



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DETERMINACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MANGO Y AGUACATE**

CARLOS ALBERTO ALDANA ALBANÉS
ASESORADO POR ING. HUGO ROLANDO BOSQUE M.

Guatemala, agosto de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MANGO Y AGUACATE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ALBERTO ALDANA ALBANÉS

ASESORADO POR ING. HUGO ROLANDO BOSQUE M.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

Guatemala, agosto de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
VOCAL I	ING. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
VOCAL II	LIC. AMAHÁN SÁNCHEZ ÁLVAREZ
VOCAL III	ING. JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	BR. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ
VOCAL V	BR. ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIO	ING. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
EXAMINADOR	ING. JOSÉ GABRIEL ORDÓÑEZ MORALES
EXAMINADORA	ING. JOSÉ GABRIEL MONTENEGRO P.
EXAMINADOR	ING. LIONEL BARILLAS ROMILLO
SECRETARIO	ING. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MANGO Y AGUACATE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 07 de noviembre de 2002.

Carlos Alberto Aldana Albanés

DEDICATORIA

A Dios	Nuestro padre eterno, por la sabiduría que me otorgó para poder realizar este trabajo.
Mis padres Carlos y Dalila	Por su cariño, sabios consejos y cuidados que hacen la persona que hoy soy.
Mi hermana Valesca	Que me apoya y confía en mí.
Mi abuelita Victoria de Albanés (mamá Toya)	Por su amor incondicional.
A la memoria de mis abuelos Nicolás Albanés (Tata) Carlos Aldana (papá Beto) Alicia de Aldana	Por el amor que me dieron y lo orgullo que me siento al saber que soy y seguiré siendo parte de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero Hugo Rolando Bosque	Por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo.
A mis amigos, Rolando Ríos, Jorge González Carlos Pinto	Por brindarme su amistad en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVI
HIPÓTESIS	XVIII
JUSTIFICACIÓN	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
1. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE LAS DOS ESPECIES DE MADERA	1
1.1. Descripción general de cada una de las especies	1
1.1.1. Historia y genética del aguacate	2
1.1.1.1. Datos generales	2
1.1.1.2. Taxonomía, especies del género Persea.	3
1.1.2. Descripción anatómica de la madera del aguacate criollo (Persea Americana Mill).	4
1.1.3. Historia y genética del mango.	7
1.1.3.1. Datos generales	8
1.1.3.2. Origen del mango	11
1.1.3.3. Taxonomía, especies del género Mangífera.	11
1.2. Descripción general del área geográfica predominante para cada especie.	13

2.	TOMA DE MUESTRAS	15
2.1.	Descripción del sistema de recolección	15
2.1.1.	Identificación de la especie forestal.	15
2.1.2.	Selección y número de árboles.	15
2.1.3.	Selección y número de trozas.	16
2.1.4.	Marcado en el campo.	16
2.1.5.	Transporte de la madera.	17
3.	CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	19
3.1.	Almacenaje.	19
3.2.	Marcado y aserrado.	19
3.3.	Selección y disposición para los ensayos.	21
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	23
4.1.	Flexión estática.	23
4.1.1.	Descripción	23
4.1.2.	Procedimiento	24
4.1.3.	Contenido de humedad	28
4.1.4.	Tipos de fallas	29
4.1.5.	Equipo necesario en ensayos a flexión.	31
4.1.5.1.	Máquina universal	31
4.1.5.2.	Dispositivo de soporte.	31
4.1.5.3.	Aparato de aplicación de carga.	31
4.1.5.4.	Medidor de deflexión.	32
4.1.5.5.	Teodolito o Nivel	32
4.1.6.	Resultados	33
4.2.	Compresión paralela a la fibra.	35
4.2.1.	Descripción	35

4.2.2.	Procedimiento	36
4.2.3.	Contenido de humedad	37
4.2.4.	Tipos de fallas	38
4.2.5.	Equipo necesario para los ensayos a compresión paralela	39
4.2.5.1.	Máquina universal	40
4.2.5.2.	Dispositivo provisto de estribo	40
4.2.5.3.	Cronómetro y cinta métrica	40
4.2.6.	Resultados del ensayo	41
4.3.	Corte paralelo a la fibra	42
4.3.1.	Descripción	42
4.3.2.	Procedimiento	43
4.3.3.	Contenido de humedad	45
4.3.4.	Equipo usado en ensayos por corte	46
4.3.4.1.	Máquina universal	47
4.3.4.2.	Dispositivo provisto de estribo	47
4.3.4.3.	Cinta métrica	47
4.3.5.	Resultados.	48
4.4.	Peso específico y contracción volumétrica, radial y tangencial.	49
4.4.1.	Densidad de la madera	49
4.4.1.1.	Densidad de la madera verde con humedad mayor al 30%	50
4.4.1.2.	Densidad de la madera seca al horno	50
4.4.2.	Determinación de la contracción de la madera en los diferentes sentidos.	52
4.4.2.1.	Contracción radial	52
4.4.2.2.	Contracción tangencial	52
4.4.2.3.	Contracción longitudinal	52

4.4.2.4.	Contracción volumétrica	53
5.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MADERAS	55
5.1.	Esfuerzos de las maderas pino, mango y aguacate.	55
6.	USO DE LA MADERA PARA OBRA FALSA	59
6.1.	Formaletas	59
6.2.	Tirantes	60
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
7.1.	Resultados	61
7.2.	Discusión de resultados	62
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	BIBLIOGRAFÍA	74
	APÉNDICES	75
	ANEXOS	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Fruto del aguacate	6
2	Brote floral del aguacate	6
3	Fruto en corte del aguacate	7
4	Árbol en forma de cono	7
5	Flor del mango	9
6	Inflorescencia del mango	10
7	Fruto del mango	10
8	Árbol en forma de cúpula	11
9	Regiones de mayor productividad de aguacate	13
10	Regiones de mayor productividad de mango	14
11	Troza de madera	16
12	Proceso de aserrado y corte de probetas	20
13	Identificación de las probetas	21
14	Almacenamiento	22
15	Dimensiones probeta a flexión	24
16	Medición probetas a flexión	26
17	Colocación de probetas en máquina universal	26
18	Antes del ensayo a flexión	27
19	Durante el ensayo a flexión	27
20	Después del ensayo a flexión	28
21	Tipos de fallas a flexión	30

22	Aplicador de carga a flexión	32
23	Dimensiones probetas a compresión paralela	35
24	Probetas antes de ensayo a compresión paralela	35
25	Proceso del ensayo de compresión paralela.	36
26	Tipos de falla a compresión paralela	38
27	Dimensiones probetas a corte	42
28	Probetas antes del ensayo a corte	42
29	Medición probetas de ensayo a corte	43
30	Ensayo a corte vista frontal	44
31	Ensayo a corte vista posterior	44
32	Probetas después de ensayo a corte	45
33	Dimensiones probetas peso específico	51
34	Probetas para ensayos de peso específico y contracción volumétrica	53
35	Secado de la madera para ensayos de peso específico y contracción volumétrica	53
36	Gráfica esfuerzo deformación, madera aguacate	64
37	Gráfica esfuerzo deformación, madera mango	65
38	Gráfica esfuerzo deformación, madera de pino oocarpa	66
39	Gráficas esfuerzo deformación	83
40	Árboles de mango	85
41	Informe No. 1213-M flexión	86
42	Informe No. 1213-M compresión paralela	87
43	Informe No. 1213-M corte	88
44	Informe laboratorio 058-03	89

TABLAS

I	Las especies de aguacate existentes en Guatemala	4
II	Variedades de mangífera indica existentes en Guatemala	12
III	Dimensionamiento de probetas	20
IV	Porcentajes de humedad ensayos a flexión	29
V	Resultados de ensayos a flexión	33
VI	Esfuerzos básicos obtenidos a flexión	34
VII	Valores promedios obtenidos en los esfuerzos a flexión	34
VIII	Porcentajes de humedad ensayos a compresión paralela	37
IX	Resultados de ensayos a compresión paralela	41
X	Porcentajes de humedad ensayos a corte	46
XI	Resultados de ensayos a corte	48
XII	Tabla de contenido de propiedades mecánicas	55
XIII	Tabla de contenido de características físicas	56
XIV	Análisis comparativo de los esfuerzos de las maderas de pino, mango y aguacate	61
XV	Análisis comparativo de las maderas: pino, mango y aguacate	62
XVI	Resultados ensayos químicos	79
XVII	Resultados ensayos a flexión	80
XVIII	Resultados ensayos a corte	81
XIX	Resultados ensayos a compresión paralela	82
XX	Porcentajes de humedad ensayos a flexión	84

LISTA DE SÍMBOLOS

m.s.n.	=	metros sobre el nivel del mar.
Fig.	=	figura.
Δ	=	deformación.
ASTM	=	American Society for Testing and Materials.
Cm, cms	=	centímetro, centímetros.
M	=	metro.
μm	=	micrómetro.
mm^2	=	milímetros cuadrados.
cm^2	=	centímetros cuadrados.
%	=	porcentaje.
Fb	=	esfuerzo máximo a flexión.
P	=	carga última o máxima.
L	=	longitud libre.
Kg	=	kilogramo.
.b	=	ancho de probeta.
.h	=	largo de probeta.
E	=	módulo de elasticidad.
A	=	área de la sección.
S.I.	=	sistema internacional.

GLOSARIO

Alternativa	Acción o derecho para ejecutar alguna cosa o gozar de ella alternando con otra. Opción entre dos cosas entre las cuales se puede elegir o seleccionar las cuales tienen el mismo fin o uso.
Anarcadiáceas	Familia de plantas leñosas que alcanzan desarrollo arbustivo y están provistas de tubos resiníferos, comprende aproximadamente 500 especies, siendo una de ellas la mangífera (mango).
Anís	Planta anual de tallo ramoso, hojas casi redondas en su primera etapa, luego son laciniadas, con flores pequeñas y blancas; tiene semillas muy pequeñas de color verdoso muy aromáticas y de sabor agradable.
Bromuro de metilo	Sustancia que se utiliza para fumigar plantaciones, la cual se forma del ácido bromhídrico y el metilo, que a su vez se origina del metano.
Características organolépticas	Todas aquellas características que se pueden percibir por los sentidos.
Cenicero	Árbol de hasta 30 metros de altura y copa frondosa, abundante en la costa Sur y Petén, su nombre científico es pithecolubium saman.
Chichipate	Árbol de 20 metros de altura que se encuentra en la costa sur de Guatemala, del cual ya se realizó

estudio de sus características en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Chichiqué	Árbol de altura considerable y madera aprovechable que crece en algunas regiones de Guatemala.
Compresómetro	Aparato compuesto por dos sistemas, cada uno de ellos realiza una función diferente pero están relacionados. Mientras un sistema funciona por un compresor de aire para transformar esa energía en fuerza, el otro se encarga de medir la fuerza generada.
Conacaste	Árbol de altura considerable y madera aprovechable, cuya mayor resistencia es la dureza, crece en algunas regiones de Guatemala.
Copa	Conjunto de las ramas de un árbol con su follaje o sin él.
Cotiledones	Lóbulo carnoso o foliáceo inserto en el eje de la plántula, en la semilla de un fruto. Los frutos pueden tener uno o dos cotiledones, lo cual le da el nombre de monocotiledóneo o dicotiledóneo respectivamente.
Cuña	Pieza de madera o de metal terminada en un ángulo diedro, muy agudo que sirve para hender cuerpos sólidos, para ajustar uno con otro.
Danto	Nombre de un árbol, proveniente del ave del mismo nombre que suele habitar en él.
Delimitación	Acción de establecer los límites de algo que fue dividido, por medio de marcas y medidas.
Densidad	Cantidad de masa por unidad de volumen.
Devastadora Deforestación	La tala de árboles en Guatemala ha llegado a un nivel preocupante, por lo cual se considera que la deforestación es devastadora debido al alcance destructivo de la misma. Ésta es una de las razones

por las cuales se plantea la alternativa de uso de otros árboles para el uso en la construcción.

Domesticación	Habituar una planta, árbol o animal a vivir en un ambiente diferente a su hábitat original. Generalmente se usa este término para decir que se habitúa una especie a vivir en un domicilio o vivienda.
Ebanistería	Arte de darle forma a muebles y otras estructuras artísticas en madera.
Empíricamente	Que se obtuvo por experimentación, pero sin conocimientos científicos.
Ensayo	Término que se origina del latín <i>exagium</i> que significaba pesar y se aplica a un cuerpo sometido a etapas de experimentación de diversas áreas científicas, de las cuales se obtiene información propia del cuerpo en estudio.
Eriodaphne	Subgénero del persea que se diferencia porque persea tiene ambas caras pubescentes y heriodaphne tiene la cara interna sin pubescencia, esto implica que no está cubierto de un vello fino y suave.
Esfuerzos permisibles	Se hace referencia que al someter bajo cargas a estructuras de madera, se puede calcular los esfuerzos que presentan, sin embargo, se establecen los valores más cercanos a los ideales como parámetro comparativo, siendo alguna entidad específica la que establece las normas en las que figuran los esfuerzos mínimos que debe presentar la estructura para que se pueda dar determinado uso.
Especie patrón	De la misma forma que se establece los esfuerzos permisibles, se debe referir una especie de referencia a la que se denomina especie patrón.
Especies	Conjunto de cosas semejantes entre sí, por tener uno o varios caracteres comunes.

Extensión productiva	Área territorial en la que se puede desarrollar el proceso de cultivo de un producto agrícola, en determinada época.
Falla abrupta	Surge al someter un elemento de madera bajo una carga a flexión y este elemento no se deflecta en forma paulatina, sino que falla quebrándose o rajándose, perdiendo sus propiedades.
Fibra cruzada	La madera que tiene fibra alargada en ambos sentidos, tiene fibra cruzada.
Fibras	Son los elementos alargados y consistentes que tiene la madera.
Flujos vegetativos	Ciclos de crecimiento de la copa de los árboles.
Lagarto	Especie de árbol que crece en Petén.
Lauráceas	Familia de plantas dicotiledóneas, de flores regulares, generalmente trímeras, con fruto en baya. Son árboles con hojas persistentes y oleíferas. A ellas pertenecen los laureles, alcanforeros, canelos y aguacates.
Lona	Tela fuerte de algodón o cáñamo.
Lonchoicarpus Latifolius	Nombre científico del árbol medallo blanco.
Lupa	Lente convergente que a cierta posición focal permite ver a través de ella los objetos en mayor tamaño.
Macroscópicas	Que se ve a simple vista sin ayuda del microscopio.
Mangífera indica	Nombre científico del árbol del mango.
Máquina universal	Máquina de laboratorio que sirve para realizar la mayoría de ensayos para someter a cargas elementos estructurales de distintos materiales de construcción.

Mario	Árbol que abunda en la costa Sur y en Petén, su nombre científico es <i>Calophyllum Calaba</i> .
Materia orgánica	Toda aquella materia viva o muerta de origen animal o vegetal.
Micrómetro	Instrumento para la medición de distancias lineales o angulares muy pequeñas.
Microscópicas	Tan pequeño que no se puede ver sin ayuda del microscopio.
Mitigación	Acción de disminuir o suavizar algo.
Obra falsa	Estructura provisional que se construye para dar forma a la obra real, es efímera pero muy importante para determinar la resistencia posterior de la obra.
Paclobutrazol	Sustancia química que se utiliza para la inducción temprana de la floración en los árboles frutales.
Palo volador	Árbol estudiado en 1959 por Manuel Ramírez, tomando muestras de aserraderos.
Parámetro	Elemento de un conjunto numérico puesto en correspondencia con una familia de funciones. Este elemento sirve para ser base comparativa o de relación.
Pentaclorofenol	Sustancia química que se utiliza para tratar madera como medida de protección ante el ataque de los insectos.
Preliminar	Que sirve de preámbulo para tratar sólidamente una materia.
Prensa hidráulica	Aparato que consiste en utilizar la presión generada por un compresor de aire para producir una fuerza que se traslada a una prensa.
Probetas	Muestra de cualquier material, con determinadas dimensiones, que sirve para ensayarla y obtener las propiedades y características del material del que está hecha.

Propiedades	Atributo o cualidad propias de una cosa o persona.
Pudrición	Efecto de deterioro en la materia orgánica debido al oxígeno y las bacterias.
Rosáceo	De color parecido al de la rosa.
Salinidad	Grado de concentración salina.
Siempre verdes	Se le designa este nombre a aquellas plantas y árboles que siempre parecen tener el follaje o las hojas verdes, en cualquier época del año.
Tara	Es el peso del recipiente que contiene la materia que se pesa y el cual debe ser restado para obtener el peso de la materia solamente.
Taxonomía	Ciencia de la clasificación en historia natural.
Tensión astillada	Tipo de falla que se produce al someter una viga a esfuerzo por flexión estática, en el cual al quebrarse la madera se producen varias astillas cortadas en el sentido de la fibra horizontalmente.
Valores	Medida o magnitud numérica de alguna característica o propiedad de un objeto, elemento o sistema compuesto de varias cosas.
Vida útil	Período de tiempo durante el cual un material ejerce la función que se le ha destinado, presentando sus características y propiedades de utilidad en un estado aceptable o muy parecido a las que tenía al inicio.

RESUMEN

El análisis de las características físicas y propiedades mecánicas de las maderas de mango y aguacate es el objetivo principal del presente estudio. Por medio de los ensayos se podrá obtener la información necesaria para determinar si la propuesta de usar las maderas de mango y aguacate es apropiada o no.

Como se podrá observar a continuación en el desarrollo del informe se presenta las características y propiedades más importantes de las maderas de aguacate, mango y pino ocarpa, tomando el pino como referencia y factor comparativo. Luego de realizar los ensayos y el análisis comparativo, se concluye en que el uso es apropiado, basándose en la norma ASTM D-143, lo que representa un aprovechamiento de maderas frutales, lo cual repercutirá en que al sustituir las maderas forestales por este tipo de maderas, se reduce la tala de árboles en los bosques, siendo de gran beneficio para nuestro ecosistema.

OBJETIVOS

- **Generales**

1. Determinar las características físicas y propiedades mecánicas de la madera de mangífera indica (mango criollo) y Persea americana Mill (Aguacate criollo) para ser usada como obra falsa en construcción.
2. Documentar información de dichas especies frutales para el buen uso de éstas como maderas útiles en la construcción, estableciendo una alternativa de madera no tradicional y aprovechamiento de la misma.
3. Evitar en forma paulatina la deforestación de los bosques conformados por maderas tradicionales, conformados de pinos y cipreses, al presentar una alternativa de uso de otro tipo de madera que se pueda aprovechar, ya que existe en cantidad considerable por la explotación agrícola del fruto de los árboles de mango y aguacate.

- **Específicos**

1. Determinar las características físicas de las maderas del mango y del aguacate para su uso en construcción como obra falsa.
2. Determinar las propiedades mecánicas de las maderas mango y aguacate para su uso en construcción como obra falsa.
3. Evidenciar los esfuerzos básicos y llegar así a establecer los esfuerzos permisibles de trabajo para las maderas en estudio para su uso en construcción como obra falsa.

HIPÓTESIS

Se desea presentar los resultados del estudio de las características físicas y propiedades mecánicas básicas de las especies ya mencionadas y que hasta hoy son desconocidas en lo que se refiere a su uso en construcción en el ámbito nacional y en sus regiones de origen, tienen un uso muy activo por parte de los habitantes, el primero como árbol frutal y luego al terminar su vida útil, éstos son utilizados como madera de obra falsa en los trabajos de construcción.

Al obtener los resultados de las propiedades anteriormente mencionadas, se hará comparación con los valores de las propiedades de madera de un árbol como parámetro, en nuestro caso con el pino más aserrado en Guatemala (*pinus oocarpa*), para establecer similitudes y concluir en la conveniencia del uso de las especies en estudio como madera para obra falsa y/o para otros usos.

JUSTIFICACIÓN

Se han realizado estudios de diversas especies de árboles maderables en Guatemala, para determinar sus características físicas y propiedades mecánicas, comparándolas con una especie patrón: el pino. Sin embargo, es importante considerar el estudio de especies de árboles frutales como alternativa de uso para obra falsa, ya que, sus propiedades mecánicas pueden ser comparadas con las de algunas especies meramente maderables. Para el presente estudio tratamos dos especies cuya producción es alta debido a la explotación de sus frutos: el persea americana mill (aguacate criollo) y el mangifera indica (mango criollo). Ambas especies se producen en el territorio nacional teniendo una amplia cobertura agrícola, sin embargo, el mayor aprovechamiento de las mismas es el uso de leña, lo cual viene a contaminar el ambiente y al mismo tiempo se le da mayor uso en obra falsa al pino y al ciprés, lo cual concluye en una devastadora deforestación en el ámbito nacional.

Es muy importante considerar los árboles frutales que presentan características positivas para el empleo de obra falsa en construcción ya que aparte de ser usada como leña, muchas veces es dejada a su degradación por el medio ambiente (pudrición) sobre todo en áreas húmedas y cálidas como las costas, pudiendo obtenerse beneficios de ellas, como el uso que en general se plantea en el presente estudio.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con una gran diversidad de flora, en la actualidad se utilizan aproximadamente 100 especies de maderas. La utilización de madera en el ramo de la construcción puede emplearse en trabajos de obra falsa, elementos estructurales, elaboración de muebles, etc. Éstos pueden ser los usos más comunes para lo cual este material se puede aprovechar. Surge la necesidad de continuar con las investigaciones sobre especies madereras nativas de nuestro país, de las cuales, solo de unas pocas se conocen las propiedades que las gobiernan y son utilizadas como material útil en la ingeniería. Éste es el principal inductor para realizar dichos estudios, esperando con ellos contribuir a la mitigación parcial de dicho problema.

La importancia de un estudio de esta naturaleza se ve en el hecho que un profesional en su campo nunca trabaja a ciegas, pues él es responsable de la calidad y comportamiento de lo que produce. De ahí que cuando de la madera se hace un uso estructural se necesite conocer siempre detalles de resistencia y propiedades físicas para guardar una seguridad indispensable que evite riesgos y tragedias innecesarias.

En esta oportunidad y como contribución al fin que se persigue, se escogió para el presente estudio, al mango y al aguacate, maderas que constituyen buena parte de nuestros suelos. Del árbol del mango (*mangifera indica*) y del aguacate (*persea americana mill*) en su período de vida útil son explotados sus frutos para poder ser comercializados, mientras que la madera aún no es totalmente utilizada, pudiendo ser ésta la fuente de materia prima para la construcción de obra falsa en toda construcción de obra civil.

1. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE LAS DOS ESPECIES DE MADERA

Siendo nuestro país tan rico en su flora, se determinó la selección de las dos especies en estudio debido a la abundancia de éstas y a la escasa información tecnológica que existe. Se establece como punto de partida para estudiar, la madera del aguacate criollo (persea americana Mill), ya que en Guatemala hay 11 especies diferentes de persea, de los cuales el americana Mill es el que presenta mayor longitud en su tallo y el ancho considerable del mismo. En el caso de la madera del mango se determinó estudiar la especie por su extensión productiva, para aprovechar al máximo los recursos, debido a que cada vez se extiende más el área de producción en Guatemala.

1.1. Descripción general de cada una de las especies

Para tener mayor conocimiento de cada una de las especies en estudio presento a continuación un resumen de la historia, características y descripción de las mismas.

1.1.1. Historia y genética del aguacate

El aguacate se originó en las partes altas de México y Guatemala. Esta región, incluida en lo que se conoce como Meso América, es también considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. Existe evidencia de la domesticación de éste y otros frutos durante el período Clásico Maya, lo cual está sustentado por restos de planta en el contexto arqueológico y lingüístico que le da validez.

El aguacate era bien conocido por el hombre desde hace milenios; la evidencia más antigua de su consumo se encontró en una cueva de Coxcatlán, región de Tehuacan, Puebla, México y data de 7,000 – 8,000 A.C. Las culturas antiguas también contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y sus variantes, como se encuentra en los códices mayas.

Después de la conquista, los colonizadores llevaron el aguacate a España en el año 1600 D.C. y posteriormente empezó su distribución en el ámbito mundial. El aguacate se introdujo a Chile en 1850, a Sudáfrica en 1904 y a Israel en 1931.

1.1.1.1. Datos generales

Nombre botánico: persea americana mill.

Otros nombres: palta (Perú), cura (Venezuela), pagua (Cuba y Costa Rica).

Familia: lauráceas.

Descripción: Es un árbol que puede alcanzar una altura mayor de 20 metros. Las hojas son enteras, brillosas y de 15 centímetros de largo. Las flores son bisexuales de 1 cm. El fruto mide de 7 – 20 cms. de largo y de 7-10 CMS. de diámetro, de forma redonda oval, conteniendo una semilla grande en el centro.

Usos: En su área de origen el fruto del aguacate es un alimento base.

Clima y suelos: crece entre 500 y 2000 msn, aunque la mayoría se cultiva entre 900 y 1500 msn. Tolera heladas hasta – 5 grados Celsius y una temperatura anual promedio de 20 grados Celsius. Son adaptados al clima cálido húmedo, pero no debe estar expuesto a fuertes vientos. El aguacate es tolerante a amplia variedad de suelos, desde arenosos hasta arcillosos compactos. El mejor es un suelo franco, bien drenado, ligeramente ácido, rico en materia orgánica. No prospera en suelos pesados y mal drenados.

1.1.1.2. Taxonomía, especies del género persea

El aguacate pertenece al género *Persea* de la familia Lauraceae; en la actualidad este género contiene alrededor de 85 especies; la mayoría se encuentran desde el sur de Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*). Con excepciones *Persea indica* que se encuentra en las islas Canarias (España) y otras del sur de Asia cuya inclusión en el género *Persea* no está definida.

El género *Persea* se divide en dos subgéneros: *Persea* y *Heriodaphne*, diferenciables por la subescencia de la cara interior de los sépalos; *Persea* tiene ambas caras pubescentes y en *Eriodhapne* la cara interna es sin pubescencia, con la excepción de *Persea pallida*, *Persea rigens* y *Persea cinerascens*.

El aguacate *Persea americana* mill pertenece al subgénero *Persea* que se reconoce como el de los verdaderos aguacates y que son de un tamaño mayor a los del otro subgénero; además del aguacate se encuentran en este grupo: *Persea nubigena* (aguacate de monte), *Persea steyermarkii* (aguacate de montaña), *Persea schideana* (chinini, chinene, chenene, yas, hib), *Persea Floccosa* (aguacate cimarrón).

Tabla I. Las especies de aguacate existentes en Guatemala

<u>Persea</u>	<u>Eriodhapne</u>
Persea nubigena	Persea rigens
Persea steyermarkii	Persea standleyi
Persea tolimanesis	Persea sessilis
Persea zentmyerii	Persea vesticula
Persea schiedeana	Persea donnell-smithii
Persea americana Mill	

Fuente: El aguacate y su manejo integrado, Mundi Prensa México, s.a. de c.v. 1era. Edición, 2000. Pág. 24

1.1.2. Descripción anatómica de la madera del aguacate criollo (*persea americana* mill).

Características organolépticas: Madera de color castaño rosáceo claro, el olor y el sabor no se perciben, tiene veteado suave a moderadamente pronunciado en las caras radiales, textura mediana, hilo recto a ondulado y brillo alto plateado.

Las zonas de crecimiento no están bien definidas, aún cuando al microscopio se observa cierta delimitación, por la presencia de una hilera de poros ligeramente más pequeños, así como por la mayor densidad de fibras de menor diámetro. El árbol del aguacate puede alcanzar a medir hasta 20 metros de altura, pero en promedio mide de 10 a 12 metros.

Características macroscópicas y microscópicas: Poros visibles con lupa, medianos con diámetro promedio de 120.4 μm (50 –180 μm) y moderadamente numerosos, con un número promedio de 19.86 poros/ mm^2 (16 – 29/ mm^2), son solitarios y múltiples radiales de 2 – 3 y escasos grupos de 3 – 4.

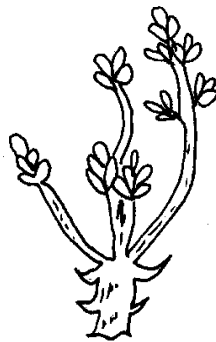
En Guatemala el *Persea americana* mill crece en clima subtropical, a una altura sobre el nivel del mar entre los 1,000 y 2,000 metros, tiene poca resistencia a la salinidad y resistencia intermedia al frío. Las hojas son de tamaño intermedio (10 a 15 cms.) color verde oscuro, sin olor a anís, su pubescencia es menor que en otras. Los brotes jóvenes en los tallos son de color rojizo y la corteza del tronco no es acanalada. El fruto es de tamaño intermedio, con cáscara gruesa quebradiza y rugosa, semilla adherida y cotiledones lisos, la cubierta de la semilla es delgada. Contenido de aceite es mediano.

Figura 1. Fruto del aguacate



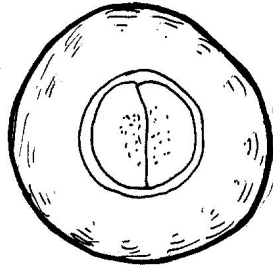
Fuente: **Memoria Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del aguacate**
U.M.S.N. Uruapan, Michoacán, México, Pág. 382

Figura 2. Brote floral del aguacate



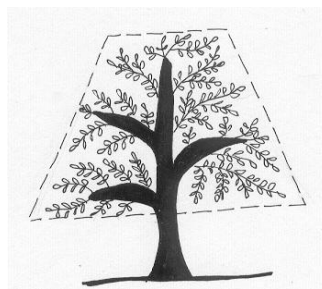
Fuente: **Memoria Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate**
U.M.S.N. Uruapan, Michoacán, México, Pág. 382

Figura 3. Fruto en corte del aguacate



Fuente: Floral development, sporogenesis and embryology in avocado, *Persea americana*. Botanical Gazette Pág. 113 (3)

Figura 4. Árbol en forma de cono



Fuente: Floral development, sporogenesis and embryology in avocado, *Persea americana*. Botanical Gazette Pág. 115 (3)

1.1.3. Historia y genética del mango

Desde 1970 hasta 1989 se había establecido en Guatemala alrededor de 1,768 hectáreas de mango. En tan solo siete años (1990 – 1996) se cultivaron 5,224 hectáreas, que representan un incremento casi del 200% con respecto a lo establecido en 20 años de historia de cultivo.

En 1987 se prohibió en Estados Unidos la importación de mango por rescindir del uso del fumigante Bromuro de Metilo, quedando en cuarentena esta fruta por el complejo de moscas. En 1988 por medio de la Gremial de Productos no Tradicionales se propone un proyecto de tratamiento hidrotérmico. En 1990 el MAGA promueve la siembra del cultivo por medio del programa MOSCAMED, Sección desarrollo frutícola. En 1991 se inician experimentos con Paclobutrazol, para la inducción temprana de la floración.

En 1993 se aprueba el tratamiento hidrotérmico y se abre nuevamente la exportación al mercado de EEUU. Varias empresas se dedican en la actualidad en Guatemala a la producción de la fruta en mención y se tiene expectativas a un crecimiento de áreas de producción de la misma.

1.1.3.1. Datos generales

Nombre botánico: mangífera indica

Familia: anarcardiáceas

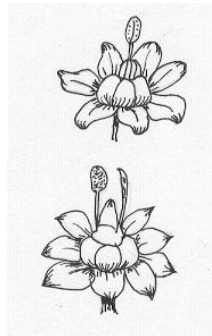
Descripción: Es un árbol que puede llegar a medir hasta 40 metros de altura con un tronco de 2.5 metros de diámetro, puede vivir más de un siglo. La copa es de forma circular y crece de forma irregular. La producción es irregular con cosechas de 2,3 a 4 años. Su fruto es alargado y casi redondo, contiene una semilla en el centro recubierta de una textura afelpada.

Usos: El fruto es usado para proveer alimento; la semilla, corteza y frutas verdes tienen propiedades medicinales. La almendra de la semilla se usa como alimento de animales.

De la corteza y las hojas se obtiene un tinte amarillo de uso textil. La madera ha sido considerada no de muy buena calidad (empíricamente) pero se le da diversos usos como leña, cuñas. El árbol se usa como ornamental y para sombra.

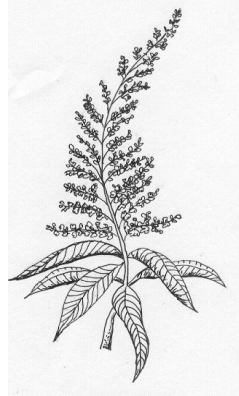
Clima y suelos: Está adoptado a climas tropicales con una temperatura entre 20 y 25 grados Celsius, aunque soporta 15 grados en invierno. Crece en una altura de 0 hasta 1200 msn. No requiere suelos muy fértiles, pero sí profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica, obteniendo mejores cosechas en suelos no ácidos y ricos en cal.

Figura 5. Flor del mango



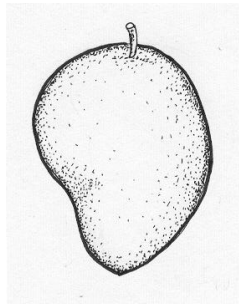
Fuente: Consideraciones sobre el cultivo de mango de exportación en Guatemala, 1997 MAGA, Pág. 7

Figura 6. Inflorescencia del mango



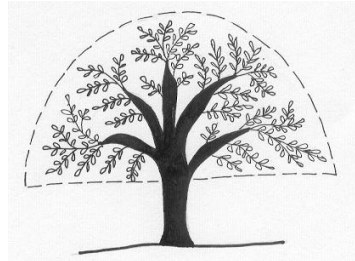
Fuente: Consideraciones sobre el cultivo de mango de exportación en Guatemala, 1997 MAGA, Pág. 7

Figura 7. Fruto del mango



Fuente: Consideraciones sobre el cultivo de mango de exportación en Guatemala, 1997 MAGA, Pág. 9

Figura 8. Árbol en forma de cúpula



Fuente: Consideraciones sobre el cultivo de mango de exportación en Guatemala, 1997 MAGA, Pág. 10

1.1.3.2. Origen del mango

La Mangífera indica se considera originaria del sur de Asia, posiblemente India o Malasia. Ha sido cultivado desde la antigüedad en Asia hasta el punto que se le menciona dentro de la historia del Budismo (4000 A.C.) En la India se encuentran más de mil variedades de este fruto.

Su cultivo se ha difundido por todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo. En la mayor parte de las zonas partiendo de plantas francas, se ha desarrollado variedades propias que se han adaptado bien a las condiciones particulares de cada región.

En los trópicos el mango es más importante que la manzana y la pera.

1.1.3.3. Clasificación botánica

El mango pertenece a la clase dicotiledóneas, subclase archichlamydeae, orden Sapindales, suborden anacardiineae, familia anacardiáceas y la especie cultivada tiene el nombre de mangífera indica. La planta está considerada dentro de las “siempre verdes”.

Su desarrollo es variable dependiendo principalmente del origen de la planta (franca o injerta), de la variedad y de las condiciones de la zona. El crecimiento de la copa se presenta en ciclos denominados “flujos vegetativos”, pasando los brotes nuevos en crecimiento por tres tonalidades diferentes de color conforme van madurando. Las hojas son de color violáceo o cobrizo

Tabla II. Variedades de Mangífera indica existentes en Guatemala

Tommy atkins:	Originaria de la semilla de Haden, Florida USA, 1992.
Haden:	Originaria del grupo Mulgoba, Florida, USA, 1910
Irwin:	Originaria de la variedad Lippens, Miami, USA, 1939.
Kent:	Originaria de la variedad Brooks, Miami, USA, 1932
Keitt:	Originaria de la variedad Mulgoba, Florida, USA, 1939.
Zill:	Originaria de la semilla de Haden, Florida, Usa, 1992.

Fuente: Consideraciones sobre el cultivo de mango de exportación en Guatemala, 1997 MAGA, Págs. 8 y 9

1.2. Descripción general del área predominante para cada especie

El área de cultivo del persea americana mill en Guatemala comprende los departamentos: Quiché, Suchitepéquez, Sacatepéquez, Guatemala, Chimaltenango, Jalapa, Jutiapa, Petén, Izabal, Chiquimula, Escuintla, Retalhuleu y Santa Rosa, siendo un área considerable.

El área de cultivo de la mangífera indica en Guatemala comprende los departamentos: San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, Jutiapa, El Progreso, Zacapa y Chiquimula.

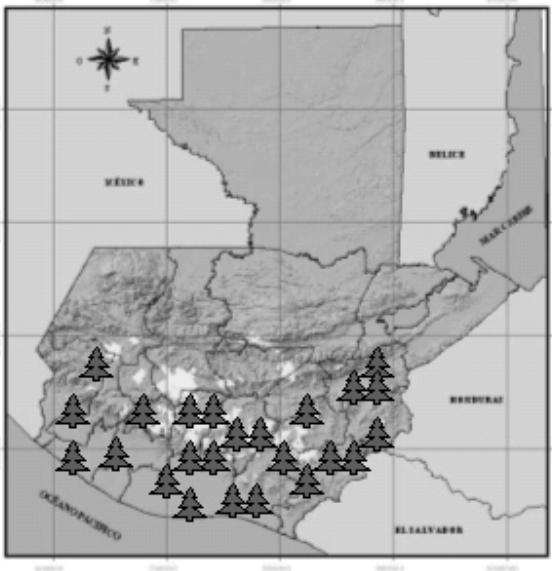
En los mapas siguientes se visualiza mejor el área específica por cada cultivo.

Figura 9. Mapa de la República de Guatemala con región de mayor productividad de aguacate



Fuente: PROFRUTA año 2002, MAGA, Pág.49

Figura 10. Mapa de la República de Guatemala con mayor producción de mango



Fuente: PROFRUTA año 2002, MAGA, Pág.16

2. TOMA DE MUESTRAS

Se selecciona la cantidad de árboles que se requieren (según la norma ASTM-D 143-52, se requieren 5 árboles por especie). Debido a la poca disponibilidad de los árboles por su período productivo y tiempo de recolección de frutos, se determina que se tomarán dos árboles representativos de cada especie de madera, dos de mango y dos de aguacate.

2.1. Descripción del sistema de recolección

2.1.1. Identificación de las especies forestales

Después de ubicar el área geográfica, se procede a seleccionar un árbol, analizando las hojas, las flores, la corteza y los frutos, con lo cual no cabe duda de la especie, por lo cual se establece la especie de mangífera indica y persea americana mill.

2.1.2. Selección y número de árboles

El procedimiento siguiente consiste en seleccionar dos árboles de cada especie ya establecida, considerando las dimensiones de los mismos para poder obtener las muestras necesarias para fabricar las probetas de los ensayos.

2.1.3. Selección y número de trozas

De cada uno de los árboles escogidos se selecciona trozas considerando las dimensiones de las ramas y del fuste. La longitud de cada troza inicialmente es de 1.20 metros, de las cuales se puede obtener diversa información de las propiedades por provenir de ramas diferentes y del fuste, debido al aprovechamiento del mismo.

Figura 11. Troza de madera



Fuente: Jalapa, Finca Güishoro Río Frío

2.1.4. Marcado en el campo

Se identifica cada árbol por un número arábigo y por la letra inicial de su especie (nombre usual) mango: M y aguacate: A, lo que implica que si las trozas pertenecen a mango se clasifican en M1 o M2, para poder identificar de cual árbol proviene la troza. Para las trozas del árbol de aguacate se clasifican en A1 o A2.

2.1.5. Transporte de la madera

Se transporta el material en condiciones de ambiente normal por medio de un camión, cubriéndolas con una lona, llevando las trozas hacia un aserradero ubicado en Jalapa, en donde se procederá a cortar las probetas.

3. CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

3.1. Almacenaje

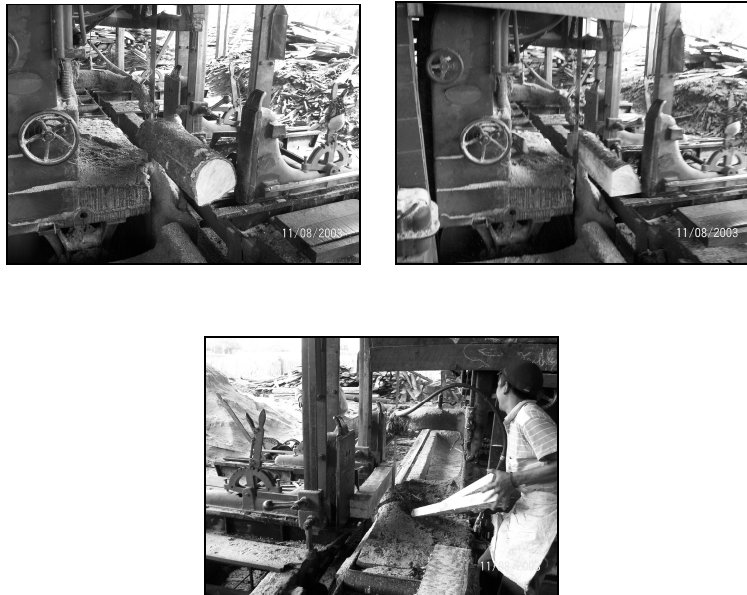
Las trozas son transportadas al aserradero el mismo día que se cortaron, luego se colocan apiladas en tarimas de madera, de manera que no se les permite el contacto con el suelo y también están protegidas del sol.

3.2. Marcado y aserrado

Todas las trozas han sido marcadas en campo con el número arábigo que corresponde al árbol y la letra que designa la especie (A o M), ahora se procede a cortar barras de madera de 6cm X 6cm X 1.20 metros.

Luego se procede a cepillar y a reducir el tamaño hasta 5 cm por sección y cortar las longitudes descritas a continuación:

Figura 12. Proceso de aserrado y corte de probetas



Fuente: Aserradero Jalapa, Guatemala

Tabla III. Dimensionamiento de probetas

Tipo de ensayo	Número de probetas	Sección (cm)	Longitud (cm)
Flexión	20	5 X 5	76
Compresión paralela a la fibra	20	5 X 5	20
Corte	22	*	*
Peso específico y contracción volumétrica	20	5 X 5	20

Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Págs.64 a 104

“*” El ensayo de corte requiere de probetas de dimensiones especiales, ver detalle en “Ensayos”.

3.3. Selección y disposición de los ensayos

Las probetas destinadas al ensayo de peso específico y contracción volumétrica, (5X5X20) cantidad = 10 de mango y 10 de aguacate, marcadas e identificadas con la letra de la especie (A o M), número de probeta (número arábigo del 1 al 5) y número de árbol (número romano I ó II); se trasladan sin tiempo de secado (verdes) al laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en donde se realizará los ensayos correspondientes.

Figura 13. Identificación de las probetas



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Las otras probetas son almacenadas en un espacio bajo techo, aireado pero sin corrientes fuertes, colocadas una sobre otra dejando espacios intercalados para la circulación del aire, para su secado, luego son afinadas por artesanos carpinteros y marcadas e identificadas.

Figura 14. Almacenamiento



Fuente: Bodega Guatemala

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Para determinar las propiedades mecánicas de la madera en estudio se realizará los ensayos de flexión estática, compresión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra.

Para determinar las características físicas de la madera se realiza los ensayos de peso específico y contracción volumétrica.

4.1. Flexión estática

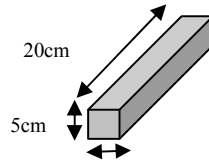
4.1.1. Descripción

Para realizar este ensayo se eligen probetas de 0.05 X 0.05 x 0.76m (valores teóricos aproximados), cinco de cada árbol, ya identificadas y se procede a colocar 2 apoyos sobre los cuales se coloca la probeta dejando una luz entre apoyos de 0.70m.

En la máquina universal se coloca de manera que se aplicará una carga dejando una distancia de $L/2$ ($0.70/2 = 0.35\text{m}$). La carga es aplicada al centro, se usa una cuña de madera, la cual esta normalizada.

Se aplica la carga en una forma gradual y continuamente a la probeta con una velocidad constante (2.5mm/minuto) en la prensa hidráulica de la máquina universal.

Figura 15. Dimensión de probeta para ensayo a flexión



Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 68

4.1.2. Procedimiento

Para cada intervalo de carga se mide la deflexión al centro de la probeta por medio de una escala en sistema métrico (S.I.), por cada 100 Kg de carga. Los valores de la deflexión se obtienen en milímetros.

Con los valores obtenidos se elabora una gráfica carga – deformación y se anotan los detalles que se consideren importantes. Se determina la carga al límite elástico, el esfuerzo máximo o módulo de ruptura y el módulo de elasticidad a flexión.

Para calcular el esfuerzo máximo, se sustituye los valores correspondientes que son válidos al rango elástico del material en la siguiente fórmula:

$$F_b = M / S = 3PL/2bh^2$$

Donde: F_b = esfuerzo último de flexión (kg/cm²).

P = carga última (kg).

L = longitud libre (cm)

b = ancho (cm)

h = largo (cm)

El módulo de elasticidad a flexión aplicando una sola carga se determina por medio de la fórmula:

$$ME = ((P'A)/4E\delta h^3)*(3L^2-4A^2)$$

Donde: ME = módulo de elasticidad a flexión (kg/cm²)

P = cualquier carga menor al límite elástico (kg)

δ = deformación para la carga P (cm)

b = ancho(cm)

h = alto (cm)

I = momento de inercia ($1/12bd^3$)

El módulo de corte se determina por $MC=3P/2bh$.

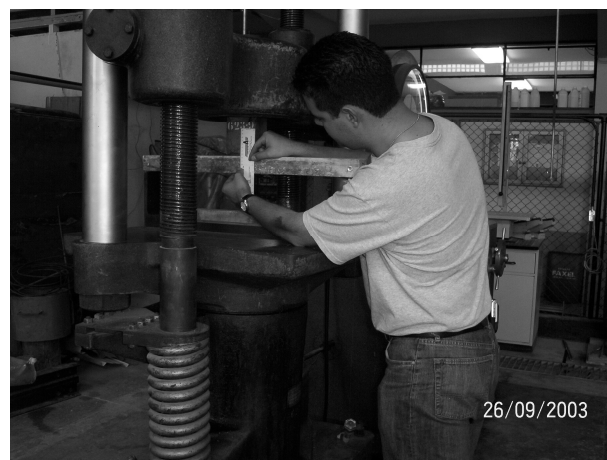
Los resultados obtenidos se pueden ver en la tabla 5

Figura 16. Medición de probetas previo a ensayos por flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 17. Colocación de probetas en máquina universal



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 18. Antes del ensayo a flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 19. Durante el ensayo a flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 20 . Después del ensayo a flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.1.3. Contenido de humedad

Al finalizar el ensayo de flexión, se toma muestra de la probeta ensayada (unas astillas) y se colocan en una tara, se mide el peso (masa) y luego se coloca en el horno, a las 24 horas se saca del horno y se pesa. Con esta información se procede a determinar el porcentaje de humedad contenido en la madera, para ello se utiliza la fórmula siguiente:

$$\% \text{humedad} = \frac{(\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})}{(\text{peso seco})} \times 100$$

Se obtuvo los resultados siguientes:

Tabla IV. Porcentajes de humedad ensayos a flexión

Probeta	Peso húmedo (gms.)	Peso seco (gms.)	% Humedad
M1I	7.725	7.123	8.45
M2I	7.865	7.240	8.63
M3I	6.995	6.410	9.13
M4I	8.000	7.225	10.73
M5I	5.580	5.125	8.88
M1II	5.990	5.515	8.61
M2II	7.445	6.850	8.69
M3II	7.560	6.950	8.78
M4II	6.998	6.395	9.43
M5II	5.778	5.298	9.06
A1I	5.857	5.452	7.43
A2I	6.323	5.888	7.39
A3I	6.967	6.454	7.95
A4I	5.976	5.541	7.85
A5I	5.888	5.456	7.92
A1II	6.058	5.649	7.24
A2II	5.757	5.339	7.83
A3II	6.987	6.484	7.76
A4II	5.879	5.446	7.95
A5II	5.977	5.536	7.97

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.1.4. Tipos de fallas

Los tipos de fallas conocidos en los ensayos de probetas longitudinales a flexión son los siguientes:

Figura 21. Tipos de fallas a flexión

Simple



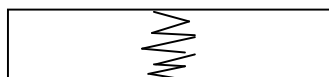
(vista lateral).

Fibra cruzada



(vista lateral).

Astillada



(vista en la superficie de tensión).

Abrupta



(vista en la superficie de tensión).

Compresión



(vista lateral).

Corte horizontal



(vista lateral).

Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 74

4.1.5. Equipo necesario en ensayos a flexión

Según la norma ASTM D-198-84 se requiere el siguiente equipo:

4.1.5.1. Máquina universal

Máquina de ensayos universal de carga marca Baldwin Lima Hamilton, con capacidad de 55,000 kg. La escala utilizada es de 0 a 3,000 kg. Esta máquina debe proporcionar un marco rígido de apoyo al espécimen permitiendo, sin fijación, la deflexión del mismo. Debe tener una cabeza de carga completa, en la cual se aplica la fuerza sin concentraciones altas de esfuerzo sobre la viga. Debe tener un aparato medidor de fuerza.

4.1.5.2. Dispositivo de soporte

Un dispositivo de soporte que sirve para apoyar la viga debiendo tener la altura necesaria para obtener la máxima deflexión.

4.1.5.3. Aparato de aplicación de carga

Aparato de aplicación de carga, que tiene un bloque de apoyo a la carga, el cual debe tener el área necesaria para evitar las altas concentraciones de esfuerzo, en el lugar de contacto con la viga. La superficie de carga de los bloques debe tener un radio de curvatura igual a 2, 3, o 4 veces la profundidad de la viga. El objetivo de este radio de curvatura es para que la longitud de la cuerda sea igual o menor a la profundidad de la viga.

Figura 22. Aplicador de carga a flexión

$$R = \{2h, 3h, 4h\}$$



Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 72

4.1.5.4. Medidor de deflexión

Medidor de deflexión, en este caso es una escala métrica subdividida en milímetros.

4.1.5.5. Teodolito o nivel

Teodolito o nivel, para hacer la lectura de deformación a una distancia prudente y fuera de peligro.

4.1.6. Resultados:

Tabla V. Resultados de los ensayos a flexión

Longitud = 74.50
cms.

especie: aguacate.

Probeta	sección		P=100Kg.	P=200Kg.	P=300Kg.	P=400Kg.	P=500Kg.	P=600Kg.	δ/Pu	Carga última Kg.
	Base A	altura B								
A1I	4.795	4.798	2.00	4.00	6.00	9.00	14.00	28.00		675.00
A2I	4.825	4.795	2.00	4.00	6.50	9.00	14.00	30.00		600.00
A3I	4.878	4.976	3.00	6.00	9.00	14.00	27.00	50.00		525.00
A4I	4.855	4.668	2.00	4.50	7.00	10.00	15.00	26.00	40.00	635.00
A5I	4.839	4.848	1.50	3.00	5.00	8.00	11.00	22.00		575.00
A1II	4.817	4.968	3.00	4.00	6.00	9.00	14.00	24.00	25.00	625.00
A2II	4.895	4.848	3.00	5.00	7.00	11.00	16.00	33.00	39.00	630.00
A3II	4.951	4.834	2.00	4.00	6.00	9.00	13.00	33.00		595.00
A4II	4.779	4.897	3.00	5.00	8.00	11.00	16.00	25.00	50.00	675.00
A5II	***	***	2.00	4.50	6.00	10.00	15.00	24.00	27.00	620.00

Longitud = 76.00 cms. especie: mango.

Probeta	sección		P=100Kg.	P=200Kg.	P=300Kg.	P=400Kg.	P=500Kg.	P=600Kg.	δ/Pu	Carga última Kg.
	Base A	altura B								
M1I	4.982	4.956	2.00	5.00	7.00	10.00	14.00	17.00		575.00
M2I	4.913	4.883	3.00	5.00	8.00	11.00	17.00	25.00	30.00	620.00
M3I	5.002	4.922	2.50	5.00	7.00	10.00	13.00	16.00		550.00
M4I	4.856	4.965	3.00	5.50	8.50	11.00	15.00	24.00	27.00	620.00
M5I	4.921	4.909	3.50	6.50	10.00	14.00	21.00	27.00		535.00
M1II	5.012	5.006	3.00	6.00	10.00	14.00	18.00	28.00	33.00	610.00
M2II	4.913	5.028	2.00	5.00	8.00	13.00	*	*		645.00
M3II	4.873	5.000	3.00	6.00	8.00	11.00	17.00	*		500.00
M4II	4.957	4.776	2.00	6.00	8.00	13.00	17.00	*		475.00
M5II	4.942	5.016	3.00	5.50	8.00	11.00	15.00	23.00	37.00	660.00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Tabla VI. Esfuerzos básicos obtenidos a flexión.

Probeta	Carga última Kg.	Módulo de ruptura kg/cm ²	Módulo de elasticidad kg/cm ²	Esfuerzo de corte kg/cm ²	Deformación última cms.
M1I	575.00	255.53	73836.00	35.48	1.70
M2I	620.00	275.53	73836.00	38.25	3.00
M3I	550.00	244.42	73836.00	33.94	1.60
M4I	620.00	275.53	65149.41	38.25	2.70
M5I	535.00	237.75	55377.00	33.01	2.70
M1II	610.00	271.08	52740.00	37.64	3.30
M2II	645.00	206.65	56796.92	28.69	1.30
M3II	500.00	222.20	67123.64	30.85	1.70
M4II	475.00	211.09	56796.92	29.31	1.70
M5II	660.00	293.30	67123.64	40.72	3.70
A1I	675.00	318.33	82040.00	43.40	2.70
A2I	600.00	282.96	82040.00	38.58	3.00
A3I	525.00	247.59	52740.00	33.76	5.00
A4I	635.00	299.47	73836.00	40.83	4.00
A5I	575.00	271.17	92295.00	36.97	2.20
A1II	625.00	294.75	82040.00	40.19	2.50
A2II	630.00	297.11	67123.60	40.51	3.90
A3II	595.00	280.60	82040.00	38.26	3.30
A4II	675.00	318.33	67123.60	43.40	5.00
A5II	620.00	292.39	73836.00	39.86	2.70

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Tabla VII. Valores promedios obtenidos en los esfuerzos a flexión

Probeta	Carga última Kg.	Módulo de ruptura kg/cm ²	Módulo de elasticidad kg/cm ²	Esfuerzo de corte kg/cm ²	Deformación última cms.
Mango	249.31	249.31	64261.55	34.61	2.34
Aguacate	290.27	290.27	75511.42	39.58	3.43

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

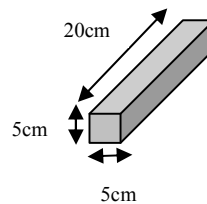
La falla por flexión que se presentó al ensayar la madera del mango y también la del aguacate fue la falla por fibra cruzada.

4.2. Compresión paralela a la fibra:

4.2.1. Descripción

El ensayo de compresión paralela a la fibra se efectúa con una probeta de sección transversal de 0.05m X 0.05m X 0.20m de longitud. Antes del ensayo se mide la probeta de madera con un micrómetro apropiado.

Figura 23. Dimensiones de las probetas para ensayo de compresión paralela



Fuente: **NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 76**

Figura 24. Probetas antes del ensayo de compresión paralela



Fuente: **Centro de Investigaciones de Ingeniería CII**

4.2.2. Procedimiento

En esta prueba se presta especial atención a los planos de los cortes hechos en los extremos de las piezas, deben quedar en forma paralela y formar ángulo recto con las caras longitudinales, quedando en escuadra. También es necesario que por lo menos una de las planchas ajuste el cabezal de la máquina de ensayos, estando equipada con un dispositivo que constituye una articulación (apoyo de esfera), esto se hace para conseguir una distribución uniforme en los extremos de la pieza.

Luego de colocar la probeta indicando el sentido del ensayo, se aplica una velocidad constante de la cabeza móvil de la prensa hidráulica de 0.003 (cm por cm) por cada centímetro de longitud de la muestra por minuto. Para todas las probetas se determina la curva carga – deformación correspondiente hasta la ruptura de la probeta. Se toman lecturas con un compresómetro de (0.001cm) de aproximación y longitud de base no mayor de 15 cm.

Figura 25. Proceso del ensayo de compresión paralela



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.2.3. Contenido de humedad

Al finalizar el ensayo de compresión paralela a la fibra, se procede a determinar el contenido de humedad por el método tradicional. Al finalizar el ensayo de flexión, se toma muestra de la probeta ensayada (unas astillas) y se colocan en una tara, se mide el peso (masa) y luego se coloca en el horno, a las 24 horas se saca del horno y se pesa. Con esta información se procede a determinar el porcentaje de humedad contenido en la madera, para ello se utiliza la fórmula siguiente:

$$\% \text{humedad} = \frac{(\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})}{(\text{peso seco})} \times 100$$

Se obtuvo los resultados siguientes:

Tabla VIII. Porcentajes de humedad ensayos a compresión paralela

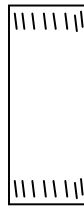
Probeta	Peso húmedo (gms.)	Peso seco (gms.)	% Humedad
M1I	7.723	7.125	8.39
M2I	7.845	7.152	9.69
M3I	6.745	6.155	9.59
M4I	7.994	7.225	10.64
M5I	6.543	6.035	8.42
M1II	6.337	5.678	11.61
M2II	7.445	6.785	9.73
M3II	7.432	6.825	8.89
M4II	6.778	6.301	7.57
M5II	6.325	5.798	9.09
A1I	5.857	5.254	11.48
A2I	6.523	5.825	11.98
A3I	6.965	6.394	8.93
A4I	5.981	5.483	9.08
A5I	5.748	5.215	10.22
A1II	6.087	5.524	10.19
A2II	5.796	5.296	9.44
A3II	6.897	6.225	10.80
A4II	6.021	5.559	8.31
A5II	5.998	5.432	10.42

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.2.4. Tipos de fallas

Figura 26. Tipos de fallas a compresión

Aplastamiento:



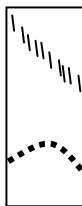
Vista lateral.

Falla en forma de cuña



Vista lateral.

Corte



Vista lateral.

Rajadura



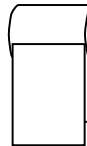
Vista lateral

Compresión y corte paralelo



Vista lateral.

Final enrollado.



Vista lateral.

Fuente: **NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 79**

4.2.5. Equipo necesario para los ensayos a compresión paralela

Según la norma ASTM D-198-84 se requiere el siguiente equipo:

4.2.5.1. Máquina de ensayos universal

Máquina de ensayos universal de carga marca Baldwin Lima Hamilton, con capacidad de 55,000 kg. La escala utilizada es de 0 a 3,000 kg. Esta máquina debe proporcionar un marco rígido de apoyo al espécimen permitiendo, sin fijación, la deflexión del mismo. Debe tener una cabeza de carga completa, en la cual se aplica la fuerza sin concentraciones altas de esfuerzo sobre la viga. Debe tener un aparato medidor de fuerza.

4.2.5.2. Dispositivo provisto de estribo

Dos apoyos en forma circular o de disco, uno para la parte superior y otro para la parte inferior, los cuales soportan la probeta evitando que se deslice hacia los lados.

4.2.5.3. Cronómetro y cinta métrica

Un cronómetro para tomar el tiempo en segundos y cinta métrica para determinar las dimensiones.

4.2.6. Resultados

Tabla IX. Resultados de ensayos de compresión paralela

Longitud = 20 cms.

especie: persea americana

Probeta	sección		Carga (Kg.)	Esfuerzo(kg/cm ²)
	Base A	Altura B		
A1I	4.791	4.848	5630.00	242.39
A2I	5.130	4.730	6400.00	263.76
A3I	5.065	4.753	6340.00	263.36
A4I	5.004	4.818	6200.00	257.16
A5I	5.002	5.002	7570.00	302.56
A1II	5.014	4.874	6900.00	282.34
A2II	5.010	5.013	7330.00	291.86
A3II	4.980	4.878	7220.00	297.21
A4II	5.021	5.000	6520.00	259.71
A5II	5.002	5.016	7570.00	301.71

Longitud = 20 cms.

especie: mangífera indica..

Probeta	Sección		Carga (Kg.)	Esfuerzo(kg/cm ²)
	Base A	Altura B		
M1I	5.025	5.021	7700.00	305.19
M2I	4.917	4.916	6690.00	276.77
M3I	5.022	4.937	6370.00	256.92
M4I	4.943	4.912	5190.00	213.76
M5I	5.031	4.917	6200.00	250.63
M1II	5.020	5.000	6130.00	244.22
M2II	5.030	5.032	6400.00	252.85
M3II	4.971	4.978	6480.00	261.86
M4II	4.854	5.005	6300.00	259.32
M5II	4.938	4.856	5100.00	212.69

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

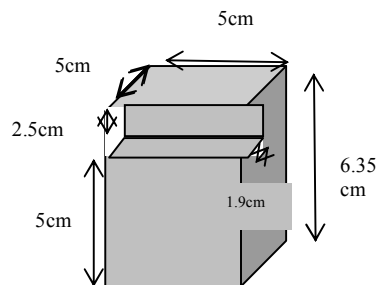
Las probetas sometidas a compresión paralela, fallaron por compresión y corte paralelo a la fibra. El esfuerzo máximo del mango es 305.19 kg/cm² y el mínimo es 212.69 kg/cm². El esfuerzo máximo del aguacate es 302.56 kg/cm² y el mínimo es 242.39 kg/cm².

4.3. Corte paralelo a la fibra

4.3.1. Descripción

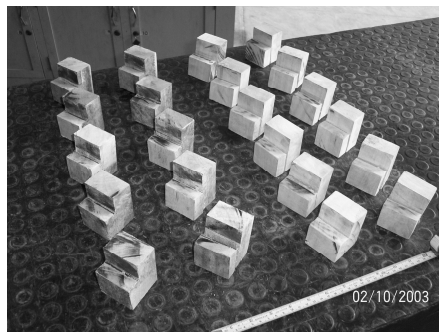
El ensayo de corte paralelo a la fibra se realiza con probetas de 0.05m X 0.05m X 0.063m, (diseño especial).

Figura 27. Dimensiones de las probetas para ensayo a corte



Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 83

Figura 28. Probetas antes del ensayo de corte



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.3.2. Procedimiento

Antes del ensayo se miden las probetas. Luego se introduce la muestra dentro de un dispositivo especial para provocar el corte. Este dispositivo está provisto por un estribo de 3.0mm entre la orilla interior de las superficies de soporte y el plano a lo largo del cual se desarrollará la falla. La carga se aplicará de forma que una parte de la probeta se encuentre sostenida sobre ambos extremos, mientras que la otra no tiene soporte y que por lo tanto sea obligada a deslizarse en el plano del corte, por el efecto de la carga. Se debe tener especial cuidado al colocar la probeta en el dispositivo, de forma que la barra transversal ajuste en dos de los extremos de la pieza y los otros dos quedan verticales. Los extremos horizontales deben descansar sobre los soportes en toda el área de contacto. La carga se debe aplicar a una velocidad constante de 0.06cm/min.

Figura 29. Medición de las probetas para ensayo a corte



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 30. Ensayo a corte vista frontal



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 31. Ensayo a corte vista posterior



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 32. Probeta después del ensayo a corte paralelo.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.3.3. Contenido de humedad

Al finalizar el ensayo de corte, se procede a determinar el contenido de humedad por el método tradicional. Al finalizar el ensayo de flexión, se toma muestra de la probeta ensayada (unas astillas) y se colocan en una tara, se mide el peso (masa) y luego se coloca en el horno, a las 24 horas se saca del horno y se pesa. Con esta información se procede a determinar el porcentaje de humedad contenido en la madera, para ello se utiliza la fórmula siguiente:

$$\% \text{humedad} = \frac{(\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})}{(\text{peso seco})} \times 100$$

Se obtuvo los resultados siguientes:

Tabla X. Porcentajes de humedad en ensayos a corte

Probeta	Peso húmedo (gms.)	Peso seco (gms.)	% Humedad
M1I	7.823	7.098	10.21
M2I	7.855	7.195	9.17
M3I	6.665	6.158	8.23
M4I	7.989	7.224	10.59
M5I	6.558	6.040	8.58
M1II	6.645	5.765	15.26
M2II	7.545	6.788	11.15
M3II	7.542	6.813	10.70
M4II	7.000	6.312	10.90
M5II	6.576	5.989	9.80
A1I	5.864	5.255	11.59
A2I	6.682	6.010	11.18
A3I	6.855	6.300	8.81
A4I	5.981	5.428	10.19
A5I	5.824	5.215	11.68
A1II	6.125	5.524	10.88
A2II	5.802	5.320	9.06
A3II	6.900	6.327	9.06
A4II	6.300	5.640	11.70
A5II	5.899	5.421	8.82

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

4.3.4. Equipo usado en el ensayo por corte

Según la norma ASTM D-198-84 se requiere el siguiente equipo:

4.3.4.1. Máquina universal

Máquina de ensayos universal de carga marca Baldwin Lima Hamilton, con capacidad de 55,000 kg. La escala utilizada es de 0 a 3,000 kg. Esta máquina debe proporcionar un marco rígido de apoyo al espécimen permitiendo, sin fijación, la deflexión del mismo. Debe tener una cabeza de carga completa, en la cual se aplica la fuerza sin concentraciones altas de esfuerzo sobre la viga. Debe tener un aparato medidor de fuerza.

4.3.4.2. Dispositivo provisto de estribo

Un dispositivo está provisto por un estribo de 3.0mm entre la orilla interior de las superficies de soporte y el plano a lo largo del cual se desarrollará la falla. La carga se aplicará de forma que una parte de la probeta se encuentre sostenida sobre ambos extremos, mientras que la otra no tiene soporte y que por lo tanto sea obligada a deslizarse en el plano del corte, por el efecto de la carga. Se debe tener especial cuidado al colocar la probeta en el dispositivo, de forma que la barra transversal ajuste en dos de los extremos de la pieza y los otros dos quedan verticales. Los extremos horizontales deben descansar sobre los soportes en toda el área de contacto.

4.3.4.3. Cinta métrica

Cinta métrica para obtener las dimensiones reales de las probetas.

4.3.5. Resultados

De los ensayos a corte se obtuvo los resultados siguientes:

Tabla XI. Resultados de ensayos a corte

especie: persea americana mill..

Probeta	sección		Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (Kg.)
	Base A	Altura B		
A1I	5.033	3.928	74.61	1475.00
A2I	4.993	3.818	66.88	1275.00
A3I	4.883	3.836	59.69	1100.00
A4I	4.911	3.893	57.54	1100.00
A5I	4.970	3.865	55.96	1075.00
A6I	4.983	3.777	91.65	1725.00
A1II	4.894	3.800	66.68	1240.00
A2II	4.847	3.792	54.41	1000.00
A3II	4.925	3.795	81.59	1525.00
A4II	4.937	3.813	83.67	1575.00
A5II	4.946	3.787	81.42	1525.00
A6II	4.890	3.777	67.68	1250.00

especie: mangífera indica..

Probeta	sección		Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (Kg.)
	Base A	Altura B		
M1I	4.947	4.053	74.82	1500.00
M2I	4.953	4.030	78.91	1575.00
M3I	4.893	4.061	88.07	1750.00
M4I	4.938	3.933	110.7	2150.00
M5I	4.944	3.979	83.87	1650.00
M1II	4.968	3.764	94.92	1775.00
M2II	4.957	3.984	91.15	1800.00
M3II	4.944	4.035	80.2	1600.00
M4II	4.909	4.022	100.03	1975.00
M5II	4.915	4.002	88.97	1750.00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

- El esfuerzo máximo a corte es para el mango 110.70kg/cm².
Para el aguacate es 91.65 kg/cm².
- Los esfuerzos mínimos de corte son para el mango 74.82 kg/cm².
Para el aguacate es 54.41 kg/cm².

4.4. Peso específico y contracción volumétrica, radial y tangencial

4.4.1. Densidad de la madera

De acuerdo con la norma ASTM D-143, las pruebas se hacen con las mismas muestras simultáneamente de la siguiente forma:

Primero sobre muestra verde, luego sobre la misma muestra secada al aire (brinda condición de equilibrio) y por último, sobre la misma muestra secada al horno, después de la prueba se le hará una impresión con carbón en uno de sus extremos, estas impresiones se pondrán en el reverso de la hoja de laboratorio.

La pieza es secada en verde, determinándose su volumen por método de inmersión. Las pruebas en verde, después de la inmersión, se apilan con un espacio necesario entre ellas para secarlas al aire, tratando de lograr que su porcentaje de humedad sea el porcentaje de equilibrio.

Después se pesan las muestras para determinar su volumen por el mismo método. Las piezas usadas en la determinación del peso específico y de encogimiento deberán ser apiladas en un horno y secadas a una temperatura de 103 ± 2 grados celsius, hasta lograr que su peso permanezca constante. Luego de pesarlas y mientras están aún calientes se sumergen en un baño de parafina líquida (caliente), cuidándose que el baño que reciban sea una capa delgada.

Se determina el volumen de las muestras con todo y parafina, usando el mismo método. En este ensayo es preferible usar una balanza automática que facilita la exactitud de la prueba.

La densidad de la madera es el cociente de dividir el peso de la probeta entre el volumen de la misma (gramos/cm³).

4.4.1.1. Densidad de la madera verde con humedad mayor al 30%

Densidad verde = peso verde / volumen verde (gr/cm³)

4.4.1.2. Densidad de la madera seca al horno

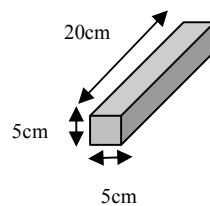
Densidad seca = peso seco al horno/ volumen verde (gr/cm³)

Para determinar la densidad verde la única condición que se requiere es que la madera tenga un contenido de humedad superior al 30%.

Para determinar la densidad seca se colocan las probetas en un horno a una temperatura de 103 grados celsius hasta que den peso constante; se debe incrementar lentamente la temperatura para evitar el agrietamiento de las probetas.

Se usan 6 probetas para peso específico y contracción volumétrica de la porción no usada de 6 barras de donde provienen las probetas para flexión estática o tensión paralela por cada troza o árbol. Las dimensiones de las probetas son de 0.05mX0.05mX0.20m. Antes de la prueba se debe determinar las dimensiones reales de las probetas.

Figura 33. Dimensiones de las probetas para ensayos de peso específico



Fuente: NORMAS ASTM D-143, Edición 1999. Pág. 90

4.4.2. Determinación de la contracción de la madera en los diferentes sentidos

4.4.2.1. Contracción radial

Para determinar la contracción radial se calcula por medio de:

$$CR = dvr - dsr * 100$$

Donde:

CR = contracción radial

dvr = dimensión radial de la probeta verde

dsr = dimensión de la probeta en sentido radial seca al horno.

4.4.2.2. Contracción tangencial

Para determinar el valor de la contracción tangencial se calcula por medio de:

$$CT = dvt - dst / dvt * 100$$

Donde:

CT = contracción tangencial

dvt = dimensión tangencial de la probeta verde.

dst = dimensión tangencial de la probeta seca al horno.

4.4.2.3. Contracción longitudinal

Para determinar el valor de la contracción longitudinal se calcula por medio de:

$$CL = dvl - dsl / dvl * 100$$

Donde:

CL = contracción longitudinal

dvl = dimensión longitudinal de la probeta verde:

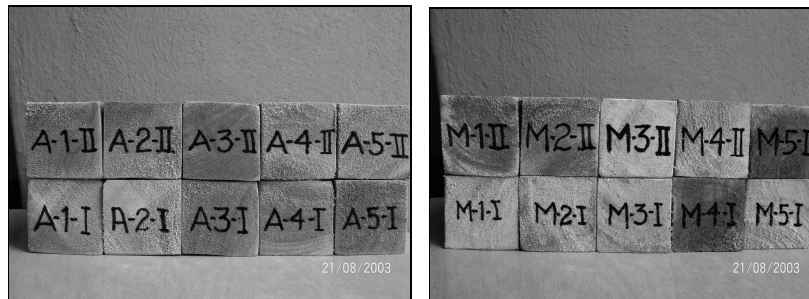
dsl = dimensión longitudinal de la probeta seca al horno.

4.4.2.4. Contracción volumétrica

La contracción volumétrica se calcula:

$$CV = (\text{Vol. Verde} - \text{Vol.seco} * 100 / \text{vol.verde}) * 100 / \text{vol. Verde}$$

Figura 34. Probetas para ensayos de peso específico y contracción volumétrica



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 35. Secado de la madera para ensayos de peso específico y contracción volumétrica



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MADERAS

Teniendo conocimiento de los resultados obtenido luego de realizar los ensayos en la madera del aguacate (presea americana mill) y la madera del mango (mangifera indica), es posible realizar un análisis comparativo teniendo los valores de los ensayos de la madera del pinus oocarpa como parámetro ya que es una de las más usadas en Guatemala para el uso de obra falsa.

5.1. Esfuerzos de las maderas de pino oocarpa, mango y aguacate

Tabla XII. Tabla de contenido de propiedades mecánicas

Especie		Flexión			Corte	Compresión paralela
Nombre botánico	Nombre común	límite elástico kg/cm ²	módulo de ruptura kg/cm ²	módulo de elasticidad kg/cm ² *10e6	Esfuerzo max kg/cm ²	Esfuerzo max kg/cm ²
*Pinus oocarpa	Pino colorado	117.70	880.48	0.12	60.88	277.19
Mangífera indica	Mango	131.65	249.31	0.06	110.70	305.19
Persea americana mill	Aguacate criollo	147.32	290.00	0.08	91.65	302.56

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Tabla XIII. Tabla de contenido de características físicas

Especie				
Nombre botánico	Nombre común	Densidad húmeda gr/cm ³	Densidad seca gr/cm ³	Contracción volumétrica %
*Pinus oocarpa	Pino colorado	0.99	0.50	11.90
Mangifera indica	Mango	0.64	0.56	11.79
Persea americana mill	Aguacate criollo	0.58	0.51	11.83

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Al observar los resultados y compararlos se puede observar que los valores de los esfuerzos de corte del mango y del aguacate son mayores que los de la especie de pino oocarpa, siendo mayor la del mango. El módulo de elasticidad es menor el del mango que el del aguacate; y ambos son menores que los de las dos especies de pino.

El módulo elástico es mayor el del aguacate que el del mango y este último es mayor que los de pino. Los módulos de flexión son menores los del mango y aguacate que los de la especie de pino.

En conclusión, la madera del aguacate y del mango ofrece mayor resistencia que la madera del pino al ser sometida a esfuerzos de corte y ofrece menor resistencia al someterse a esfuerzo de flexión, pero su módulo de elasticidad es menor, siendo los valores de las propiedades muy parecidos como se puede observar en el cuadro resumen.

Estos resultados muestran que la madera del mango y del aguacate pueden resistir las cargas a que puedan ser sometidas al ser usadas como obra falsa en construcción.

* La información del pino oocarpa se obtuvo de la tesis de Arí Ricardo Castañeda Riveiro, 1990; que aparece en los antecedentes al inicio de la presente investigación.

6. USO DE LA MADERA PARA OBRA FALSA

6.1. Formaletas

Los materiales más usados en la construcción de formaletas son madera y playwood (madera triturada y aglomerada). Practicamente todos los trabajos de formaleta, sin importar su forma, necesitan el auxilio de la madera. Este ha sido el material que por fácil manejo y trabajabilidad ha tenido mayor aceptación en todos los trabajos de construcción.

Hay varios tipos de madera que pueden utilizarse variando en grado, tamaño y longitud. Se puede usar cualquier clase de madera siempre que sean resistentes y de bajo costo. En Guatemala la madera que ha tenido más uso como formaleta es la del pino siendo el más producido el caribaea y el más aserrado el oocarpa. Es importante que para usar la madera para formaleta no debe estar completamente seca o sea que debe estar un poco verde, para evitar que se expanda demasiado al mojarla.

Es importante no combinar madera usada con madera nueva en una estructura debido a que la resistencia y las propiedades de ambas difiere. Se puede usar madera rústica y cepillada para formaletas dependiendo del acabado y la calidad que se requiere. En Guatemala el largo más común que se consigue en aserraderos es de 12' aunque se puede conseguir mayor, bajo pedido.

6.2. Tirantes

Un tirante en una formaleta es un accesorio que trabaja a tensión y que sirve para soportar los entarimados. A veces se sustituye el tirante de madera por alambre de amarre pero por la elasticidad elevada del hierro solo es aceptado en obras de poca resistencia.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Resultados

En conclusión de la investigación, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla XIV. Análisis comparativo de los esfuerzos de las maderas de pino, mango y aguacate

Especie		Propiedades mecánicas				
		Flexión			Corte	Compresión paralela
Nombre botánico	Nombre común	Límite elástico kg/cm ²	Módulo de ruptura kg/cm ²	Módulo de elasticidad kg/cm ² *10e6	Esfuerzo max kg/cm ²	Esfuerzo max kg/cm ²
*Pinus oocarpa	Pino colorado	117.70	880.48	0.12	60.88	277.19
Mangífera indica	Mango	131.65	249.31	0.06	110.70	305.19
Persea americana mill	Aguacate criollo	147.32	290.00	0.08	91.65	302.56

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII y Tesis de Ari Ricardo Castañeda Riveiro, 1990, Págs. 36, 39 y 43

Tabla XV. Análisis comparativo de las maderas: pino, mango y aguacate

Especie		Características físicas		
		Densidad húmeda gr/cm ³	Densidad seca gr/cm ³	Contracción volumétrica %
Nombre botánico	Nombre común			
*Pinus oocarpa	Pino colorado	0.99	0.50	11.90
Mangífera indica	Mango	0.64	0.56	11.79
Persea americana mill	Aguacate criollo	0.58	0.51	11.83

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII y Tesis de Ari Ricardo Castañeda Riveiro, 1990, Pág. 8

7.2. Discusión de resultados

Las propiedades mecánicas y características físicas de las maderas en estudio se desconocían hasta hoy, sin embargo al verlas y tocarlas solamente se puede decir que son distintas por su textura, color, olor, fibra y elasticidad. La madera del aguacate se determina a simple vista como la más elástica de las dos especies y luego de los ensayos se determinó que en realidad lo es. La madera del mango es menos elástica pero no por eso es menos resistente a los esfuerzos básicos a los que se pueda someter por la aplicación de cargas. Se tenía dudas acerca del uso al que se refiere este estudio de la aplicación de estas maderas en la construcción, ya que se venía haciendo uso de ellas en el área mencionada, pero al ensayarlas se comprobó que si son resistentes.

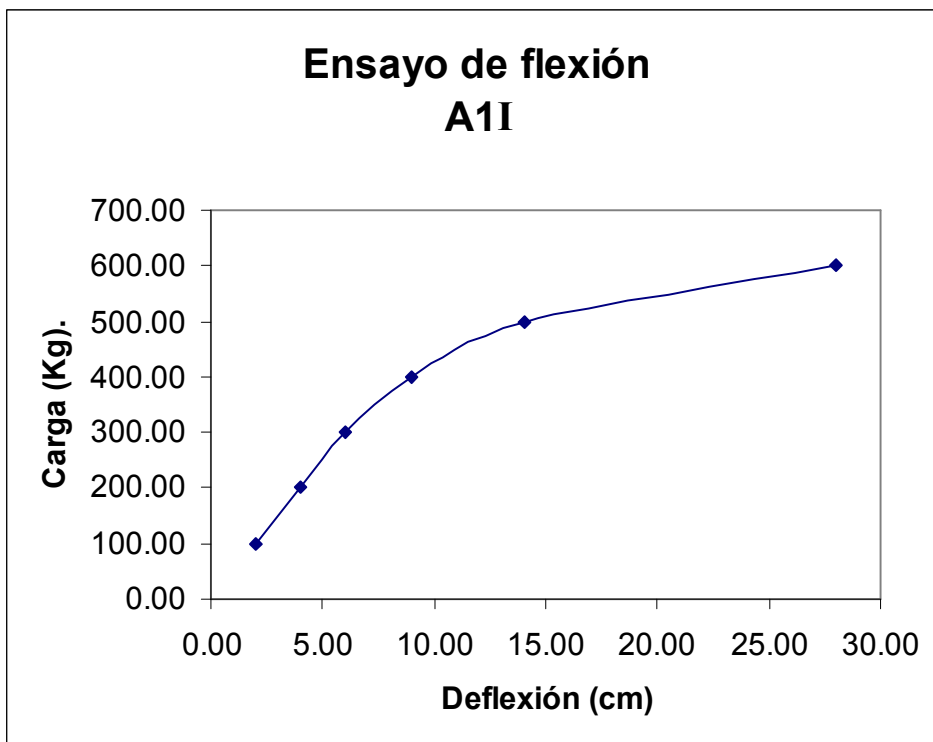
Al finalizar la presente investigación y hacer comparaciones con estudios anteriores de maderas conocidas y aplicadas para dicho uso, se puede decir que los valores soportan las cargas en una forma similar a la del pino.

Si se observan los resultados y se comparan, se puede observar que los valores de los esfuerzos de corte del mango y del aguacate son mayores que los de la especie de pino oocarpa, siendo mayor la del mango. El módulo de elasticidad es menor el del mango que el del aguacate; y ambos son menores que los de las dos especies de pino.

El módulo elástico es mayor el del aguacate que el del mango y este último es mayor que los de pino. Los módulos de flexión son menores los del mango y aguacate que los de la especie de pino.

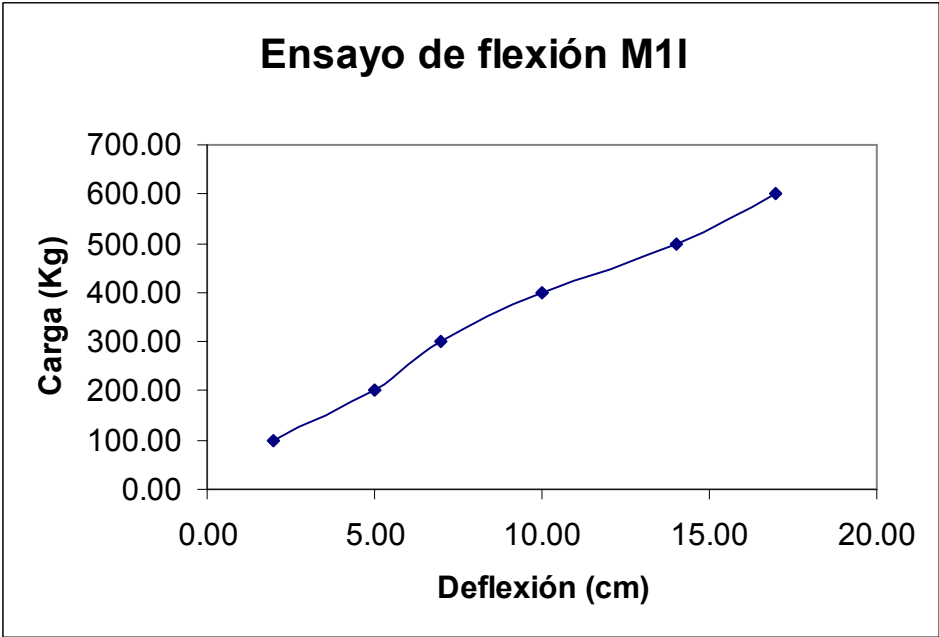
En conclusión, la madera del aguacate y del mango es más resistente que la del pino al ser sometida a esfuerzos de corte y menor al someterse a esfuerzo de flexión, pero su módulo de elasticidad es menor, siendo los valores de las propiedades muy parecidos.

Figura 36. Gráfica esfuerzo deformación, madera de aguacate



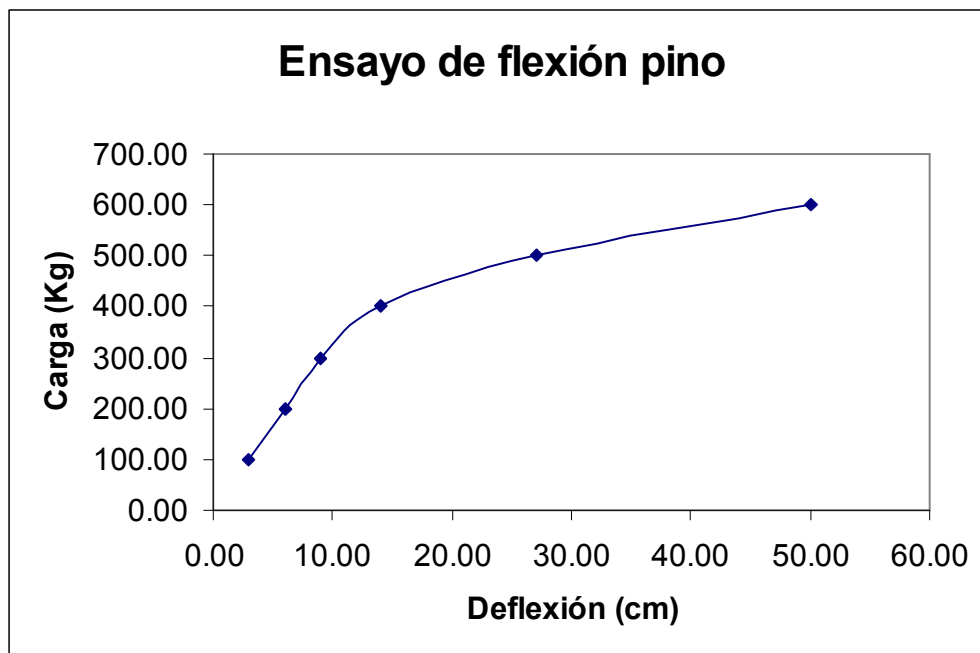
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII.

Figura 37. Grafica esfuerzo deformación, madera de mango



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 38. Grafica esfuerzo deformación, madera de pino oocarpa



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Al comparar las gráficas esfuerzo deformación podemos apreciar el comportamiento elástico de las maderas en estudio. La gráfica de la madera de mango presenta un comportamiento similar a la del pino pudiéndose observar una curva al inicio y luego una tendencia ascendente hasta llegar al límite elástico. La madera del mango aunque soporta las mismas cargas presenta una gráfica con tendencia más lineal que curva pero siempre manteniendo la tendencia similar a la del pino.

Esto indica que su elasticidad es menor que la de la madera del pino y del mango, pero que si tiene un porcentaje elástico en su relación carga-deformación, no siendo un material del todo rígido.

La transición entre el límite elástico y el módulo de ruptura se presenta muy rápido al realizar el ensayo, por lo cual no se determina con exactitud el flujo plástico, pero las cargas que soporta el material nos indican que soportan cargas considerables sin perder sus propiedades, para los tres casos de las maderas analizadas.

CONCLUSIONES

1. La madera de aguacate tiene propiedades mecánicas y características físicas que le permiten ser usada para elaborar obra falsa en construcción, ya que sus propiedades mecánicas presentan los niveles permisibles de resistencia al ser sometido a los esfuerzos de flexión, corte y compresión, ya que al ensayar la madera presentó valores altos de elasticidad, su límite elástico es considerable y los esfuerzos de corte superaron a los valores del pino oocarpa.
2. La madera de mango tiene propiedades mecánicas y características físicas que le permiten ser usadas para elaborar obra falsa en construcción, ya que sus propiedades mecánicas presentan los niveles permisibles de resistencia al ser sometido a los esfuerzos de flexión, corte y compresión, ya que al ensayar la madera, aunque no presentó valores altos de elasticidad, su límite elástico es considerable y los esfuerzos de corte superaron a los valores del pino oocarpa.
3. Los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio de las dos maderas en estudio, mango y aguacate, son muy parecidos a los que se obtuvieron en algunos estudios anteriores de la madera del pino oocarpa, presentando mayor resistencia al corte y aunque el límite elástico fue menor al comparar con los valores del pino, es lo necesariamente resistente para el uso propuesto como obra falsa.

RECOMENDACIONES

1. Para utilizar la madera del aguacate como estructura de obra falsa es importante considerar el estado físico de la madera, esto implica considerar que no sea madera muy joven, que se encuentre seca (no verde), que no posea muchos nudos que la debiliten, que no se encuentre podrida, ni rajada y que no haya sido sometida a cargas excesivas (mayores a las que resiste o muchos usos).
2. Para utilizar la madera del mango como estructura de obra falsa es importante considerar el estado físico de la madera, esto implica considerar que no sea madera muy joven, que se encuentre seca (no verde) y si esta seca que la fibra no muestre muchos espacios (aire), que no posea muchos nudos que la debiliten, que no se encuentre podrida, ni rajada y que no haya sido sometida a cargas excesivas (mayores a las que resiste o muchos usos).
3. Aún no se ha determinado si la resistencia de las maderas de mango y aguacate cambia al ser sometida a productos químicos para su protección, por lo cual se sugiere tomar precauciones ante esto y si alguien estuviera interesado en hacer algún estudio, sería de gran ayuda.
4. Así como se ha venido utilizando las maderas de pino y aguacate para otros usos, también se ha usado otros tipos de maderas no forestales, de las cuales no se ha realizado estudios por lo cual sugiero y doy el ejemplo con el presente estudio, para aquellos estudiantes de ingeniería civil y/o personas que se dediquen a ramas similares, que sería muy

importante continuar con la realización de estudios similares al presente para conocer las propiedades mecánicas y características físicas de maderas, que por lo mismo, podemos estar expuestos a usar maderas que no posean las propiedades necesarias de resistencia o bien pueda suceder lo contrario, que encontremos maderas con propiedades que nos puedan sorprender y determinar en el futuro algún uso de mayor importancia para estos tipos de maderas.

Contribución del CII, Facultad de Ingeniería, USAC

Es muy importante exponer y reconocer la valiosa colaboración que la Facultad de Ingeniería aportó a la presente investigación por medio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, no solo por su apoyo técnico y científico sino por el valor económico que ésta representa. Los costos de los ensayos en valor monetario ascienden a las cantidades de : 1) ensayos de propiedades mecánicas (laboratorio materiales) = Q24,400.00; 2) ensayos de las propiedades físicas (laboratorio químico) = Q5,000.00, las cuales fueron exoneradas, siendo de gran ayuda y sin lo cual hubiera sido más difícil realizar el presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1

Manuel Rivera. Estudió del Cenícero y el Mario. (Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, trabajo de graduación, 1962) pp. 2-15.

2

Mario Domingo Samayoa Flores. Estudio de las propiedades de siete especies de pino de Guatemala (Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, trabajo de graduación, 1972) p.6.

3

Ibid. p. 16

4

Ibid. pp.58-61

5

Arí Ricardo Castañeda Riveiro. Efectos del tratamiento al vacío en las propiedades físico-mecánicas de una especie de madera de pino. Tesis Ing. mecánica, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995 pp. 36-43.

6

José Gabriel Ordóñez Morales. Estudio para la determinación de los esfuerzos reales y valores de diseño de flexión con madera de pino aserrada. Tesis Ing. civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993 pp. 15-38.

7

William Ramón Godínez Mansilla, Ingeniería de la madera en Guatemala, Tesis Ing. civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996 pp. 30-32.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Documento del Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate**, Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Uruapán, Michoacán, México, octubre de 2001. pp.26-30.
2. James Gere & Stephen Timoshenko. **Mecánica de Materiales**. 2da. edición. Editorial Iberoamericana, México D.F. 1986.
3. **Libro de Normas American Society for Testing and Materials (ASTM)**, Estados Unidos de América, 1996. pp. 65-78.

APÉNDICES

ANTECEDENTES

Se han llevado a cabo trabajos de tesis e investigaciones en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala a partir de 1950, siendo éstos en su mayoría parciales o preliminares. Todos los ensayos se realizaron con base en las normas ASTM D-143, ASTM D-245 y ASTM D-255.

La mayoría de los ensayos se realizó de especies maderables conocidas, en su uso ya aplicado en la construcción, siendo pocas las especies frutales consideradas en este tipo de estudios.

Presentaré a continuación una breve reseña de los estudios realizados en especies maderables en la Universidad de San Carlos:

- En el año 1956: Fernando Méndez realizó el estudio comparativo del pino y el chíchique, sin tenerse aún la plena identificación de las especies.
- En el año 1958: Carlos Quintero realizó estudios de maderas de ciprés y conacaste en Guatemala, para lo cual se tomó muestras de aserraderos, en grupos de 30 piezas para cada una de las maderas en mención.
- En el año 1959: Manuel Enrique Ramírez realizó el estudio del palo volador y el chichipate, también con muestras de aserraderos.

- En el año 1962: Manuel Rivera realizó el estudio del cenícero y el mario.
- Un año después, en 1963 se estudió las propiedades de la madera pinus caribaea de Poptún, Petén, por Luis Pineda del Cid.
- En el año 1969: A. Maldonado Hizo un estudio comparativo de la durabilidad de cinco especies de madera de Petén y a la vez realizó un estudio de la concentración óptima del pentaclorofenol para tratamiento en madera.
- En el año 1972: Mario Samayoa realizó un estudio de las propiedades de siete especies de pino de Guatemala, siendo éste un estudio muy completo y al que se consideró como preliminar. Samayoa hace énfasis en que, normalmente, se utiliza cualquier madera para realizar cualquier trabajo, desconociendo las características positivas o negativas de la misma. Estableció al comparar que las especies de madera de pinus rudis y strobus son más bajos comparados con los valores de pinus caribaea y oocarpa. Propone el uso de éstos últimos para usos estructurales de construcción y ebanistería.
- Posteriormente, en el año 1988, I. Gálvez Aqueque realizó estudios de la pouteria gallifruca (chico hembra), la terminalia amazonia (naranja o caxán) y el lonchocarpus latifolius (medallo blanco).
- En el año 1995, Arí Ricardo Castañeda Riveiro realizó la investigación Efectos del tratamiento al vacío en las propiedades físico-mecánicas de una especie de madera de pino.

- En el año 1991, Herrera Acajabón E. Estudió tres especies de madera del Petén: plumajillo, danto y lagarto.
- En el año 1993, José Gabriel Ordóñez realizó un estudio para la determinación de los esfuerzos reales y valores de diseño de flexión con madera de pino aserrada, clasificada visualmente en grados estructurales.
- En el año 1996, William Godínez presentó el estudio de ingeniería de la madera en Guatemala, en donde se presenta las maderas más usadas, los ensayos que se realizan y los usos que se le da a la madera.

Toda esta información se encuentra documentada en trabajos de graduación, de la Facultad de Ingeniería, USAC.

ANEXOS

Tabla XVI. Resultados ensayos químicos

Probeta	Densidad húmeda gr/cm ³	Densidad seca gr/cm ³	Contracción volumétrica %
A1I	0.734	0.641	2.404
A2I	0.55	0.484	2.056
A3I	0.539	0.47	1.85
A4I	0.73	0.632	2.8
A5I	0.539	0.475	2.111
A1II	0.555	0.475	1.79
A2II	0.485	0.43	2.228
A3II	0.605	0.485	0.804
A4II	0.555	0.474	1.002
A5II	0.538	0.457	1.206
M1I	0.645	0.556	1.628
M2I	0.652	0.566	1.702
M3I	0.643	0.574	2.401
M4I	0.642	0.566	2.352
M5I	0.614	0.532	1.575
M1II	0.638	0.56	1.756
M2II	0.634	0.544	1.479
M3II	0.656	0.58	2.26
M4II	0.643	0.551	1.274
M5II	0.629	0.547	1.465

0.583 0.5023 1.8251

Fuente: **Centro de Investigaciones de Ingeniería CII**

Tabla XVIII. Resultados ensayos a corte

especie: persea americana
mill.

Probeta	Sección		Carga (Kg.)
	Base A	Altura B	
A1I	5.033	3.928	1475.00
A2I	4.993	3.818	1275.00
A3I	4.883	3.836	1100.00
A4I	4.911	3.893	1100.00
A5I	4.970	3.865	1075.00
A6I	4.983	3.777	1725.00
A1II	4.894	3.800	1240.00
A2II	4.847	3.792	1000.00
A3II	4.925	3.795	1525.00
A4II	4.937	3.813	1575.00
A5II	4.946	3.787	1525.00
A6II	4.890	3.777	1250.00

Ensayos de corte

especie: mangífera indica.

Probeta	Sección		Carga (Kg.)
	Base A	Altura B	
M1I	4.947	4.053	1500.00
M2I	4.953	4.030	1575.00
M3I	4.893	4.061	1750.00
M4I	4.938	3.933	2150.00
M5I	4.944	3.979	1650.00
M1II	4.968	3.764	1775.00
M2II	4.957	3.984	1800.00
M3II	4.944	4.035	1600.00
M4II	4.909	4.022	1975.00
M5II	4.915	4.002	1750.00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Tabla XIX. Resultados de ensayos a compresión paralela

Longitud = 20 cms.

Especie: persea americana mill.

Probeta	sección		Carga (Kg.)
	Base A	Altura B	
A1I	4.791	4.848	5630.00
A2I	5.130	4.730	6400.00
A3I	5.065	4.753	6340.00
A4I	5.004	4.818	6200.00
A5I	5.002	5.002	7570.00
A1II	5.014	4.874	6900.00
A2II	5.010	5.013	7330.00
A3II	4.980	4.878	7220.00
A4II	5.021	5.000	6520.00
A5II	5.002	5.016	7570.00

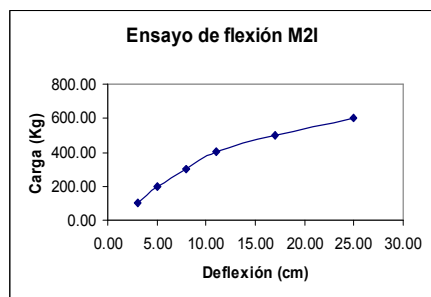
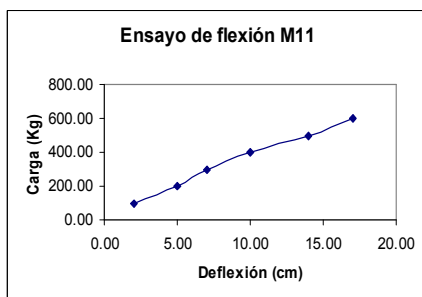
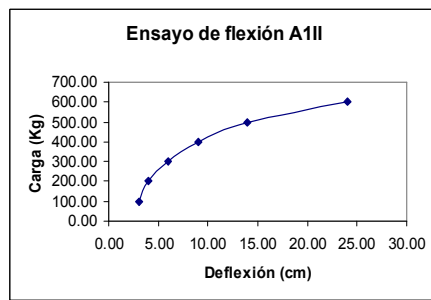
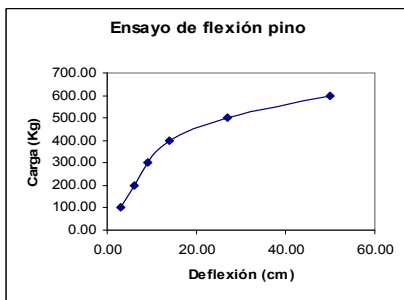
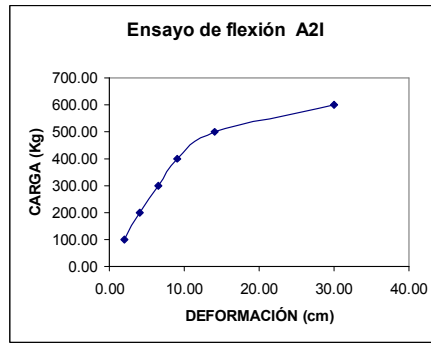
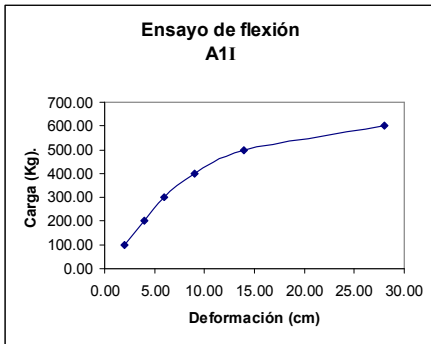
Longitud = 20 cms.

especie: mangifera indica.

Probeta	Sección		Carga (Kg.)
	Base A	Altura B	
M1I	5.025	5.021	7700.00
M2I	4.917	4.916	6690.00
M3I	5.022	4.937	6370.00
M4I	4.943	4.912	5190.00
M5I	5.031	4.917	6200.00
M1II	5.020	5.000	6130.00
M2II	5.030	5.032	6400.00
M3II	4.971	4.978	6480.00
M4II	4.854	5.005	6300.00
M5II	4.938	4.856	5100.00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 39. Gráfica esfuerzo deformación



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Tabla XX. Porcentajes de humedad ensayo a flexión

Probeta	Peso húmedo gms.	Peso seco gms.	% Humedad
M1I	7.723	7.125	8.39
M2I	7.845	7.152	9.69
M3I	6.745	6.155	9.59
M4I	7.994	7.225	10.64
M5I	6.543	6.035	8.42
M1II	6.337	5.678	11.61
M2II	7.445	6.785	9.73
M3II	7.432	6.825	8.89
M4II	6.778	6.301	7.57
M5II	6.325	5.798	9.09
A1I	5.857	5.254	11.48
A2I	6.523	5.825	11.98
A3I	6.965	6.394	8.93
A4I	5.981	5.483	9.08
A5I	5.748	5.215	10.22
A1II	6.087	5.524	10.19
A2II	5.796	5.296	9.44
A3II	6.897	6.225	10.80
A4II	6.021	5.559	8.31
A5II	5.998	5.432	10.42

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 40. Árboles de mango



Fuente: Finca San Gabriel, El Amatio, Santa Rosa, Guatemala

Figura 41. Informe No. 1213-M flexión



INFORME No. 1213-M

INTERESADO: CARLOS A. ALDANA
PROYECTO: TESIS DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS DE MANGO Y AGUACATE.
ASUNTO: ENSAYOS DE FLEXION, COMPRESION PARALELA Y CORTE A PROBETAS DE MADERA.
PROVEEDOR: *****
FECHA: GUATEMALA, 04 DE NOVIEMBRE DE 2003.

Antecedentes

El estudiante CARLOS ALBERTO ALDANA ALBANES, con carne No. 94-15453 de la carrera de Ingeniería civil, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo a flexión, compresión paralela y corte, a probetas de madera, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de tesis "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS DE MANGO Y AGUACATE".

Resultados

Flexión

Probeta	Modulo de Ruptura kg/cm ²	Modulo de Elasticidad kg/cm ²	Carga ultima Kg	Esfuerzo de corte Kg/cm ²	Deformación última cms
M1I	255.53	73836.00	575	35.48	1.7
M2I	275.53	73836.00	620	38.25	3.0
M3I	244.42	73836.00	550	33.94	1.6
M4I	275.53	65149.41	620	38.25	2.7
M5I	237.75	55377.00	535	33.01	2.7
M1II	271.08	52740.00	610	37.64	3.3
M2II	206.65	56796.92	465	28.69	1.3
M3II	222.20	67123.64	500	30.85	1.7
M4II	211.09	56796.92	475	29.31	1.7
M5II	293.30	67123.64	660	40.72	3.7
A1I	318.33	82040.00	675	43.40	2.7
A2I	282.96	82040.00	600	38.58	3.0
A3I	247.59	52740.00	525	33.76	5.0
A4I	299.47	73836.00	635	40.83	4.0
A5I	271.17	92295.00	575	36.97	2.2
A1II	294.75	82040.00	625	40.19	2.5
A2II	297.11	67123.60	630	40.51	3.9
A3II	280.60	82040.00	595	38.26	3.3
A4II	318.33	67123.60	675	43.40	5.0
A5II	292.39	73836.00	620	39.86	2.7





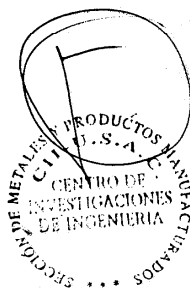
INFORME No. 1213-M

INTERESADO: CARLOS A. ALDANA

PROYECTO: TESIS DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y
PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS DE MANGO Y
AGUACATE.

Compresión Paralela

Probeta	Esfuerzo kg/cm ²
M1I	305.19
M2I	276.77
M3I	256.92
M4I	213.76
M5I	250.63
M1II	244.22
M2II	252.85
M3II	261.86
M4II	259.32
M5II	212.69
A1I	242.39
A2I	263.76
A3I	263.36
A4I	257.16
A5I	302.56
A1II	282.34
A2II	291.86
A3II	297.21
A4II	259.71
A5II	301.71



.../..

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 43. Informe No. 1213-M corte



O.T. No. 16962

INFORME No. 1213-M

INTERESADO: CARLOS A. ALDANA

PROYECTO: TESIS DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MADERAS DE MANGO Y AGUACATE.

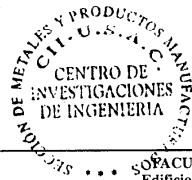
Corte

Probeta	Esfuerzo kg/cm ²
M1I	74.82
M2I	78.91
M3I	88.07
M4I	110.70
M5I	83.87
M1II	94.92
M2II	91.15
M3II	80.20
M4II	100.03
M5II	88.97
A1I	74.61
A2I	66.88
A3I	58.69
A4I	57.54
A5I	55.96
A6I	91.65
A1II	66.68
A2II	54.41
A3II	81.59
A4II	83.67
A5II	81.42
A6II	67.68

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
 Jefe de Metales y Productos
 Manufacturados

/cbr



Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR C.I.I.



... SOFACULTAD DE INGENIERIA -USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
 E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII

Figura 44. Informe laboratorio 058-03



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No. 16842
No. Informe Lab 058-03

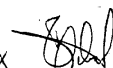
Interesado: Carlos Alberto Aldana Tesis Ingeniería Civil, Asesor Ing. Hugo Bosque
Muestra: 20 probetas de madera
Fecha: 17 de octubre del 2003

Evaluación de contracción volumétrica y densidad según Norma ASTM D-143

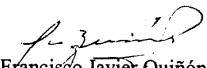
Probeta *	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seco (g/cm ³)	Contracción Volumétrica (cm ³)
A1I	0.734	0.641	2.404
A1II	0.555	0.475	1.790
A2I	0.550	0.484	2.056
A2II	0.485	0.430	2.228
A3I	0.539	0.470	1.850
A3II	0.605	0.485	0.804
A4I	0.730	0.632	2.800
A4II	0.555	0.474	1.002
A5I	0.539	0.475	2.111
A5II	0.538	0.457	1.206
M1I	0.645	0.556	1.628
M1II	0.638	0.560	1.756
M2I	0.652	0.566	1.702
M2II	0.634	0.544	1.479
M3I	0.643	0.574	2.401
M3II	0.656	0.580	2.260
M4I	0.642	0.566	2.352
M4II	0.643	0.551	1.274
M5I	0.614	0.532	1.575
M5II	0.629	0.547	1.465

*Muestras proporcionadas por el interesado

Atentamente,

x 
Ing. Cesar Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial




Vo.Bo. Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476 3003, Planta 113 0500 Fax 4503 FAX: 476 3003

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII