4. Determinación de las Propiedades Físico-Mecánicas

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas, las normas DIN estipulan la nitida diferenciación de los ejes anatómicos de la madera, sin embargo, para el caso específico de la madera de la palma de coco, tal diferenciación entre cortes radiales y tangenciales, no se da, debido a que está desprovisto de anillos anuales de crecimiento. Por lo que si la norma menciona que la carga de fuerza debe ejercerse en una cara específica, en la palma de coco no fue válido tal efecto; sin embargo, por motivos de información se da a conocer la forma en la cual el ensayo debe efectuarse en la madera convencional.

4.1. Ensayo de Flexión

De acuerdo a la norma DIN 52186 las dimensiones de las probetas a utilizarse, deben ser de sección transversal cuadrada, cuyos cantos miden como mínimo $b = h = 20 \pm 1$ mm. La longitud de la probeta debe tener $L_t = 18 * b$.

La aplicación de la carga debe efectuarse tangencial a los anillos de crecimiento colocando en el punto de aplicación un jinete cuyas medidas son mostradas en la figura 10. La colocación de la probeta de efectuarse sobre soportes cuya distancia (L_s) entre sí debe ser de $15 * h$.

Al efectuarse el ensayo es necesario obtener gráficas de comportamiento del material; para poder determinar el módulo de elasticidad y resistencia del material debiendo ser expresados en N/mm² respectivamente.

Para determinar la resistencia a la flexión del material en forma numérica se lleva a cabo mediante la aplicación de una fórmula sencilla:

$$RF = \frac{M}{W} = \frac{3 * F * Ls}{2 * b * h^2} = N/mm^2$$

donde:

- RF = resistencia a la flexión.
- M = momento de flexión.
- W = momento resistente.
- F = fuerza máxima de ruptura (N).
- Ls = claro, distancia entre soportes (mm).
- b = ancho de la probeta (mm).
- h = altura de la probeta (mm).

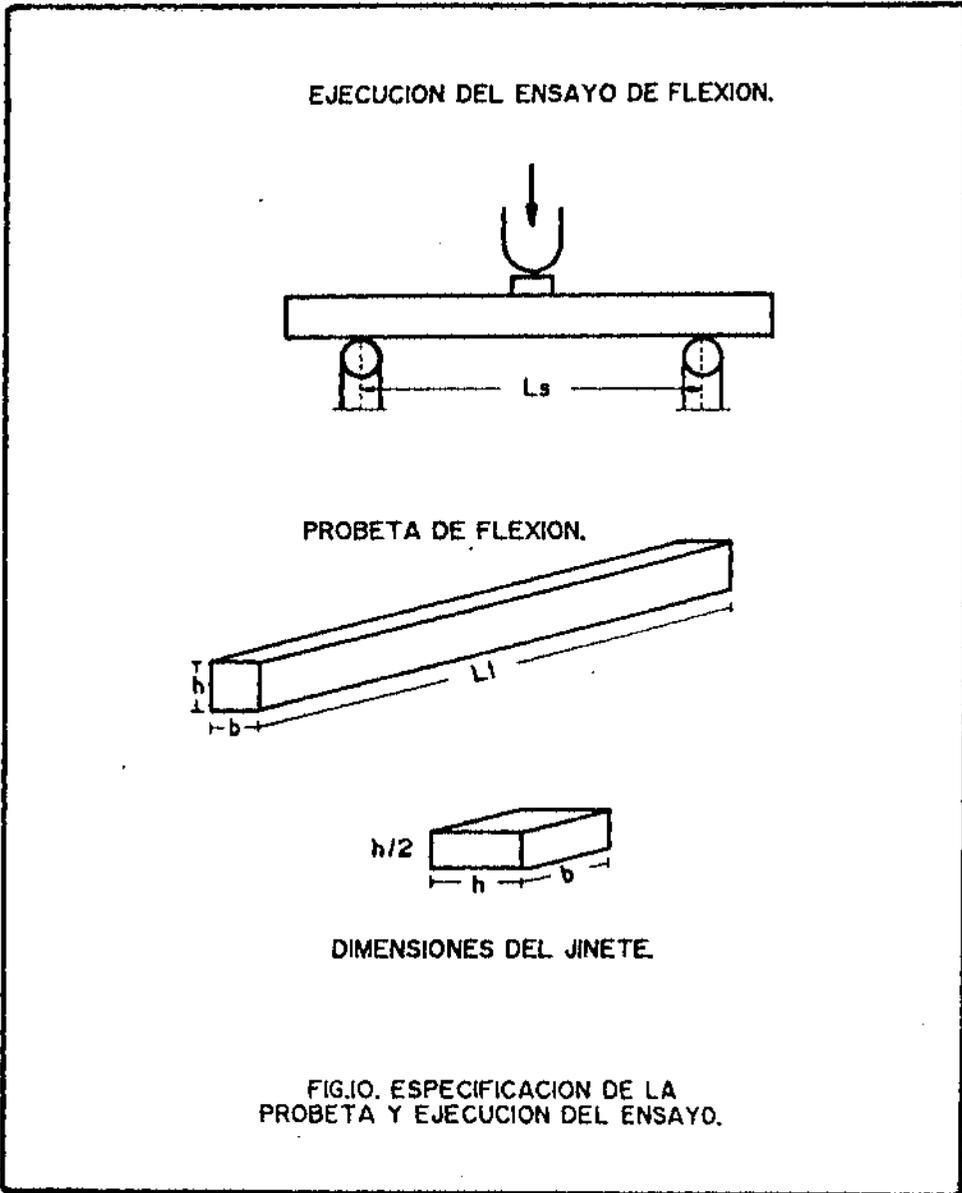


Para determinar el módulo de elasticidad se aplica la siguiente fórmula:

$$MEF = \frac{BF * Ls}{4 * b * h^3 * Bf} = N/mm^2$$

donde:

- MEF = módulo de elasticidad por flexión.
- BF = cualquier diferencia de fuerza en Newton en el campo de deformación elástica.
- Bf = la correspondiente deformación al centro de la probeta de la diferencia de fuerza (BF) en mm.
- b = ancho de la probeta (mm).
- h = altura de la probeta (mm).
- Ls = distancia entre soportes (mm).



4.2. Ensayo de Tensión

Segun la norma DIN 52188, las probetas a utilizarse, son de 470 mm de longitud, con las caras anatómicas bien definidas, anexando en las partes laterales de la probeta, apéndices de madera de 10 cm de longitud, que la igual que la probeta deben poseer sus caras bien definidas. En la parte central de la probeta, existe una porción recta de 11 cm en el sentido longitudinal de la probeta, seguido por un corte cuyo radio es de 713 mm, en el ancho de la probeta debe ser de 20 mm (fig.11).

El ensayo se efectua mediante esfuerzos de tracción en la madera (fig.12), debiendose colocar un extensómetro cuya apertura debe ser de 50 mm para la determinación de la deformación del material durante el ensayo.

La ruptura del material debe efectuarse el centro de la misma, en un lapso de tiempo que oscile entre 60 a 90 sg.

Para la determinación de la resistencia a la tensión, se hace necesario el uso de una pequeña fórmula:

$$Rt = \frac{F}{a * b} = N/mm^2$$

donde:

- Rt = resistencia a la tensión.
- a = espesor de la probeta (mm).
- b = ancho de la probeta (mm).

Para la determinación del módulo de elasticidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$MEt = \frac{(F1-F2) * (\text{factor fuerza}) * (\text{apertura de sensores})}{(D1 - D2) * (\text{factor deformación}) * (a * b)} = N/mm^2$$

donde:

- MEt = módulo de elasticidad en flexión.
- F1 = fuerza 1 (tomado de la gráfica).
- F2 = fuerza 2 (tomado de la gráfica).
- Apertura de sensores = 50 mm
- D1 = deformación 1 (tomado de la gráfica)
- D2 = deformación 2 (tomado de la gráfica)
- a = espesor de la probeta (mm).
- b = ancho de la probeta (mm).
- Factor fuerza = tomado de la gráfica.
- Factor deformación = tomado de la gráfica.

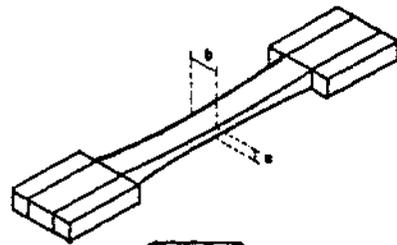
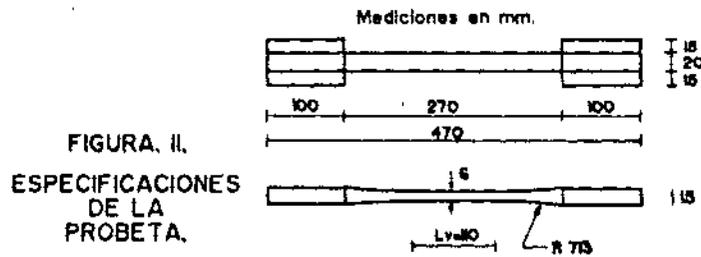
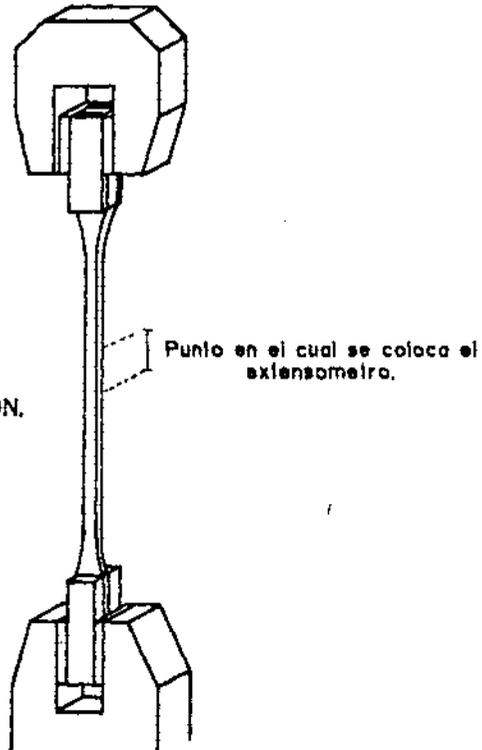


FIGURA. IZ.
EJECUCION DEL
ENSAYO DE TENSION.



4.3. Ensayo de Cizallamiento

En este tipo de ensayo se utilizan probetas de $a * b * c$ cm donde $a = b = c$, y $a = 5$ cm. La probeta debe contar con sus ejes anatómicos bien definidos según estipulaciones

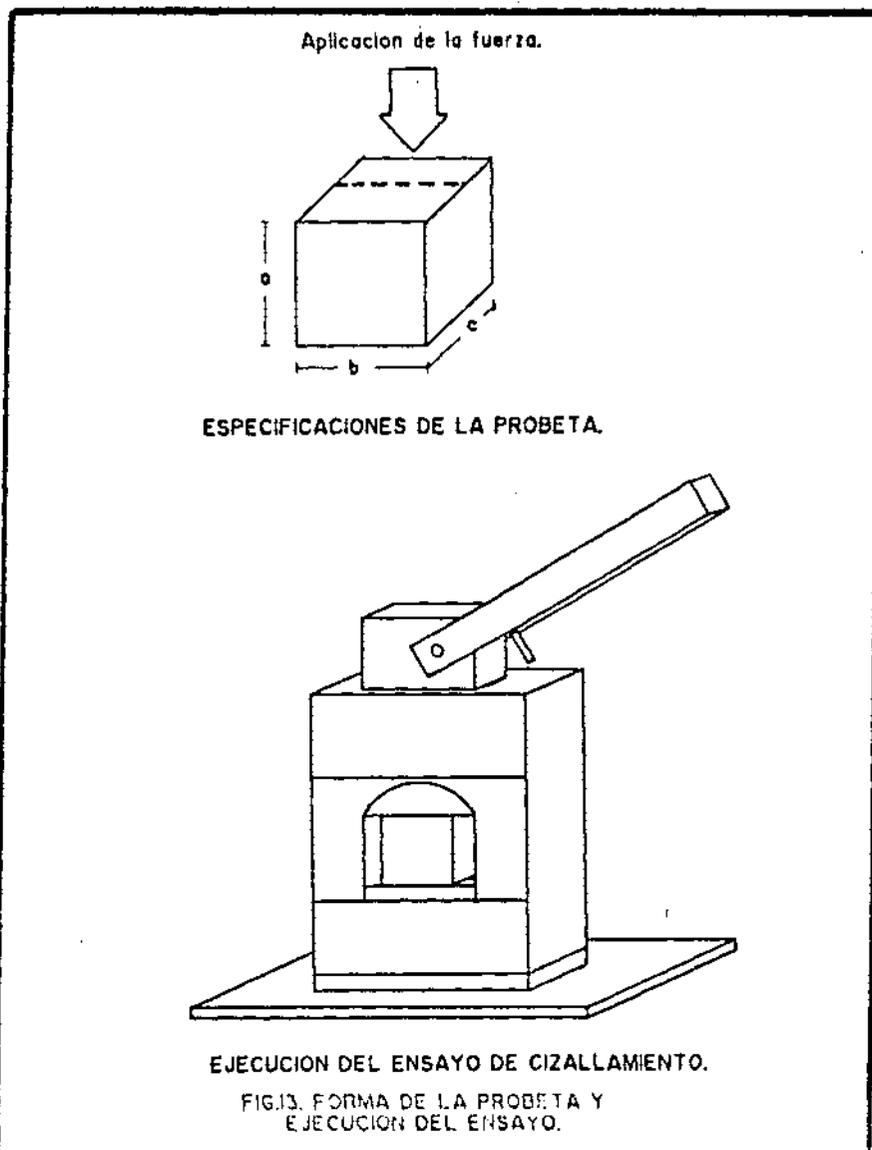
de la norma DIN 52187. La carga debe efectuarse en la cara transversal, perpendicular a los anillos de crecimiento. El tiempo en el cual debe oscilar la ruptura debe ser entre los 60 a 90 sg. Debido a lo reducido de las tablas de la palma de coco. se optó por efectuar los ensayos en probetas donde el valor de a = 3 cm.

Para la determinación de la resistencia al cizallamiento se emplea la siguiente fórmula:

$$R.ciz = \frac{F}{a * b} = N/mm^2$$

donde:

- R.ciz = resistencia al cizallamiento.
- F = fuerza máxima lograda (N).
- a = lado de la probeta (mm).
- b = lado de la probeta (mm).



4.4. Ensayo de Dureza (Brinell)

El término dureza se puede definir como la resistencia que presenta un material, a la penetración de un cuerpo.

Fundamentalmente el método de dureza según Brinell, se basa en que una esfera de acero templado con un diámetro de 10 mm. Es presionada bajo una carga determinada (P), siendo esta de forma continua sobre la superficie de la probeta durante un lapso de tiempo de 15 sg; pasado este lapso de tiempo, se mantiene en carga constante la P obtenida durante un lapso de tiempo de 30 sg. Terminado el ensayo deberá medirse la superficie de la huella o el área de penetración (A) de la esfera en la superficie la probeta, y con ello calcularse la dureza Brinell (Hb) según la ecuación:

$$Hb = \frac{P}{A} = N/mm^2$$

El cálculo del área de penetración es de:

$$A = \frac{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

donde:

- Hb = dureza Brinell.
- P = carga (N).
- A = área de penetración (mm²).
- D = diámetro de la esfera de Brinell (10 mm).
- d = diámetro medio de superficie de penetración.

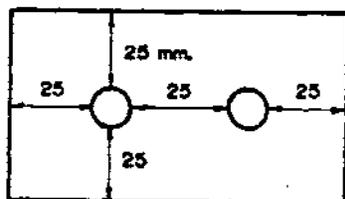
El diámetro medio correspondiente deberá medirse con la ayuda de lupa Brinell con una exactitud de 0.05 mm, una mejor visualización de la superficie se logra, colocando papel carbónico entre la superficie superior de la probeta y la esfera de Brinell.

El espesor de la probeta debe tener por lo menos 15 mm; La superficie de prueba deben estar lisas.

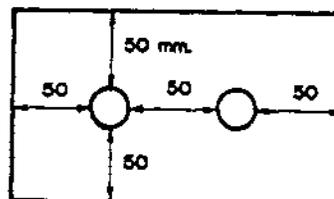
Para la obtención de un valor medio y confiables, es necesario de por lo menos 9 huellas sobre la superficie de corte transversal (HB_{||}), superficie tangencial (HBL tang.) y superficie radial (HBL rad.), debiendo ser distribuidas sobre las superficies correspondientes. Para ello los sitios

de penetración en el corte transversal, de por los menos a una distancia de 25 mm unos de otros y del borde, y en las superficies radial y tangencial, por lo menos 50 mm unos de otros y del borde. (fig.14).

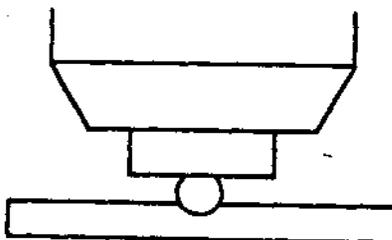
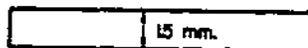
Distanciamiento entre huellas para el corte transversal (Hb_{tr}).



Distanciamiento entre huellas para cortes radiales (Hb_{rad.}) y cortes tangenciales (Hb_{tang.}).



ESPESOR MINIMO DE LAS PROBETAS.



EJECUCION DEL ENSAYO DE DUREZA.

FIG.14. ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS Y EJECUCION DEL ENSAYO.

4.5. Ensayo de Compresión

Según la norma DIN 52.185 - hoja 1 (pruebas de madera: ensayo de compresión en dirección a la fibra) están indicadas las siguientes determinaciones:

Las probetas a utilizarse son de sección transversal cuadrada ($a = b = 2$ hasta 5 cm). La altura de la probeta (h) para la determinación de la resistencia a la compresión, tiene que ascender a: $h = 1.5a$ hasta $3a$; y en las probetas para la determinación del módulo de elasticidad $h = 3a$ hasta $6a$ (fig.15).

La cantidad de probetas requeridas deberá ser de un mínimo de 10, para que los resultados sean lo más representativo posible. Por otra parte, el corte de la probeta debe ser tal, que se definan perfectamente las tres direcciones anatómicas de la madera.

La ejecución del ensayo debe realizarse mediante la colocación de la probeta entre cabezales de la maquina universal de ensayos físico-mecánicos; La carga de compresión debe estar libre de sacudones, debiendose aplicar de forma continua, procurando que la ruptura del material oscile en un lapso de tiempo de 60 a 90 sg.

Para la medición de la deformación, se coloca un extensómetro en las caras radiales del material (fig.16), de las cuales en conjunto con la carga de aplicación se obtiene una gráfica, siendo los ejes de referencia, fuerza contra deformación, que posteriormente se utilizaran para efectuar los calculos correspondientes.

La fórmula para la determinación de la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$R_c = \frac{F}{a * b} = \frac{F}{A} = N/mm^2$$

donde:

- R_c = resistencia a la compresión.
- F = fuerza máxima de ruptura.
- a = lado de la probeta (mm).
- b = lado de la probeta (mm).
- A = área de la sección transversal (mm²).

Para la determinación del módulo de elasticidad, la fórmula es la siguiente:

$$MEc = \frac{BF * Lo}{BD * a * b} = \frac{(F2 - F1) * Lo}{(D2 - D1) * a * b} = N/mm^2$$

donde:

- MEc = módulo de elasticidad .
- BF = incremento en fuerza (tomado de gráfica).
- BD = incremento en deformación (tomado de gráfica)
- a = lado de la probeta (mm).
- b = lado de la probeta (mm).
- Lo = campo donde fue medida la deformación (40 mm)
- F1 = fuerza 1 (tomado de gráfica).
- F2 = fuerza 2 (tomado de gráfica).
- D1 = deformación 1 (tomado de gráfica).
- D2 = deformación 2 (tomado de gráfica).

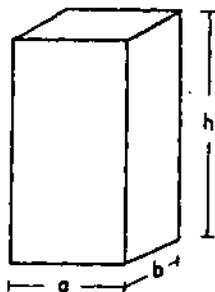


FIG.15. ESPECIFICACIONES DE LA PROBETA.

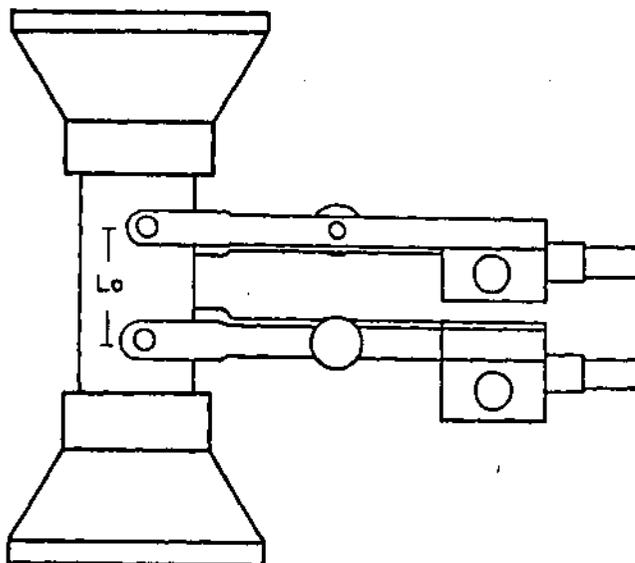


FIG.16. EJECUCION DEL ENSAYO DE COMPRESION.

4.6. Ensayo de Impacto

De acuerdo con la norma DIN 52.189 (ensayo de madera; prueba de flexión dinámica o por golpe) debe llegarse a cabo con la ayuda de un martillo de péndulo.

El ensayo de flexión por golpe debe ejecutarse con probetas de sección transversal cuadrada cuyas medidas deben ser $a = b = 20 \text{ mm}$, y de longitud $L_p = 300 \text{ mm}$ (fig.17), el claro entre soporte (L_s), en el cual se colocará la probeta debe ser de 210 mm (fig.18) redondeado de la parte media del soporte, como también la parte cortante del péndulo es de un radio de 15 mm .

La ejecución del ensayo debe realizarse tangencial a los anillos de crecimiento.

Al efectuarse el impacto (fig.19), el péndulo consume un trabajo (w), que resulta de la altura de la posición del martillo con respecto a la probeta, registrándose directamente por medio de una aguja indicadora, en la escala adecuada.

El trabajo por rotura de golpe absorbido debe indicarse, conforme a la norma DIN 52.189, relacionado con la sección transversal de la probeta. La fórmula para su determinación es la siguiente:

$$W = \frac{w}{a * b} * 1000 = \text{KJ/m}^2$$

donde:

- W = resistencia al impacto.
- w = trabajo realizado (Joules).
- a = lado de la probeta (mm).
- b = lado de la probeta (mm).

FIG.17. ESPECIFICACIONES DE LA PROBETA.

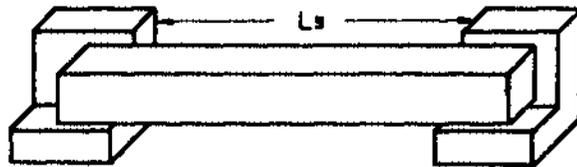
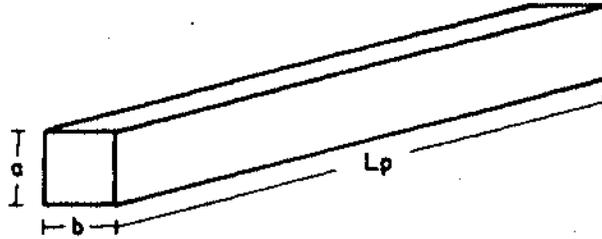


FIG.18. CLARO ENTRE SOPORTES.

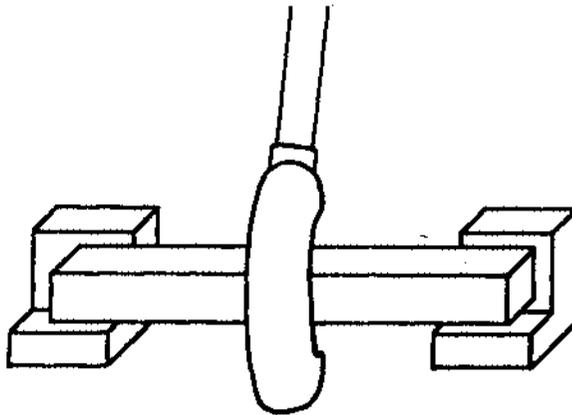


FIG.19. EJECUCION DEL ENSAYO DE IMPACTO.

4.7. Contenido de Humedad

La determinación del contenido de humedad se llevó a cabo para cada uno de los ensayos anteriormente mencionados. La norma DIN 52.183 indica el método de estufa para la determinación del contenido de humedad de la madera.

Una vez efectuado el ensayo la probeta se pesa (balanza analítica), introduciendo la muestra en la estufa a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta su peso constante (0.1 %) de variabilidad.

Para su enfriamiento deberá colocarse la probeta en un recipiente sobre un medio secante (Cl_2 Ca ó P_2 O_5), enfriada la probeta se determina su peso; Para efectuar el cálculo del contenido de humedad, es necesaria la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{C.H} = \frac{\text{Ph} - \text{Ps}}{\text{Ps}} * 100 = \%$$

donde:

- C.H = contenido de humedad.
- Ph = peso humedo (g).
- Ps = peso seco (g).

4.8. Densidad

Para la determinación de la densidad de la madera, se lleva a cabo, dependiendo de que las probetas sean rectangulares o cuadradas, libres de rajaduras con superficies limpias y lisas.(DIN 52.189).

Las probetas deben ser acondicionadas antes del ensayo hasta su peso constante en clima normal de 20°C y 65 % de humedad relativa (DIN 50.014). Es válido como peso constante, cuando el peso de la probeta contra la pesada anterior, en una diferencia de 24 horas no se ha modificado más que en un 0.1 %.

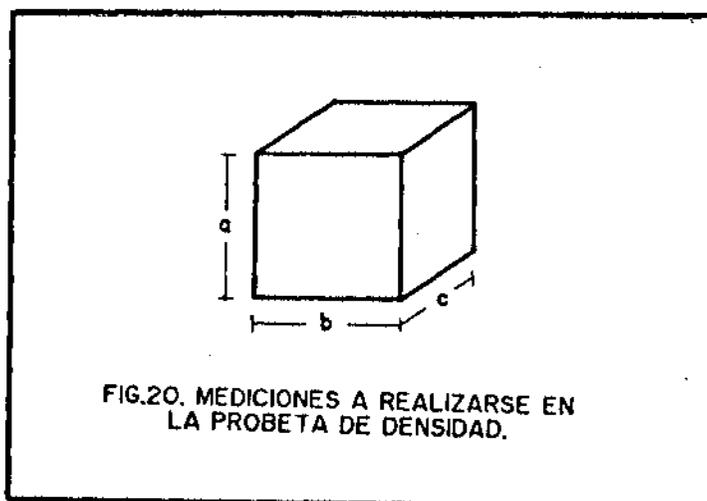
Aclimatizada la probeta se le determina su peso, midiendo posteriormente cada uno de sus ejes (tangencial, radial, longitudinal) para la determinación del volumen (método estereométrico.).

Para la obtención de la densidad en la madera se aplica una fórmula muy sencilla:

$$D_m = \frac{P_m}{a * b * c} = \text{g/cm}^3$$

donde:

- D_m = densidad de la muestra.
- a = sección de la muestra.
- b = sección de la muestra.
- c = sección de la muestra.
- P_m = peso de la muestra.



4.9. Materiales Utilizados

Para llevar a cabo la ejecución de los diferentes ensayos fue necesario contar con el equipo que a continuación se menciona:

- Máquina universal de ensayos físico-mecánicos Karl Frank gmbh. mod.81105 de 50 000 Newton de capacidad.
- Péndulo de golpe Karl Frank gmbh mod.53780 de 300 Joules de capacidad.
- Estufa de secado de resistencia Felisa mod. fe 292.
- Estufa de secado de vacío Equatherm mod.d1556/11.
- Balanza analítica Sartorius mod.1702mp8 de 300 g de capacidad.
- Balanza analítica Sartorius mod.1872mp8 de 162 g de capacidad.
- Calibrador (vernier) de 16 cm scala.

- Micrómetro 2 ma-f1 de 50 mm.
- Micrómetro 436 mrl de 25 mm.
- Micrómetro yuxbol m de 25 mm.
- Cronómetro de 30 min.

5. Analisis Estadístico

A cada uno de los ensayos se les determinó, promedio, desviación estandar y coeficiente de variación. Además, se le determinó diferentes analisis de correlación, así como de regresión. Las fórmulas aplicadas fueron las siguientes:

$$\text{Promedio} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$\text{Varianza} = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N X_i)^2}{N}}{N-1}$$

$$\text{Desviación estandar} = S = \sqrt{S^2}$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Para la determinación del intercepto en la regresión es calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Intercepto} = a = \frac{\sum x (\sum x \sum y / N - \sum xy)}{(N \sum x^2 - (\sum x)^2)} + \sum y / N$$

Para calcular la pendiente:

$$\text{Pendiente} = b = \frac{(N \sum xy - \sum x \sum y)}{(N \sum x^2 - (\sum x)^2)}$$

El coeficiente de correlación se obtuvo:

$$\text{Coef. de correlación} = r = b s_x / s_y$$

Los valores esperados de Y se obtubieron:

$$\text{Valor esperado de Y} = Y' = a + bx$$

Donde, dependiendo del tipo de regresión se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$Y' = a + b (x)$$

$$Y' = a + b (x^2)$$

$$Y' = a + b (x^3)$$

$$Y' = a + b (x^4)$$

$$Y' = a + b (x)$$

$$Y' = a + b (1/x)$$

$$Y' = a + b (\text{Ln } (x))$$

$$\text{Ln } Y' = a + b (x)$$

$$\text{Ln } Y' = a + b (\text{Ln } (x))$$

IV. RESULTADOS

La variación de densidad en la palma de coco fue la siguiente:

Zona Periferica:

De 0.71 g/cm^3 en la parte basal, conforme se incrementa en altura, su densidad puede decrecer hasta densidades de 0.50 g/cm^3 , lo que indica una disminución en del 29.57 %.

Zona Intermedia:

De 0.52 g/cm^3 a 0.34 g/cm^3 , lo que representa una disminución del 34.61 % con respecto al valor de densidad de 0.52 g/cm^3 .

Zona Central:

De 0.31 g/cm^3 a 0.17 g/cm^3 , lo que representa una disminución del 45.16 % con respecto al valor de densidad de 0.31 g/cm^3 .

El contenido de humedad a los cuales se efectuaron los ensayos varió de 10 a 12 % .

Los resultados obtenidos para cada una de las zonas y cada uno de los ensayos se muestran en las tablas 17, 18, y 19.

En la tabla 20 se muestran los resultados poblacionales

TABLA.17. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN LA ZONA PERIFERICA.

ENSAYO	ALTURA (m)						\bar{X}	S	C.V.
	0.30	1.20	2.40	3.60	4.80	6.0			
FLEXION									
Resistencia (N/mm ²)	91.73	75.97	62.91	52.89	44.44	36.99	60.82	20.43	33.60
Mod.Elast. (N/mm ²)	12666.91	11953.42	11362.35	10908.81	10526.45	10189.59	11267.92	924.94	8.21
TENSION									
Resistencia (N/mm ²)	52.49	46.84	39.33	31.80	24.29	16.76	35.25	13.58	38.52
Mod.Elast. (N/mm ²)	11678.28	10593.21	9146.46	7699.71	6252.96	4806.21	8362.76	2612.36	31.24
COMPRESION PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	11.58	8.52	7.50	7.16	6.99	6.80	8.10	1.80	22.24
Mod.Elast. (N/mm ²)	1630.15	1628.88	1609.62	1526.17	1301.50	827.77	1420.68	316.16	22.25
COMPRESION LONG.									
Resistencia (N/mm ²)	68.74	64.66	59.23	53.79	48.36	42.93	56.28	9.81	17.47
Mod.Elast. (N/mm ²)	12021.07	10463.58	9173.31	8183.25	7348.59	6613.25	8967.18	2019.07	22.52
CIZALLAMIENTO.									
Resistencia (N/mm ²)	14.71	13.43	11.72	10.02	8.31	6.60	10.79	3.08	29.54
DUREZA PARALELA.									
Resistencia (N/mm ²)	66.85	63.89	59.93	55.98	52.03	48.07	57.79	7.13	12.35
DUREZA PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	37.54	34.48	30.39	26.31	22.22	18.14	28.18	7.37	26.17
IMPACTO.									
Resistencia (kJ/m ²)	71.43	69.02	65.81	62.60	59.39	56.18	64.07	5.79	9.04
DENSIDAD (g/cm³)									
	0.71	0.66	0.62	0.58	0.54	0.50			

TABLA. 18. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN LA ZONA INTERMEDIA.

ENSAYO	ALTURA (m)						\bar{X}	S	C.V.
	0.30	1.20	2.40	3.60	4.80	6.0			
FLEXION									
Resistencia (N/mm ²)	55.74	54.79	51.75	46.70	39.62	30.52	46.52	9.84	21.15
Mod.Elast. (N/mm ²)	10361.15	9156.04	7549.28	5942.41	4335.59	2728.78	6678.68	2901.37	43.44
TENSION									
Resistencia (N/mm ²)	26.49	26.31	25.07	21.69	15.11	4.27	19.82	8.73	44.07
Mod.Elast. (N/mm ²)	8502.39	8269.78	7525.41	6284.79	4547.93	2314.82	6240.85	2415.07	38.70
COMPRESION PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	6.26	6.25	6.20	5.97	5.36	4.06	5.66	.86	15.22
Mod.Elast. (N/mm ²)	842.55	827.69	780.14	700.89	589.84	447.28	598.08	154.28	22.10
COMPRESION LONG.									
Resistencia (N/mm ²)	55.94	45.38	36.63	29.91	24.25	19.26	35.22	13.69	38.87
Mod.Elast. (N/mm ²)	8898.65	7690.31	6079.19	4468.07	2856.95	1245.83	5206.50	2909.14	55.88
CIZALLAMIENTO.									
Resistencia (N/mm ²)	8.59	7.48	6.55	5.84	5.25	4.72	6.40	1.44	22.56
DUREZA PARALELA.									
Resistencia (N/mm ²)	36.31	29.95	26.78	24.92	23.60	22.58	27.35	5.10	18.64
DUREZA PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	14.61	11.20	9.49	8.49	7.78	7.23	9.80	2.74	27.97
IMPACTO.									
Resistencia (kJ/m ²)	50.35	49.38	46.27	41.09	33.83	24.51	40.90	10.08	24.65
DENSIDAD (g/cm³)									
	0.52	0.48	0.45	0.42	0.39	0.34			

TABLA.19. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN LA ZONA CENTRAL.

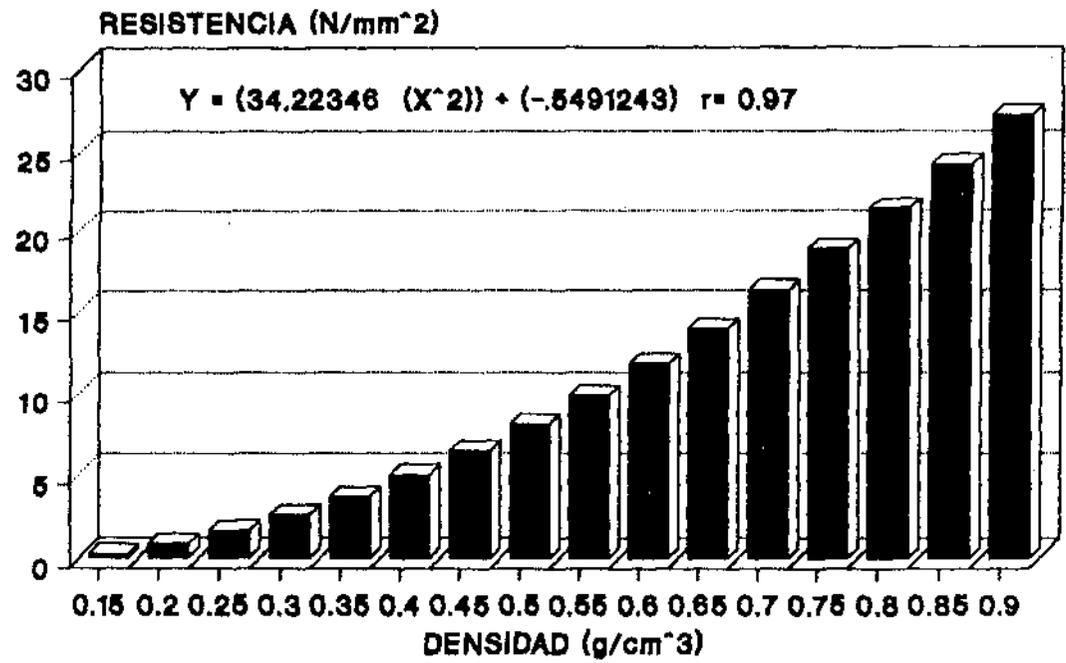
E N S A Y O	A L T U R A (m)						\bar{X}	S	C.V.
	0.30	1.20	2.40	3.60	4.80	6.0			
FLEXION									
Resistencia (N/mm ²)	35.76	30.99	24.62	18.26	11.89	5.52	21.17	11.49	54.25
Mod.Elast. (N/mm ²)	5181.20	3490.90	2645.76	2151.38	1800.61	1528.53	2799.73	1357.01	48.47
TENSION									
Resistencia (N/mm ²)	11.31	11.02	10.10	8.56	6.40	3.63	8.50	2.89	35.25
Mod.Elast. (N/mm ²)	3595.51	3055.48	2608.10	2264.82	1975.42	1720.45	2535.63	700.06	27.60
COMPRESION PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	3.03	2.45	1.97	1.60	1.29	1.01	1.59	.75	39.82
Mod.Elast. (N/mm ²)	422.80	310.39	254.18	221.30	197.98	179.88	264.42	90.25	34.17
COMPRESION LONG.									
Resistencia (N/mm ²)	18.54	18.09	16.65	14.25	10.90	6.59	14.17	4.66	32.91
Mod.Elast. (N/mm ²)	3676.24	3595.97	3339.09	2910.96	2311.58	1540.95	2895.80	833.43	28.79
CIZALLAMIENTO.									
Resistencia (N/mm ²)	3.31	3.29	3.11	2.63	1.70	.16	2.76	1.23	52.24
DUREZA PARALELA.									
Resistencia (N/mm ²)	18.82	14.59	11.27	8.64	6.43	4.48	10.72	5.35	49.93
DUREZA PERP.									
Resistencia (N/mm ²)	3.93	3.76	3.73	3.72	3.71	3.71	3.76	1.08	2.26
IMPACTO.									
Resistencia (kJ/m ²)	22.39	18.57	15.41	12.99	10.94	9.14	14.90	4.94	33.18
DENSIDAD (g/cm³)									
	0.31	0.29	0.27	0.24	0.21	0.17			

TABLA.20. VALORES PROMEDIOS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS.

E N S A Y O	Z O N A S			\bar{X}	S	C.V.
	CENTRAL	INTERMEDIA	PERIFERICA			
FLEXION						
Resistencia (N/mm ²)	21.17	46.52	60.82	42.83	20.07	46.87
Mod.Elast. (N/mm ²)	2799.73	6678.88	11267.92	6915.51	4239.05	61.30
TENSION						
Resistencia (N/mm ²)	8.50	19.82	35.25	21.19	13.40	63.36
Mod.Elast. (N/mm ²)	2536.63	6240.85	8362.76	5713.42	2948.66	51.61
COMPRESION PERP.						
Resistencia (N/mm ²)	1.89	5.68	8.10	5.22	3.13	59.92
Mod.Elast. (N/mm ²)	264.42	698.08	1420.68	794.40	584.12	73.53
COMPRESION LONG.						
Resistencia (N/mm ²)	14.17	35.22	56.28	35.22	21.05	59.77
Mod.Elast. (N/mm ²)						
CIZALLAMIENTO.						
Resistencia (N/mm ²)	2.36	6.40	10.79	6.51	4.21	64.69
DUREZA PARALELA.						
Resistencia (N/mm ²)	10.72	27.35	57.79	31.95	23.87	74.70
DUREZA PERP.						
Resistencia (N/mm ²)	3.76	9.80	28.18	13.91	12.71	91.41
IMPACTO.						
Resistencia (kJ/m ²)	14.90	40.90	64.07	24.59	39.95	61.56
DENSIDAD						
(g/cm ³)	0.17	0.34	0.50			
a	a	a				
	0.31	0.52	0.71			

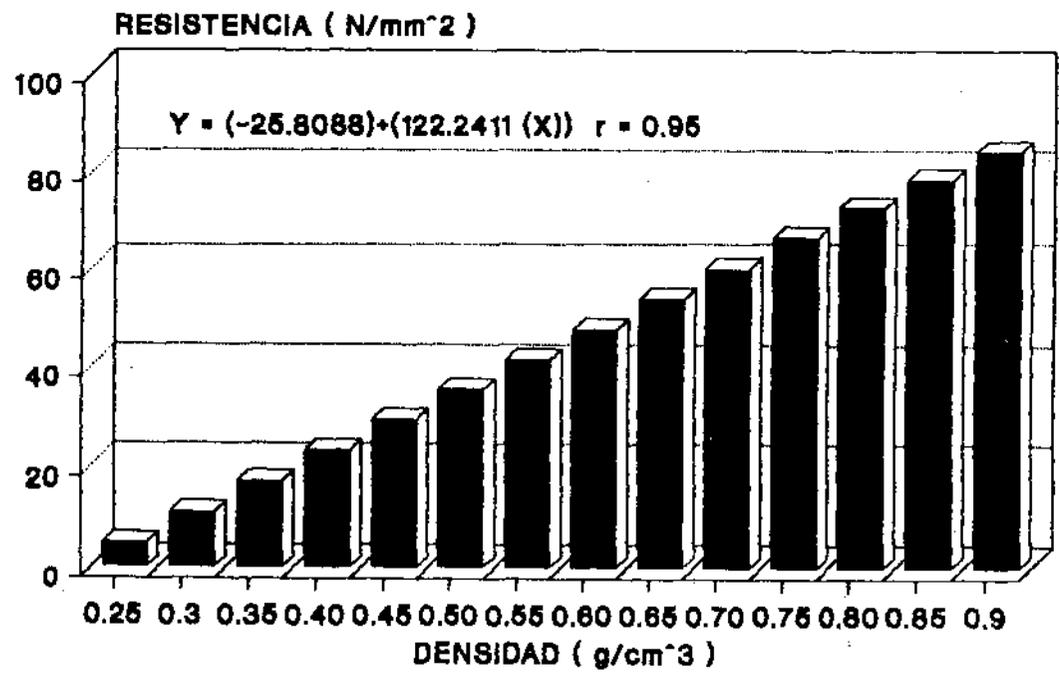
Se obtiene una alta correlación ($r > 0.90$) entre la densidad y la resistencia del material, así como también una gran dependencia entre la densidad y el módulo de elasticidad para cada uno de los ensayos observándose su tendencia en las graficas 16-25.

PALMA DE COCO COMPRESION PERPENDICULAR



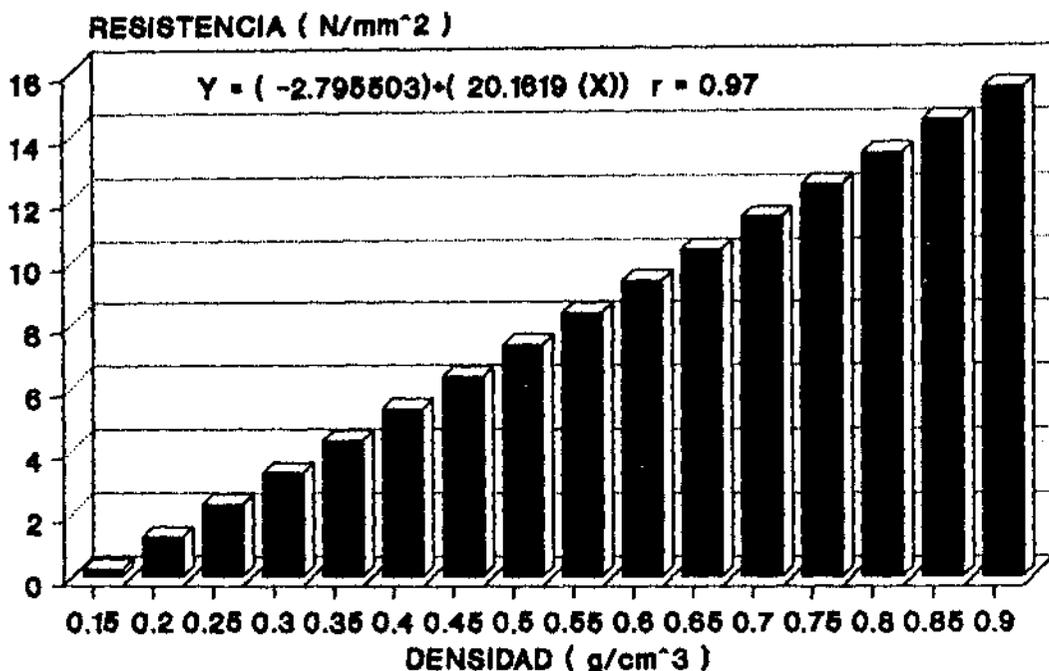
GRAFICA.16. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO DUREZA LONGITUDINAL



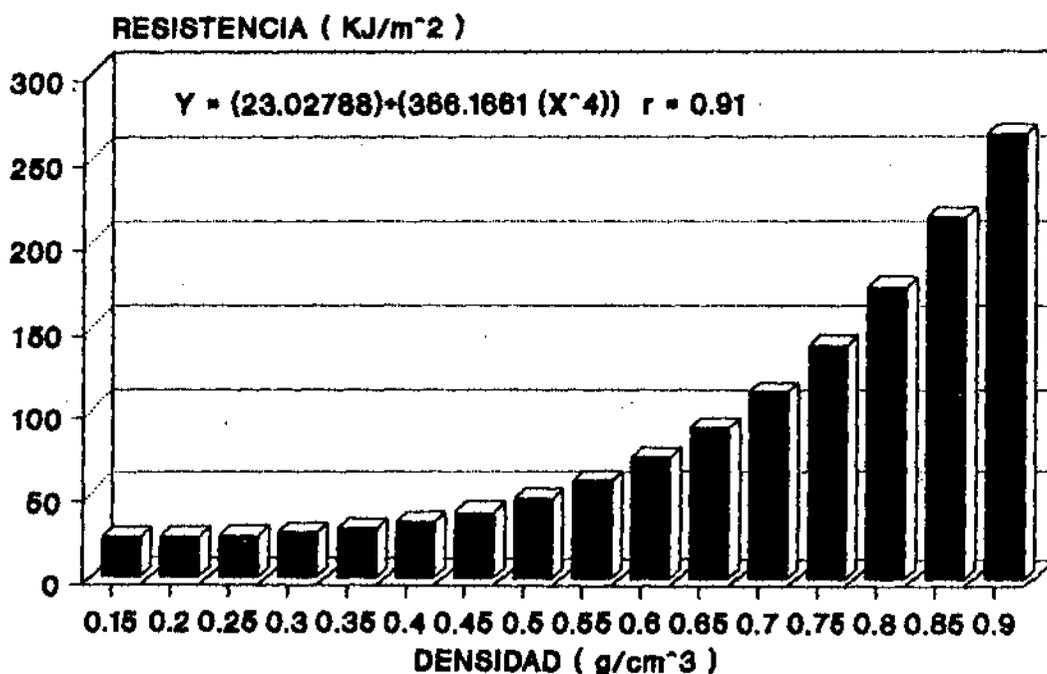
GRAFICA.17. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO CIZALLAMIENTO



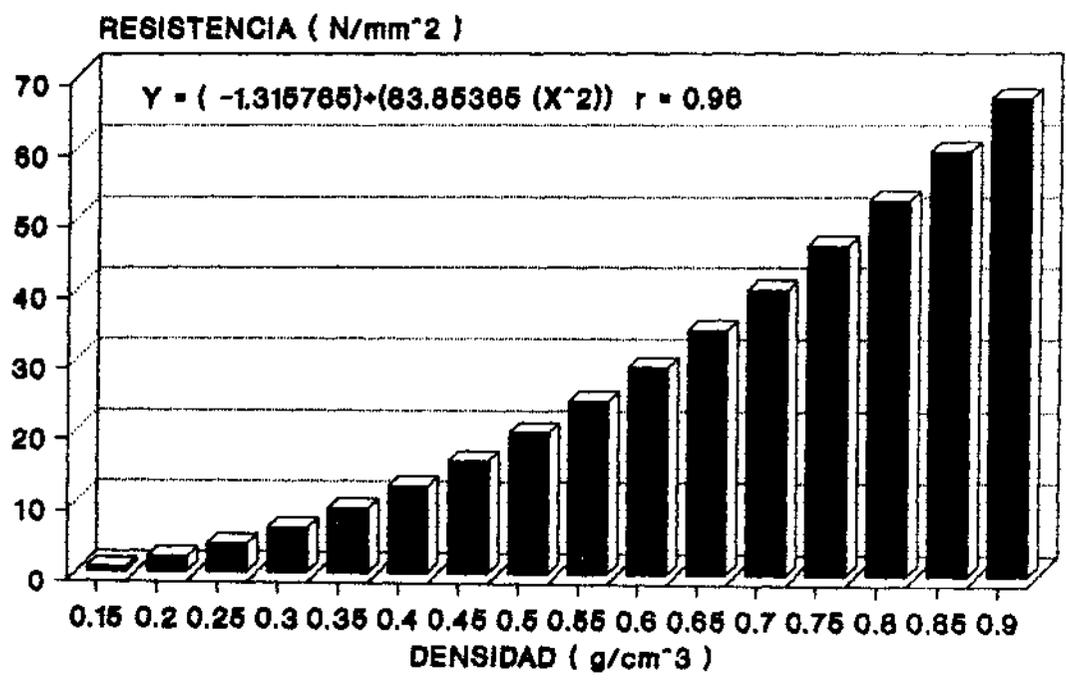
GRAFICA.18. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA
AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO IMPACTO



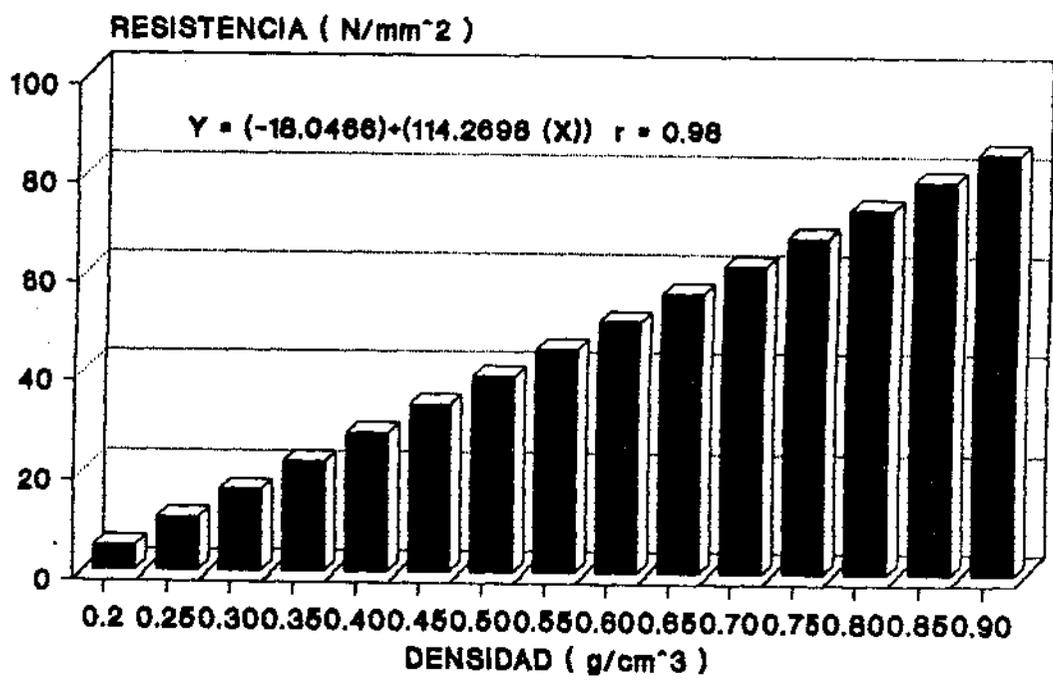
GRAFICA.19. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA
AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO DUREZA PERPENDICULAR



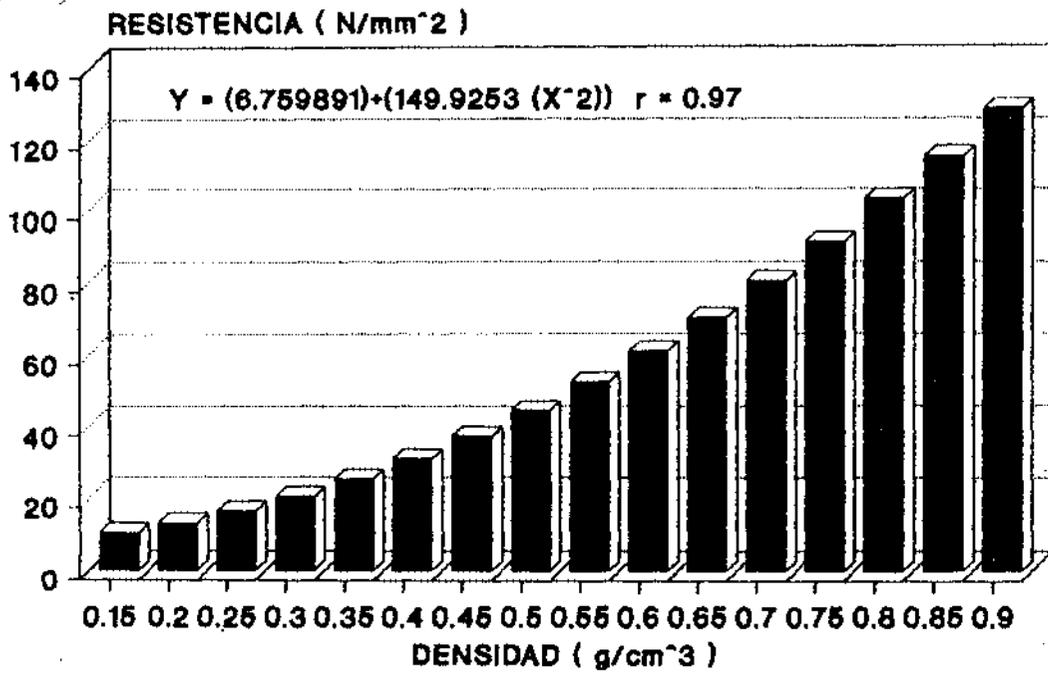
GRAFICA.20. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA
AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO COMPRESION LONGITUDINAL



GRAFICA.21. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA
AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

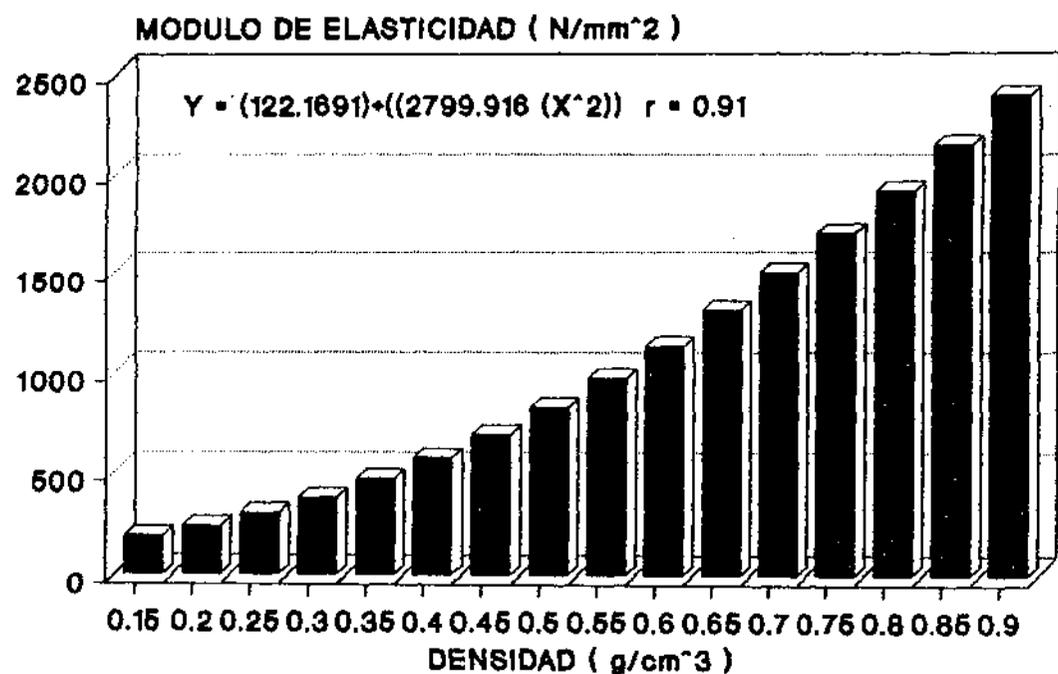
PALMA DE COCO FLEXION



GRAFICA.22. TENDENCIA DE LA RESISTENCIA
AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

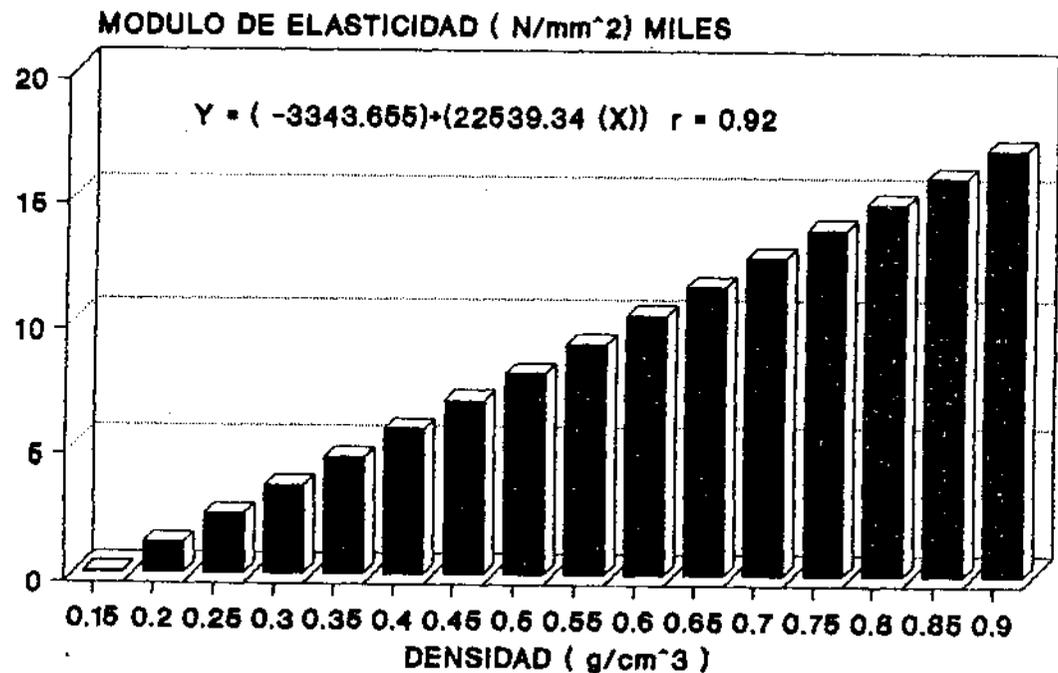


PALMA DE COCO COMPRESION PERPENDICULAR



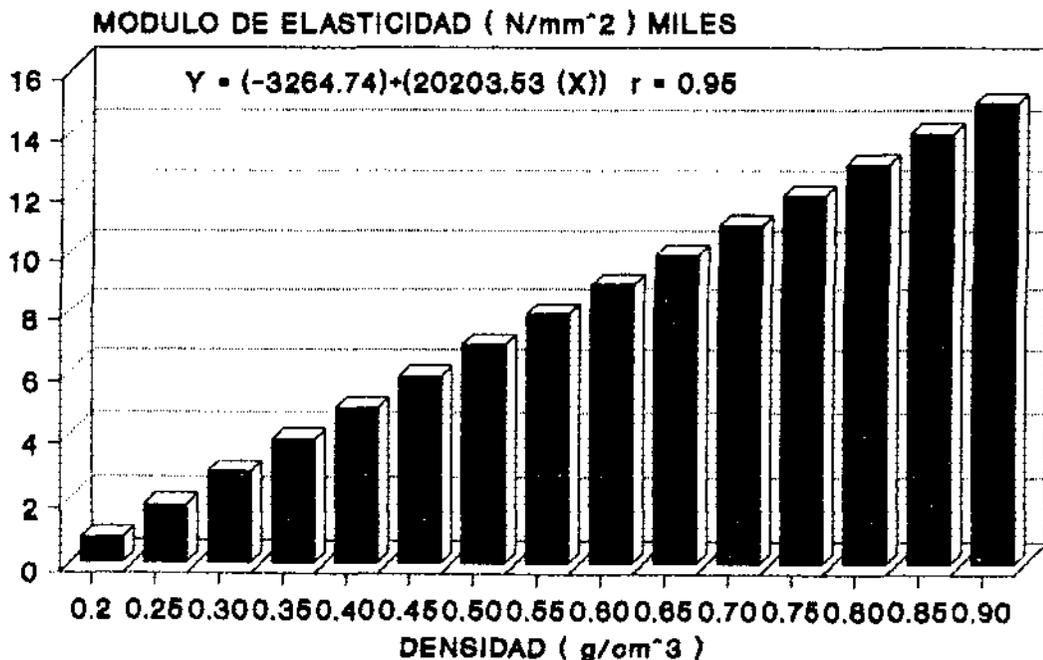
GRAFICA.23. TENDENCIA DEL MODULO DE ELASTICIDAD AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO COMPRESION LONGITUDINAL



GRAFICA.24. TENDENCIA DEL MODULO DE ELASTICIDAD AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

PALMA DE COCO FLEXION



GRAFICA.25. TENDENCIA DEL MODULO DE ELASTICIDAD AL INCREMENTO DE LA DENSIDAD

V. DISCUSION

Debido a la heterogeneidad de la palma de coco, puesto que sus valores de resistencia varían considerablemente en altura y ancho del fuste, se realiza un análisis comparativo con maderas de uso común; Tomando como punto de referencia, la densidad del material, analizando sus respectivas resistencias y módulos de elasticidad (tablas 21,22,23,24).

**TABLA.21. COMPARACION DE LA MADERA DE ENCINO
 CON RESPECTO A LA MADERA DEL COCOTERO.**

ENSAYO	MADERA	
	ENCINO 0.80 g/cm ³	P. DE COCO 0.80 g/cm ³
COMP.LONG. MOD.ELAST.	N/mm ² 73.6 17364.2	N/mm ² 73.94 14687.82
FLEXION MOD.ELAST.	138.6 16368.7	102.71 12898.08
DUREZA LONG.	71.0	72.0
DUREZA PERP.	62.0	62.36
CIZALLAMIENTO	12.9	13.13

**TABLA.22. COMPARACION DE LA MADERA DE PINO
 CON RESPECTO A LA MADERA DEL COCOTERO**

ENSAYO	MADERA	
	PINO 0.60 g/cm ³	P. DE COCO 0.60 g/cm ³
COMP.LONG. MOD.ELAST.	N/mm ² 48.42 19102	N/mm ² 39.08 7926.01
FLEXION MOD.ELAST.	88.7 10410	44.24 6837.02
DUREZA LONG.	41.0	36.31
DUREZA PERP.	20	19.85
CIZALLAMIENTO	11.3	7.28

**TABLA.23. COMPARACION DE LA MADERA DE HABILLO
CON RESPECTO A LA MADERA DEL COCOTERO**

ENSAYO	MADERA	
	HABILLO 0.60 g/cm ³	P. DE COCO 0.60 g/cm ³
COMP.LONG. MOD.ELAST.	N/mm ² 48.0 10749.2	N/mm ² 60.51 10179.95
FLEXION MOD.ELAST.	93.8 97703	60.73 8857.39
DUREZA LONG.	40.7	47.53
DUREZA PERP.	28.4	28.87
CIZALLAMIENTO	13.3	9.30

**TABLA.24. COMPARACION DE LA MADERA DE PAROTA
CON RESPECTO A LA MADERA DEL COCOTERO**

ENSAYO	MADERA	
	PAROTA 0.40 g/cm ³	P. DE COCO 0.40 g/cm ³
COMP.LONG. MOD.ELAST.	N/mm ² 23.7 5026.9	N/mm ² 27.66 5672.08
FLEXION MOD.ELAST.	44.4 4527.8	30.74 4816.67
DUREZA LONG.	26.6	23.09
DUREZA PERP.	16	12.1
CIZALLAMIENTO	6.1	6.27

Como se aprecia en las tablas anteriormente mostradas, en algunas propiedades, la palma queda por debajo con respecto de la madera de uso común; esto es, debido a la gran cantidad de parenquima entre haces fibrosos que posee la palma de coco, que en contraposición de la madera de uso común, la proporción fibra-parenquima es en menor grado, dando por lo tanto, una mayor adhesión entre fibras y por consecuencia, una mejor resistencia; Otro de los factores que influyen en las propiedades, es la gran variabilidad de longitud del haz fibroso existente en la palma de coco, que en comparación de la madera común se encuentra una mayor cantidad de fibras tendientes a conservar una misma longitud.

Por otra parte, uno de los factores que influye determinantemente en la resistencia de la palma es la edad de la misma, observandose que a menor edad (< 30 años) las paredes de las fibras son más delgadas que en comparación de una palma adulta (>40 años), por lo que los resultados obtenidos fueron de palmas que se podrían considerar como intermedias.

Sin embargo, la versatilidad de la palma nos permite seleccionar madera que por sus propiedades de resistencia, se les asignaría un campo específico de acción.

Dada la gran variación de densidad que posee la palma de coco y por ende, sus resistencias, es necesario establecer su campo de acción de esta madera; Para ello PADT-REFORT(1982) dan a conocer el uso según densidades para madera de construcción no estructural.

1.12 a 0.80 g/cm³

Generalmente se les usa como pisos (entablado, parquetaria, machihembrado, etc.) como pasos de escalera, elementos torneados (balaustrada, baranda y pasamanos) y en forma de láminas como enchapes.

0.88 a 0.72 g/cm³

Usadas generalmente en carpintería de obra como marcos de puertas y ventanas, como forro para cielos rasos, paredes; Como moduras de barandas y pasamanos, tapamarcos, rodones, zócalos y contrazócalos.

0.72 a 0.40 g/cm³

Son las maderas denominadas de utilidad general, pues pueden ser utilizadas también como madera de carpintería, mueblería, decorativas, etc.

Por lo que respecta a madera de uso estructural la madera de palma de coco con densidades mayores de 0.65 g/cm³ pueden considerarse como aptas.

VI. CONCLUSIONES

Del estudio realizado en este material se concluye lo siguiente:

- La palma de coco es un material altamente heterogeneo tanto en altura como ancho del fuste.
- Existe una alta correlación entre la densidad de la palma con respecto a la resistencia y al módulo de elasticidad, por lo que se recomienda clasificar la madera de acuerdo a su respectiva densidad para asignarle un campo específico de acción.
- La edad de la palma es un factor preponderante que influye en su resistencia.
- Es factible una incorporación de este material a la industria mueblera y de la construcción, mediante una implementación adecuada de maquinaria para su explotación.
- Obviamente la palma de coco es un material que en estos momentos en México no podrá ser competitivo con las maderas comunes, sin embargo, es un material con un amplio campo de acción, que por la cantidad de sus plantaciones y la continuidad de éstas, nos permiten un rendimiento sostenido de este vegetal.

VII. RESUMEN

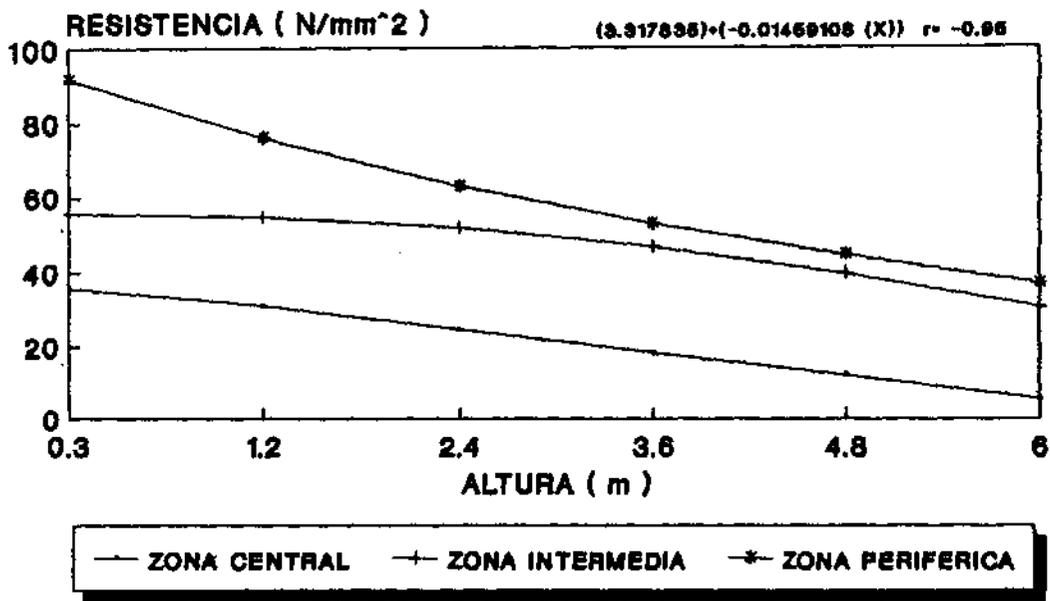
En el presente trabajo se realizaron ensayos físico-mecánicos de la madera de palma de coco (Cocos nucifera L.) encontrándose una alta variación en densidad a lo largo y ancho del fuste ($0.17 - 0.71 \text{ g/cm}^3$), y como consecuencia una alta heterogeneidad en la resistencia de ésta madera (llegando a tener hasta 91.41 % de coeficiente de variación), la cual está estrechamente ligada con su densidad. Se realizan ecuaciones de correlación ($r > 0.90$) y regresión donde se determina la densidad contra la resistencia y la densidad contra el módulo de elasticidad. Se efectúa una comparación entre las maderas de uso común (encino, pino, habillo, parota) con respecto a la madera de palma de coco, recomendando densidades mayores de 0.60 g/cm^3 para usos estructurales, y densidades menores 0.60 g/cm^3 para usos en los cuales no se someta a la madera de la palma a esfuerzos mecánicos altos.

PALMA DE COCO FLEXION

$$(15.14184) + (-1.422697 (X)) \quad r = -0.94$$

$$(9.714489) + (-2.037666 (X^{0.5})) \quad r = -0.98$$

$$(3.917895) + (-0.01459108 (X)) \quad r = -0.96$$



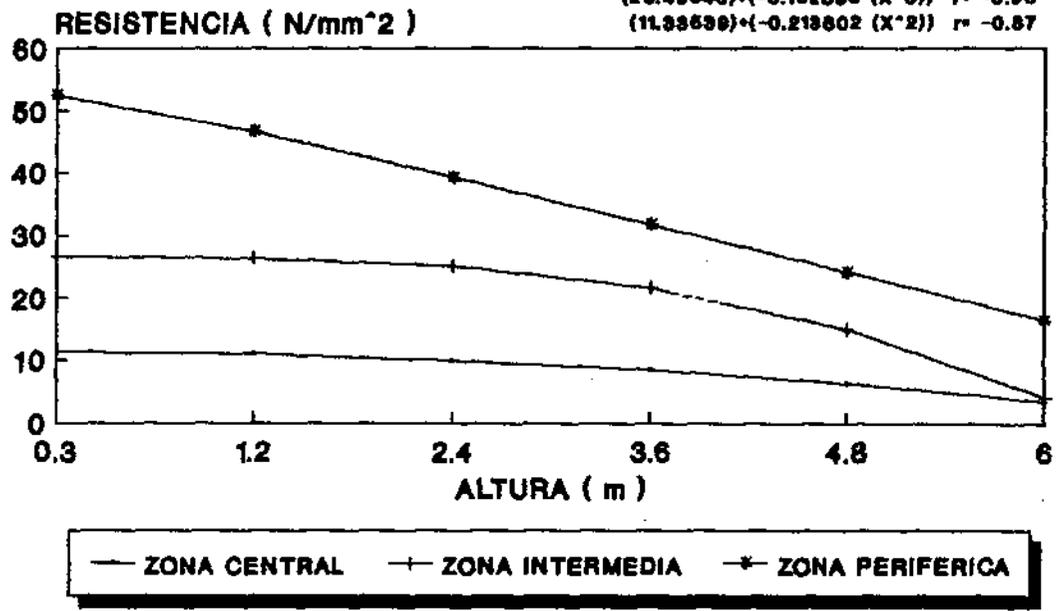
GRAFICA.4.- COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL SOMETERSE AL ENSAYO DE FLEXION

PALMA DE COCO TENSION

$$(54.37142) + (-8.268772 (X)) \quad r = -0.96$$

$$(26.49646) + (-0.102896 (X^3)) \quad r = -0.90$$

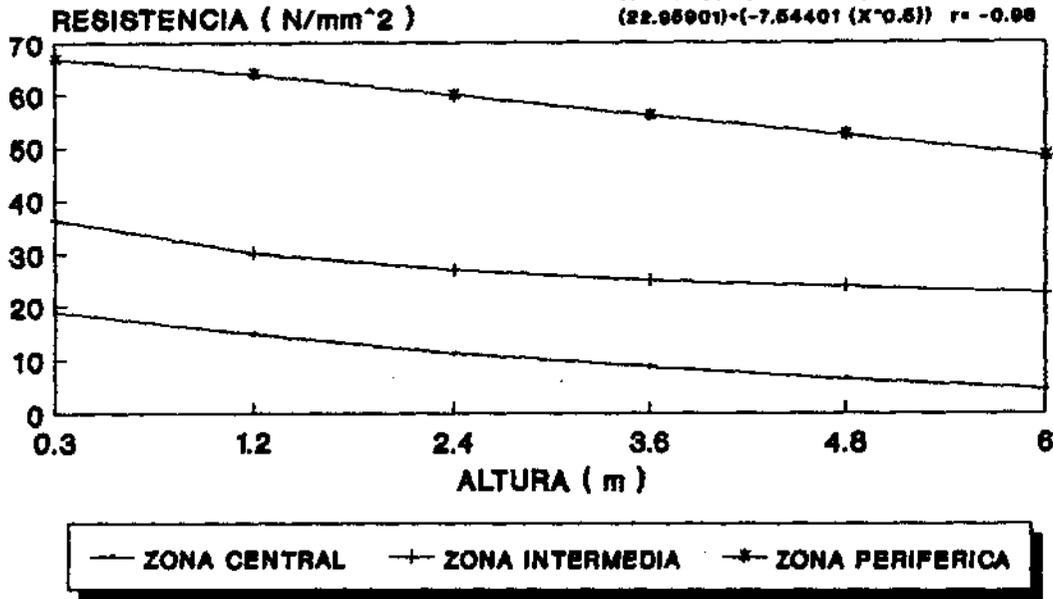
$$(11.93659) + (-0.213602 (X^2)) \quad r = -0.87$$



GRAFICA.5. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL SOMETERSE AL ENSAYO DE TENSION

PALMA DE COCO DUREZA PARALELA

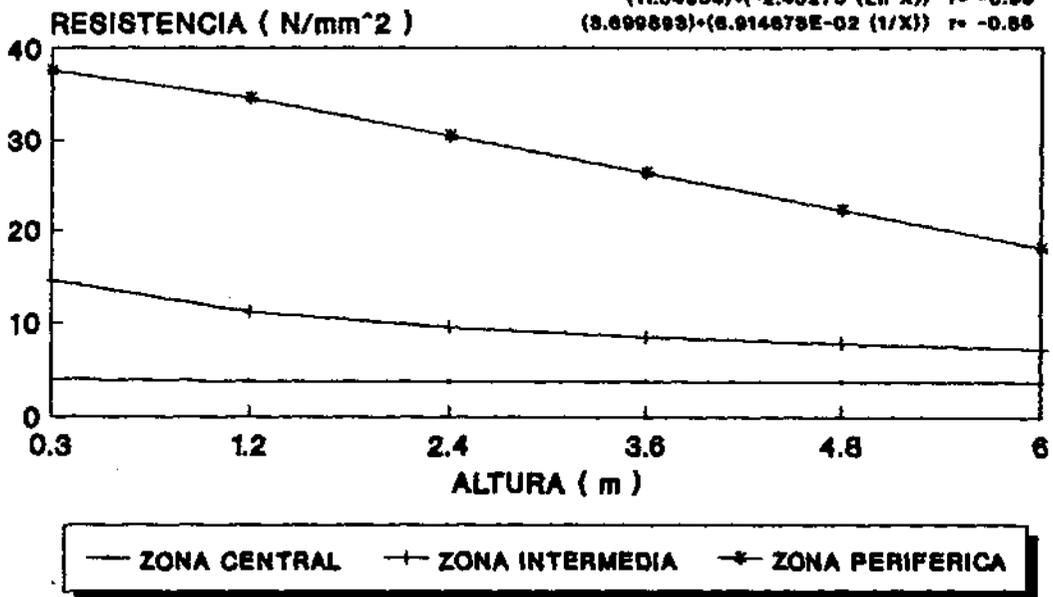
$(87.84476)+(-3.284513 (X))$ $r = -0.98$
 $(30.79539)+(-4.58522 (\ln X))$ $r = -0.94$
 $(22.95901)+(-7.54401 (X^{-0.5}))$ $r = -0.98$



GRAFICA.6. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL SOMETERSE AL ENSAYO DE DUREZA

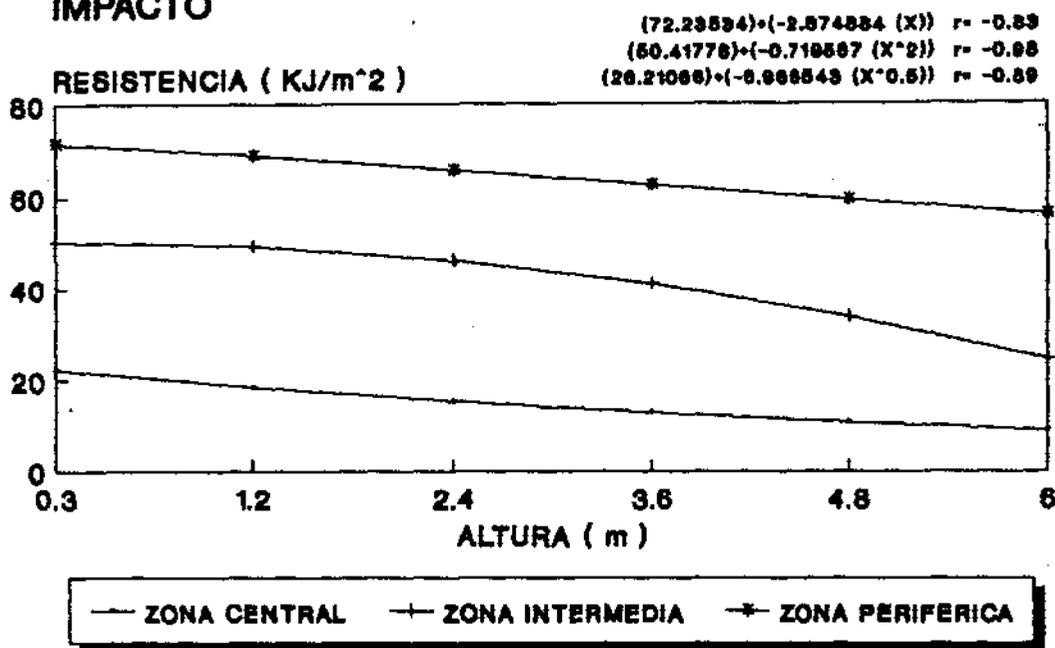
PALMA DE COCO DUREZA PERPENDICULAR

$(38.58751)+(-3.404108 (X))$ $r = -0.98$
 $(11.04954)+(-2.48275 (\ln X))$ $r = -0.99$
 $(3.699593)+(-8.914678E-02 (1/X))$ $r = -0.95$



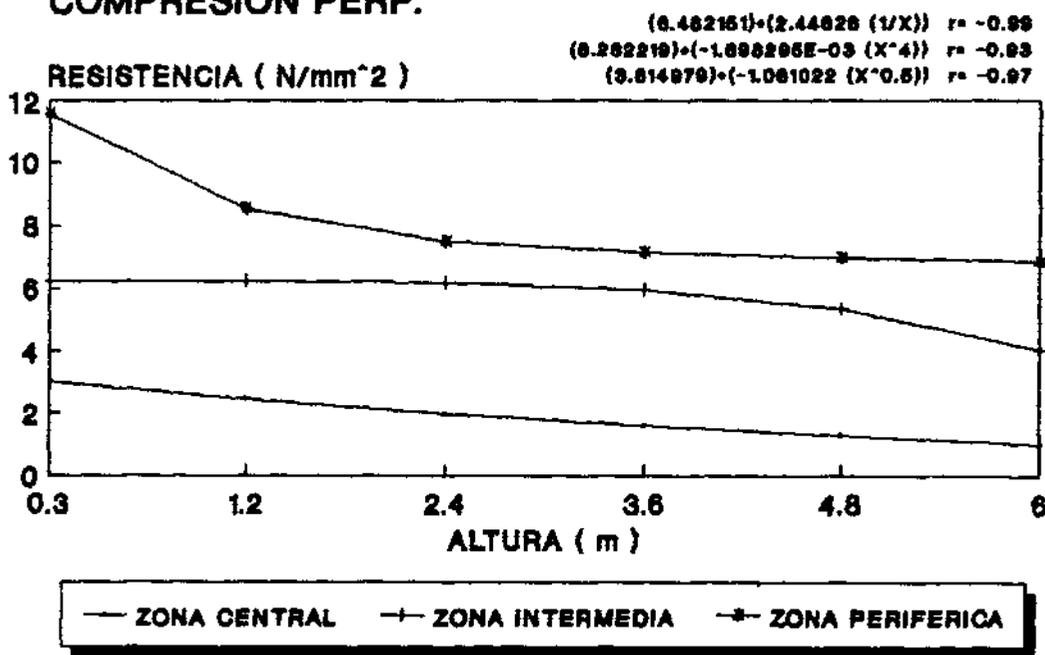
GRAFICA.7. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL SOMETERSE AL ENSAYO DE DUREZA

PALMA DE COCO IMPACTO



GRAFICA.8. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL SOMETERSE AL ENSAYO DE IMPACTO

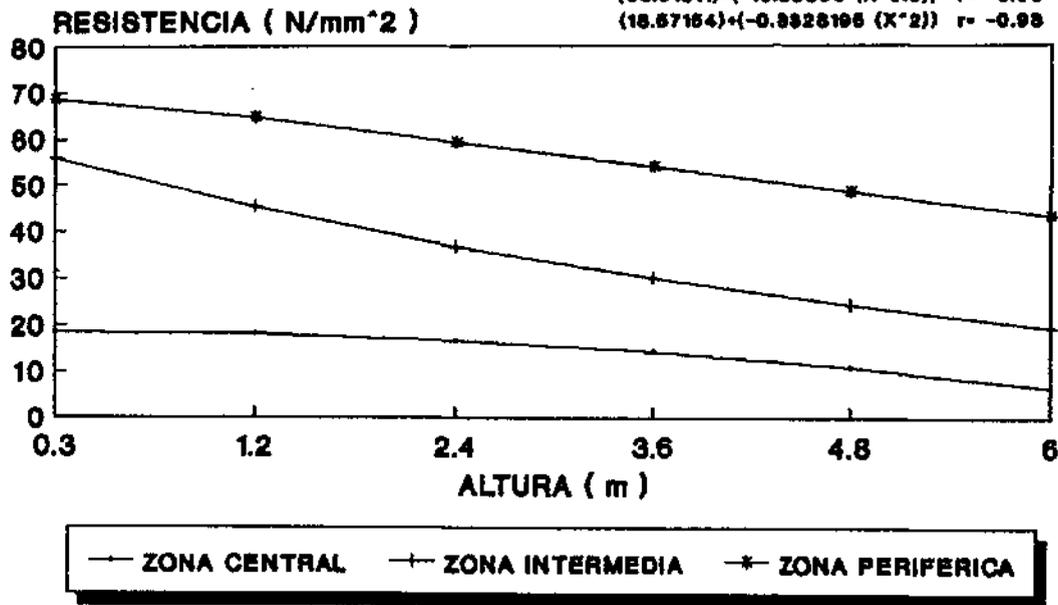
PALMA DE COCO COMPRESION PERP.



GRAFICA.9. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL ENSAYO DE COMPRESION

PALMA DE COCO COMPRESION LONG.

$$(70.10328)+(-4.528945 (X)) \quad r = -0.96$$
$$(68.51911)+(-19.28886 (X^{0.5})) \quad r = -0.93$$
$$(18.57164)+(-0.9328195 (X^2)) \quad r = -0.98$$



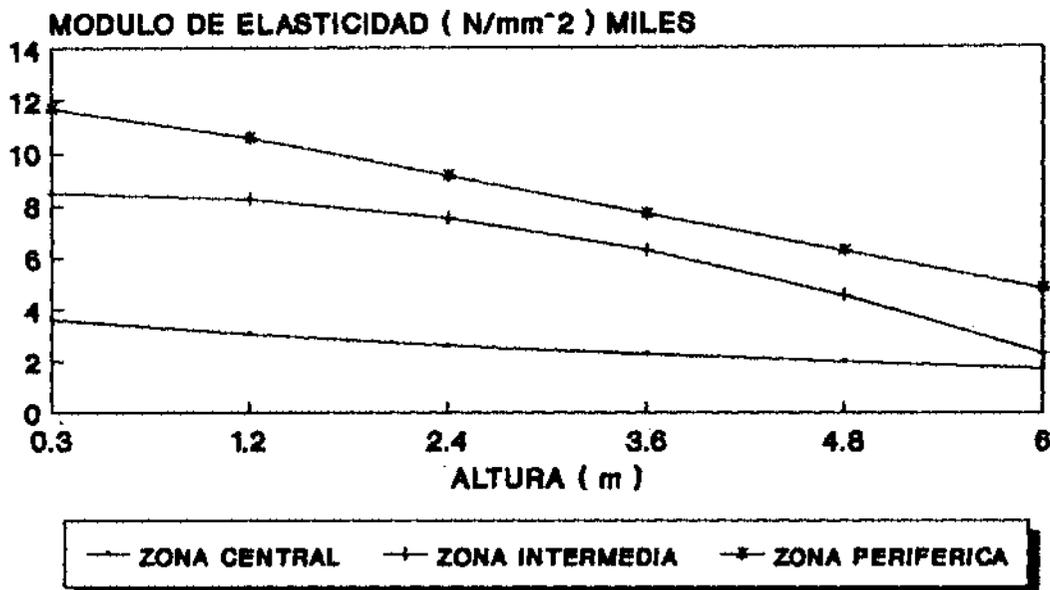
GRAFICA.10. COMPORTAMIENTO DE LAS
DIFERENTES ZONAS A DISTINTOS RANGOS DE
ALTURA AL ENSAYO DE COMPRESION

PALMA DE COCO TENSION

$$(12039.97) + (-1205.826 (X)) \quad r = -0.96$$

$$(6517.905) + (-172.9077 (X^2)) \quad r = -0.98$$

$$(4195.542) + (-985.9549 (X^{0.5})) \quad r = -0.98$$



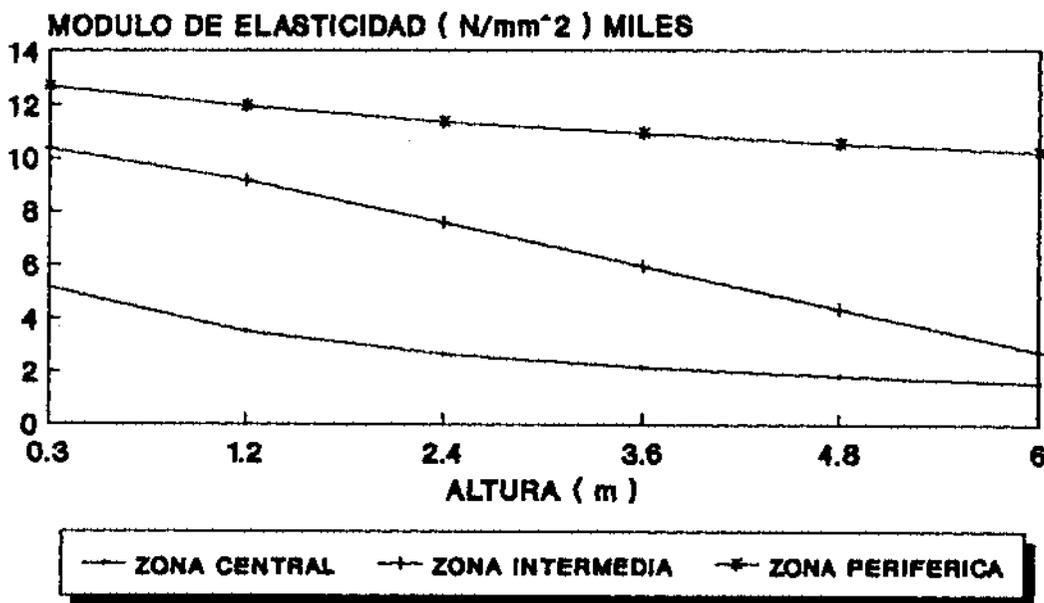
GRAFICA.12. TENDENCIA DE LAS DISTINTAS ZONAS A DIFERENTES RANGOS DE ALTURA AL EVALUAR EL MODULO DE ELASTICIDAD

PALMA DE COCO FLEXION

$$(19360.4) + (-1802.844 (X^{0.5})) \quad r = -0.96$$

$$(10792.86) + (-1899.018 (X)) \quad r = -0.92$$

$$(3719.21) + (-1219.289 (Ln X)) \quad r = -0.98$$



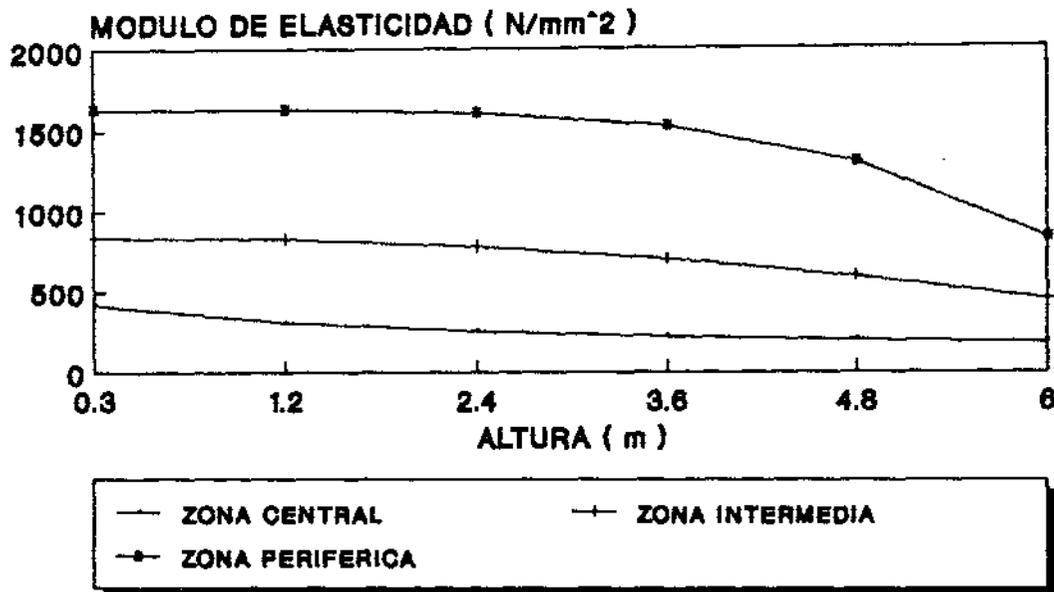
GRAFICA.13. TENDENCIA DE LAS DISTINTAS ZONAS A DIFERENTES RANGOS DE ALTURA AL EVALUAR EL MODULO DE ELASTICIDAD

**PALMA DE COCO
COMPRESION PERP.**

$(1630.164) + (-0.8191266 (X^4)) \quad r = -0.84$

$(848.6469) + (-11.00711 (X^2)) \quad r = -0.98$

$(325.1775) + (-81.06666 (\ln X)) \quad r = -0.98$



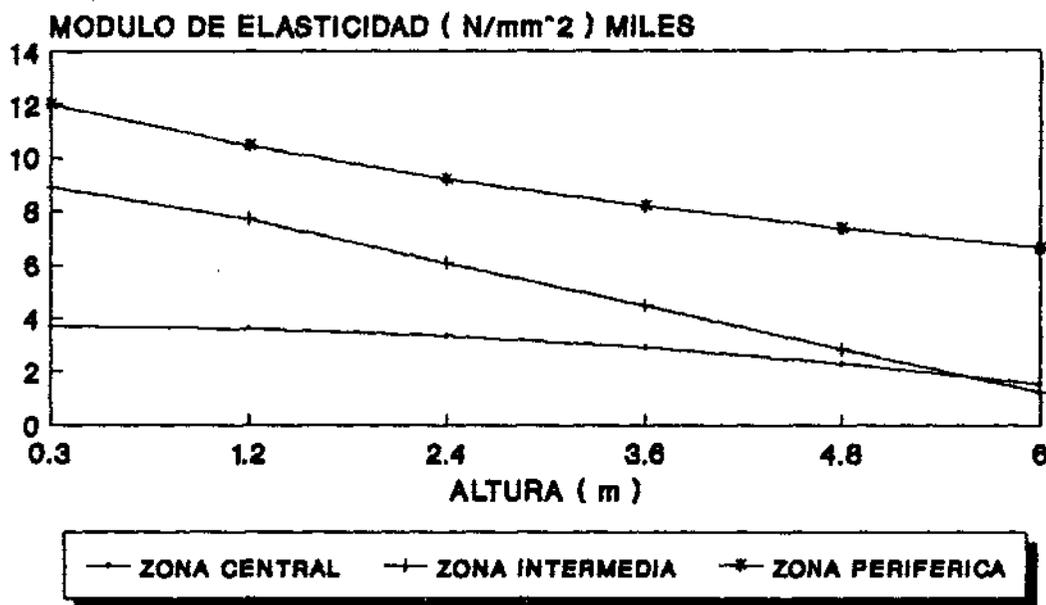
GRAFICA.14. TENDENCIA DE LAS DISTINTAS ZONAS A DIFERENTES RANGOS DE ALTURA AL EVALUAR EL MODULO DE ELASTICIDAD

**PALMA DE COCO
COMPRESION LONG.**

$(13578.57) + (-2648.55 (X^{0.5})) \quad r = -0.89$

$(9901.439) + (-1942.6 (X)) \quad r = -0.95$

$(3581.801) + (-59.48233 (X^2)) \quad r = -0.94$



GRAFICA.15. TENDENCIA DE LAS DISTINTAS ZONAS A DIFERENTES RANGOS DE ALTURA AL EVALUAR EL MODULO DE ELASTICIDAD

VIII. BIBLIOGRAFIA

Arias B,E.
"Uso integral del cocotero (Cocos nucifera) y su Cultivo en Tecomán, Colima.
Tesis Profesional de la Escuela de Agricultura
Universidad de Guadalajara
1981

Cartas de CETENAL
E13-2-5
E13-3

CNIDS Camara Nacional de la Industria Derivada de la Silvicultura.
memoria económica
(1987-1988)

Deutsche Internatiolen Normen (Holznormen)
- 68763
- 52183
- 52186
- 52188
- 52187
- 52181 hoja 1
- 52189
- 50014

Espiloy B,E.
"Coconut trunk for power and telecommunication poles"
FORPRIDE DIGEST, Vol: VII No.1
January-March
Philippines
1978

Fuentes T,F.J., Montes R,E., Rodriguez A,R.
"Características y posible utilización del fuste de la palma de coco"
Tiempos de ciencia 8 pag.23-36
Julio-Septiembre
Revista de difusión científica
Universidad de Guadalajara
1987

Fuentes T,F.J., Montes R,E., Samano,L.S., Garcia,E.
"La fibra de la estopa de coco, usos actuales y posibilidades de utilización en aglomerados"
Amatl Boletín de difusión Vol.11 No 4 pag.2-6
Oct-Dic.
Universidad de Guadalajara
1988

Fuentes T,F.J., Montes R,E., Rodriguez A,R.
"Estudio sobre el comportamiento del encino a ensayos de flexión, compresión y tensión, variando el ángulo de aplicación de la carga"
Amatl Boletín de difusión Vol.11 No 2 pag.1-8
Abril-Junio
Universidad de Guadalajara
1988

Gomez D,R.
"La copra su importancia y problematica en México"
Boletín informativo 17
FIRA
1985

Killmann,W.
"Some physical properties of the coconut palm stem"
Institut für Holzbiologie und Holzschutz der Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Hamburg.
Wood Science an Technology. 17:167-185
Springer-Verlag
1983

Laxamana G,M., Tamayo Y,G.
"Drying characteristics of coconut lumber"
Forest Products Research and Industries Development commission
NSDB Technology Journal
July-Sept.
1978

Montes
"La madera de coco"
Estudio FAO # 57
Roma
1986

Mosteiro P,A., Casin F,R., Siriban R,F.
"The preservative treatment of coconut (Cocos nucifera L.) palm timber for electric power and telecommunications poles"
Forest Products Research & Industries Development Commission
NSDB Technology Journal
Jan-Mar.
1976

Mosteiro P,A.

"Utilization of coconut palm timber its economic significance in some countries in the tropics"

Forest Products Research and Industries Development Commission, National Science Development Board, College.

FORPRIDE DIGEST, Vol. VII No 1

January-March

Philippines

1978

Mosteiro P,A.

"Utilization of coconut lumber for furniture manufacture (classroom chairs)"

FPRDI Journal Vol XII No 1, 2

January-June

1983

Ohler G,J.

"El cocotero el árbol de la vida"

Estudio FAO producción y protección vegetal 57, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Roma

1986

PADT-REFORT

"Manual de diseño para maderas del grupo andino"

Junta del acuerdo de Cartagena

Lima,Peru.

1982

Perez G,V.A.

"Manual de Construcciones de madera"

Departamento de Construcciones en Madera

Manual No 10

Instituto Forestal

Concepción, Chile.

1978

Perez G,V.A.

"Manual de Construcciones de madera"

Departamento de Construcciones en Madera

Manual No 13

Instituto Forestal

Concepción, Chile.

1983

Robles S,R.

"Produccion de oleaginosas y textiles"

ed.Limusa

México

1982

Rodriguez A,R., Fuentes T,F.J., Montes R,E.
"El uso de secadores solares en la industria de la madera"
En redacción
Amatl boletín de difusión
Universidad de Guadalajara
1989

Silva G,J.A.
"Determinación de algunas características anatómicas y propiedades tecnológicas del fuste de palma de coco (Cocos nucifera L.)"
Tesis profesional Escuela de Ingenieros en Tecnología de la Madera.
Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo
1989

Sotomayor C,J.R.
"Calidad de la madera para la industria de la construcción"
Intituto Regional de Investigaciones de la construcción del Estado de Michoacan, a.c.
Morelia, Michoacan.
1987

Tamolang N,F.
"The utilization of coconut palm & other parts in the Philippines"
NSDB Technology Journal Vol I No 2
April-June
Philippines
1976