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

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO

Karina Mayté López Delgado
Asesorado por la Inga. Adela María Marroquín González

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KARINA MAYTÉ LÓPEZ DELGADO
ASESORADO POR LA INGA. ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 3 de febrero de 2016.

Karina Mayté López Delgado

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 3 de julio del 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Respetable Ingeniero Wong Davi

Esperando que tenga éxitos en sus actividades laborales, por este medio hago de su conocimiento que, en mi calidad de asesora del trabajo de graduación de la estudiante **KARINA MAYTÉ LÓPEZ DELGADO** quien se identifica con registro académico **2011-22769** y número de carné **2230 22195 0101**, he revisado el Informe Final de Trabajo de Graduación, titulado:

"CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO".

Por lo que considero que el presente informe cumple con los requisitos necesarios para ser presentado ante las autoridades de la Escuela de Ingeniería Química y lo doy **por aprobado.** Dejo a su consideración que la estudiante LÓPEZ DELGADO continúe con los trámites pertinentes para la defensa y aprobación del mismo ante la terna evaluadora y su persona.

Sin otro particular me despido de usted,

Atentamente,

Inga. Qca. Adela María Marroquín González
Asesora de Trabajo de Graduación

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446

Guatemala, 17 de agosto de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.032.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **109-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Karina Mayté López Delgado.**
Identificada con número de carné: **2011-22769.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Adela María Marroquín González.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.045.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **KARINA MAYTÉ LÓPEZ DELGADO** titulado: **"CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERÍA QUÍMICA
U. S. A. C.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, septiembre 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 443-2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, TENSIÓN Y FLEXIÓN DE LA MADERA DANTO (*Vatairea lundellii*), A ESCALA LABORATORIO,** presentado por la estudiante universitaria: **Karina Mayté López Delgado,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañarme en cada día de mi vida, darme fuerza, sabiduría y amor. Sin Él esto no hubiera podido ser posible.
Mis padres	Rolando López y Maira de López, por ser los pilares de mi vida y guiarme siempre en el camino correcto. Por el amor incondicional que me brindan todos los días. Este triunfo es suyo también.
Mi hermano	José López por la paciencia que me ha tenido desde pequeña y por ser un excelente hermano mayor.
Mis abuelitos	Mercedes de López, Isauro López (q. e. p. d.) Elvira de Delgado, y Elfego Delgado por el amor que me brindaron desde pequeña y todas las enseñanzas que me dejaron.
Mis tíos	Por estar siempre pendientes de mis estudios y brindarme su apoyo cuando lo necesito.
Mis primos	Por todas las aventuras y risas que hemos compartido juntos.

Mis amigos de la iglesia	Por brindarme siempre su ayuda cuando la necesité y por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos.
Mis amigos de vida	Por todos los momentos que han estado a mi lado y porque más que amigos, son mi familia.
Mis amigos de Universidad	Por haberme acompañado durante toda esta aventura de la Universidad y por haberme enseñado qué es una verdadera amistad. A los que estuvieron desde el principio, a los que se unieron con los años y la que nos dejó pero siempre llevamos en el corazón.

AGRADECIMIENTOS

Dios	Por su amor incondicional y por nunca dejarme sola en los momentos difíciles.
Mis padres	Por darme ánimos y apoyo en todo momento.
Mi hermano	Por hacerme reír y estar siempre conmigo.
Mis abuelitos	Por consentirme y darme todo su amor.
Mis tíos	Por su apoyo incondicional.
Mis primos	Por alegrarme siempre que lo necesito.
Mis amigos	Por compartir alegrías, tristezas, aventuras y risas conmigo.
Mi asesora	Ingeniera Adela Marroquín, por el tiempo y paciencia que me brindó durante todo este proceso.
Al CII	Por abrirme las puertas y darme siempre la ayuda que necesitaba. Especialmente a los ingenieros: Jorge Godínez, Mauricio Rivera, Dennis Argueta, Jessiel Enríquez, y Fredy Contreras.

Área de Fisicoquímica	Por siempre recibirme con los brazos abiertos y por todos los buenos momentos compartidos.
Escuela de Ingeniería Química	Por todas las enseñanzas brindadas.
Facultad de Ingeniería	Por formarme en mi carrera profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una excelente casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS VII
GLOSARIO IX
RESUMEN XI
OBJETIVOS XIII
INTRODUCCIÓN XV

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 3
2.1. Madera 3
2.1.1. Clasificación de la madera 4
2.1.1.1. Gimnospermas 4
2.1.1.2. Angiosperma 5
2.1.2. Composición química de la madera 6
2.1.2.1. Lignina 7
2.1.2.2. Celulosa 8
2.1.2.3. Extraíbles 9
2.1.2.3.1. Solubles en agua 10
2.1.2.3.2. Solubles en disolventes orgánicos 10
2.1.2.4. Ceniza 10
2.1.2.5. Compuestos fenólico 11
2.1.2.5.1. Taninos 12
2.1.3. Propiedades físicas de la madera 12

2.1.3.1. Contenido de humedad 12
2.1.3.2. Peso específico 13
2.1.3.3. Porcentaje de absorción 14
2.1.3.4. Durabilidad 15
2.1.4. Propiedades físico-mecánicas de la madera 15
2.1.4.1. Flexibilidad 15
2.1.4.2. Contracción y expansión 16
2.1.4.3. Tensión 16
2.2. Características de la especie Danto (*Vatairea Lundellii*) 16
2.2.1. Descripción botánica 17
2.2.1.1. Forma 17
2.2.1.2. Corteza 17
2.2.1.3. Madera 17
2.2.1.4. Ramas jóvenes 17
2.2.1.5. Hojas 18
2.2.1.6. Flores 18
2.2.1.7. Frutos 19
2.2.2. Propiedades 19
2.2.2.1. Peso 19
2.2.2.2. Secado y contracción 19
2.2.2.3. Durabilidad 19

3. MARCO METODOLÓGICO 21
3.1. Variables 21
3.2. Delimitación del campo de estudio 22
3.2.1. Área de conocimiento 22
3.2.2. Proceso 22
3.2.3. Lugar 22
3.3. Recursos humanos disponibles 22

3.4. Recursos materiales disponibles 23
3.4.1. Materia prima 23
3.4.2. Equipo para la caracterización química y físico-mecánica 23
3.4.2.1. Reactivos 23
3.4.2.2. Cristalería.....24
3.4.2.3. Equipo.....24
3.5. Técnicas cualitativas o cuantitativas 25
3.6. Recolección y ordenamiento de la información 25
3.6.1. Preparación de las muestras.....25
3.6.2. Determinación de la humedad 25
3.6.3. Determinación de taninos 26
3.6.3.1. Extracción de taninos con sulfito de sodio 26
3.6.3.2. Determinación del porcentaje de taninos utilizando el método de Stiasny 26
3.6.4. Determinación de extraíbles.....27
3.6.5. Determinación de lignina.....28
3.6.6. Determinación de celulosa 29
3.6.7. Determinación de ceniza.....30
3.6.8. Determinación de absorción.....31
3.6.9. Determinación de la densidad.....31
3.6.10. Determinación de la tensión.....31
3.6.11. Determinación de la flexión 32
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información 33
3.8. Análisis estadístico 37

4. RESULTADOS 43

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 47

CONCLUSIONES 51
RECOMENDACIONES 53
BIBLIOGRAFÍA 55
APÉNDICES 57
ANEXOS 67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Rodela de Secuoya de dos mil años. Se encuentra en Forintek, Vancouver, British Columbia, Canadá 4
2. Estructura atómica de una gimnosperma 5
3. Estructura atómica de una angiosperma 6
4. Estructura química de la lignina 7
5. Estructura química de la celulosa 8
6. *Vatairea Lundellii* 16
7. Forma de colocar las piezas de madera 32
8. Composición química de la madera Danto (*Vatairea lundellii*) 43
9. Comparación de la densidad de la madera seca y húmeda 44

TABLAS

I. Descripción de las variables por utilizar 21
II. Porcentaje de humedad 33
III. Datos para la determinación de taninos 33
IV. Datos para la determinación de extraíbles 34
V. Datos para la determinación de lignina 34
VI. Datos para la determinación de celulosa.....34
VII. Datos para la determinación de ceniza 35
VIII. Datos para la determinación de la absorción.....35
IX. Datos para la determinación de la densidad en madera seca 35

X. Datos para la determinación de la densidad en madera húmeda 36
XI. Datos para la determinación de la tensión 36
XII. Datos para la determinación de la flexión 36
XIII. Análisis estadístico de la humedad de la madera 38
XIV. Análisis estadístico de la humedad del aserrín 39
XV. Análisis estadístico de la densidad en la madera seca 39
XVI. Análisis estadístico de la densidad en la madera húmeda 39
XVII. Análisis estadístico del porcentaje de ceniza 40
XVIII. Análisis estadístico del porcentaje de absorción 40
XIX. Análisis estadístico del porcentaje de extraíbles 40
XX. Análisis estadístico del porcentaje de lignina 41
XXI. Análisis estadístico del porcentaje de celulosa 41
XXII. Análisis estadístico del porcentaje de taninos 41
XXIII. Análisis estadístico de la tensión 42
XXIV. Análisis estadístico de la flexión 42
XXV. Resultados generales de la caracterización química 43
XXVI. Porcentaje de taninos usando el método de Stiasny 44
XXVII. Resultados físicas generales 44
XXVIII. Resultados físico-mecánicos generales 45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\mathbf{z}$	Ancho de la placa metálica
$\mathbf{a}$	Ancho de la probeta
$\mathbf{b}$	Ancho efectivo
$\mathbf{C}$	Carga de ruptura
$\mathbf{Q}$	Carga máxima aplicada
$\mathbf{Cv}$	Coeficiente de variación
$\mathbf{h}$	Contenido de humedad
$\bar{\mathbf{x}}_{\mathbf{t}}$	Dato que se está evaluando
$\boldsymbol{\rho}$	Densidad
$\boldsymbol{\sigma}$	Desviación estándar
$\mathbf{DAP}$	Diámetro a la altura del pecho
$\mathbf{L}$	Distancia entre los apoyos
$\mathbf{d}$	Espesor efectivo
$\mathbf{H_i}$	Hipótesis estadística
$\mathbf{H_o}$	Hipótesis nula
$\mathbf{m}$	Masa
$\bar{\mathbf{x}}$	Media aritmética
$\mathbf{R}$	Módulo de flexión
$\mathbf{N}$	Número de datos
$\mathbf{No.St}$	Número de Stiasny
$\mathbf{PB}$	Peso bruto de la muestra
$\mathbf{PC}$	Peso de las cenizas

PLL	Peso de la lignina seca
P	Peso de la madera
PML	Peso de la madera libre de extraíbles
PM	Peso de la muestra
Ph	Peso de la probeta húmeda
PT	Peso del papel filtro
PL	Peso de lignina en 1 gramo de madera
PMT	Peso de madera antes de la extracción
Po	Peso del anhidro de la probeta
PLS	Peso del extracto tánico
P es	Peso específico
P12	Peso específico a 12 % de humedad
Pm	Peso húmedo de la madera
% **ab**	Porcentaje de absorción
% **cel**	Porcentaje de celulosa
% **cen**	Porcentaje de cenizas
% **ext**	Porcentaje de extraíbles
% **lig**	Porcentaje de lignina
t	T de Student
Rcn	Tensión máxima
$\mathbf{x_i}$	Valores obtenidos
v	Volumen de la madera

GLOSARIO

Absorción	Capacidad que tiene la madera de absorber, retener y expulsar agua en las paredes de las células.
Aserrín	Conjunto de partículas que se obtienen del proceso de serrado de la madera.
Celulosa	Homopolisacárido, rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos a varios miles de unidades de glucosa.
Ceniza	Producto de combustión, compuesto principalmente por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales.
Densidad	Relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Extraíbles	Sustancias que se extraen de diferentes partes de los árboles de coníferas y latifoliadas mediante agua, disolventes, orgánicos, vapor de agua y mediante un exprimido mecánico.
Flexión	Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular al eje.

Humedad	Se refiere a la masa de agua contenida en la madera, expresada como porcentaje de la masa de pieza anhidra.
Lignina	Polímero de naturaleza aromática con alto peso molecular, probablemente, está ligada a los polisacáridos de la madera.
Madera	Material anisotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol.
Taninos	Polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios, y que tienen la habilidad de formar complejos desempeñando en las plantas una acción defensiva frente a los insectos.
Tensión	Es aquella que se determina con la carga máxima soportada por el cuerpo y se verifica cuando la carga que se aplica, más allá del límite elástico, provoca la rotura en el cuerpo.

RESUMEN

Se caracterizó la madera Danto (*Vatairea Lundellii*) por medio de las propiedades químicas: lignina, celulosa, extraíbles, taninos y por medio de las propiedades físico-mecánicas de tensión y flexión a escala laboratorio.

Los ensayos realizados son los siguientes: preparación de madera libre de sustancias extraíbles según norma ANSI/ASTM D1105-56, determinación de alfa celulosa en madera según norma ANSI/ASTM D110360, lignina en madera según norma ANSI/ASTM D1106-56, cenizas en madera según norma ANSI/ASTM D1102-56, taninos en madera según método de Stiasny, contenido de humedad en base húmeda, absorción, densidad y ensayos para probetas pequeñas de madera libre de defectos para la determinación de la tensión y flexión según la norma ASTM D143-94.

A los resultados obtenidos para cada parámetro se les hizo un análisis estadístico ya que se realizaron tres repeticiones de cada ensayo. Se efectuó un análisis de varianza y la prueba T-de student para asegurar la confiabilidad de los resultados.

Los resultados obtenidos de la caracterización química de la madera fueron 9,839 % de humedad, 5,750 % de cenizas, 17,911 % de extraíbles, 31 % de lignina y 44,553 % de celulosa. El porcentaje de taninos presentes en la madera fue de 65,667. La densidad, absorción, tensión y flexión presentaron valores de 0,705 g/cm^3, 17,991 %, 11,599 kg/cm^2 y 52,117 kg/cm^2 respectivamente.

OBJETIVOS

General

Caracterizar a nivel laboratorio los componentes químicos y las propiedades físico-mecánicas (tensión y flexión) de la madera Danto (*Vatairea Lundellii*).

Específicos

1. Determinar los compuestos químicos de la madera (contenido de lignina, celulosa, extraíbles y taninos).

2. Determinar las propiedades físicas (el porcentaje de absorción, ceniza, humedad y la densidad) de la madera Danto (*Vatairea Lundellii*).

3. Determinar por el método de Stiasny el porcentaje de taninos en la madera Danto (*Vatairea Lundellii*).

4. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera Danto (*Vatairea Lundellii*) por medio de la determinación de la tensión y flexión.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que posee gran riqueza forestal la cual consiste en más de 500 especies forestales, sin embargo, por la falta de información que se tiene de la mayoría de las especies,no se han podido aprovechar de la mejor manera.

La composición química de la madera difiere entre especies de árboles, sin embargo, todos los tipos de madera contienen carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos en menor proporción. El porcentaje de cada uno de los elementos mencionados dará las propiedades del árbol. En su mayor parte la madera se compone de: celulosa, hemicelulosa, lignina, extraíbles y no extraíbles como compuestos inorgánicos.

En este estudio se determinó el porcentaje de celulosa, lignina, extraíbles, ceniza, humedad y taninos que posee la madera Danto (*Vatairea Lundellii).* Para estos análisis se utilizaron las normas ASTM correspondientes para cada prueba, así se podía realizar la extracción del componente deseado para, posteriormente, determinar el porcentaje en peso presente en la madera. También se determinó la densidad (en madera seca y mojada), absorción, tensión y flexión. Para estas pruebas se realizaron probetas del tamaño adecuado según el análisis por realizar. Para cada uno de los estudios se hicieron tres repeticiones para así realizar un análisis estadístico y corroborar la confiabilidad de los resultados.

La celulosa es la biomolécula de mayor abundancia en la biomasa terrestre, por eso presenta el mayor porcentaje en la madera. Es un homopolisacárido rígido, insoluble, que contiene varios miles de unidades de glucosa. Debido a su insolubilidad en agua es necesario disolverlo en soluciones concentradas de ácidos o bases para su correcta extracción.

La lignina consiste en un grupo de compuestos químicos usados en las paredes celulares de las plantas para crear madera. Se caracteriza por ser un complejo aromático del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas).

Los compuestos extraíbles son las sustancias en mayor proporción que no están en la composición de las paredes celulares. Básicamente, están compuestos por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, terpenos, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas, esterinas, aceites esenciales y otros.

La ceniza en la madera consiste en pequeñas cantidades de elementos minerales como calcio, potasio y magnesio.

Los taninos son polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios y que tienen la habilidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucléicos, esteroides, alcaloides y saponinas desempeñando en las plantas una acción defensiva frente a los insectos.

La humedad consiste en el porcentaje de agua presente en la madera. La absorción es el incremento en la masa del agregado por al agua en los poros del material. Debido a la propiedad de absorción se realizó la densidad de la madera antes y después de ser sumergida en agua por 24 horas.

La tensión en una madera indica la resistencia que esta va a tener al ser aplicada a ella una fuerza estática. La flexión indica la resistencia a las presiones, es decir, que pueden volver a su posición original.

Luego de realizadas todas las pruebas mencionadas se presentan los resultados de cada uno para determinar sus propiedades.

1. ANTECEDENTES

Guatemala es un país que posee gran cantidad de recursos naturales los cuales son desaprovechados anualmente por la falta de información que se tiene de ellos. Existe gran diversidad de especies de árboles los cuales podrían ser utilizados en diferentes áreas de la industria. La madera constituye el componente de mayores posibilidades futuras ya que es un recurso renovable y puede ser aprovechado al tener la información adecuada de cada especie. Actualmente se conocen varias investigaciones acerca de las propiedades químicas y físicas de diferentes especies de madera, como son:

- En 2012 el doctor Martín Miguel Sánchez Acosta de la Universidad de Valladolid caracterizó la madera del nuevo híbrido Eucalyptus grandis, Hill ex Maiden x Eucalyptus tereticornis, Smith. Expuso su aptitud de usos en Argentina. Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de determinar las condiciones adecuadas para cultivar el árbol antes mencionado.

- En 2009 la ingeniera Sylvia Mercedes Batres España elaboró una investigación en donde caracterizaba químicamente la madera del primer raleo de palo blanco (Tabebuia donnell-simithii, Rose) a nivel laboratorio, proveniente del ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla, Guatemala. Se determinó el contenido de celulosa, lignina, extraíbles, taninos y cenizas en nueve diferentes árboles a tres diferentes alturas.

- En 2008 el ingeniero químico Francisco José Paz Fong investigó la determinación de la composición química de la madera obtenida del

primer clareo en árboles de melina (*Gmelina arbórea Roxb.*), de una plantación proveniente del departamento de Izabal. Dicha investigación consistió en determinar la humedad, porcentaje de taninos, extraíbles, lignina, celulosa y ceniza que posee la madera antes mencionada a diferentes alturas del árbol.

- En 2008 el ingeniero químico Samuel Manolo Muralles Reyes caracterizó químicamente la madera del primer raleo de la especie Teca (*Tectona grandis L.f.*), a nivel de laboratorio, proveniente de la plantación del municipio de Patulul, Suchitepéquez. Los ensayos químicos realizados fueron los siguientes: preparación de madera libre de sustancias extraíbles, determinación de alfa celulosa en madera lignina en madera, cenizas en madera, taninos en madera y contenido de humedad en base húmeda.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Madera

La madera es una sustancia que se encuentra en el tronco de un árbol. Este material se obtiene de la parte del tronco que está debajo de la corteza. Posee paredes celulares compuestas de una mezcla característica de polímeros de celulosa, los carbohidratos no celulósicos y lignina, organizados como una matriz reforzada. Esto representa una combinación de respuestas elásticas y plásticas de la pared celular a fuerzas aplicadas.

La madera exhibe diferentes propiedades físicas cuando se ensaya a lo largo de sus tres grandes ejes direccionales. Este comportamiento se debe a la estructura y organización de la celulosa en las paredes celulares, la forma alargada de la célula de la madera y su disposición longitudinal-radial resultante de la simetría radial del tronco del árbol.

La madera está formada por diversos tipos de células especializadas en formar tejido, por lo que no se le considera un material homogéneo. Los tejidos poseen funciones fundamentales en el árbol como: transformar y almacenar alimentos.

Figura 1. **Rodela de Secuoya de dos mil años. Se encuentra en Forintek, Vancouver, British Columbia, Canadá**

Fuente: *La madera.* https://es.slideshare.net/catedradiez/unidad-1-madera1. Consulta: 7 de mayo de 2016.

2.1.1. Clasificación de la madera

La madera es producto de un proceso metabólico en un organismo vivo que crece en la naturaleza en condiciones climáticas, geográficas y de suelos muy diversos. Esta diversidad afecta en el crecimiento y las propiedades de la madera en su estructura celular. Por esto, se pueden clasificar los tipos de árboles según su estructura celular:

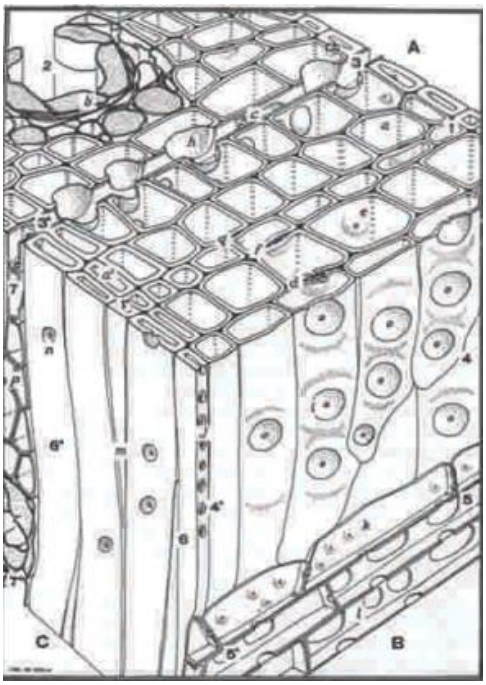
- Angiospermas
- Gimnospermas

2.1.1.1. Gimnospermas

Plantas vasculares que forman semillas pero carecen de flores. El xilema del tallo posee únicamente traqueadas y parénquima leñoso. No hay fibras ni

vasos leñosos. La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia.

Figura 2. **Estructura atómica de una gimnosperma**



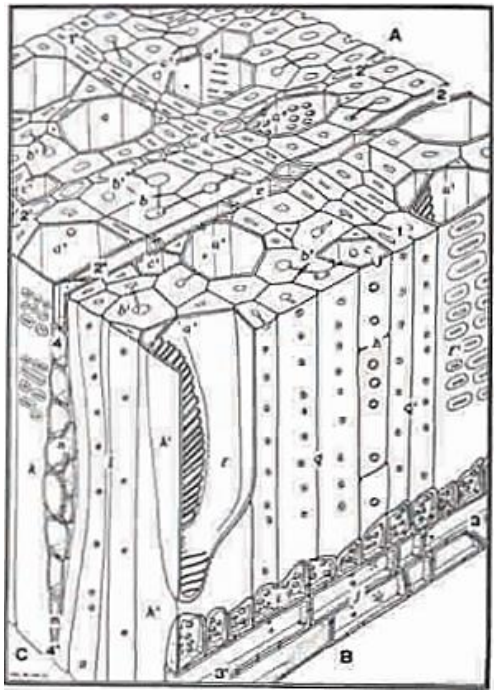
Fuente: *Biociencia de Samuel.*
http://www.aula2005.com/html/cn1eso/14gimnospermes/fotosintesies.jpg. Consulta: 20 de enero de 2016.

2.1.1.2. Angiosperma

Son plantas con tejidos y órganos perfectamente diferenciados. Todas estas plantas poseen flores que producen semillas encerradas que se convierten en fruto. Están constituidos esencialmente por vasos, los cuales

realizan la función conductora de la savia y por fibras que son el sostén del árbol

Figura 3. **Estructura atómica de una angiosperma**



Fuente: *Biociencia de Samuel.* http://www.aula2005.com/html/cn1eso/14gimnospermes/fotosintesies.jpg. Consulta: 20 de enero de 2016.

2.1.2. Composición química de la madera

La composición química de la pared celular de las fibras de madera es de mucha importancia, especialmente en maderas duras, por el efecto que tiene en la calidad de la pulpa y papel. Los elementos químicos principales de madera son carbono, hidrógeno y oxígeno; las cantidades pequeñas de nitrógeno también están presentes.

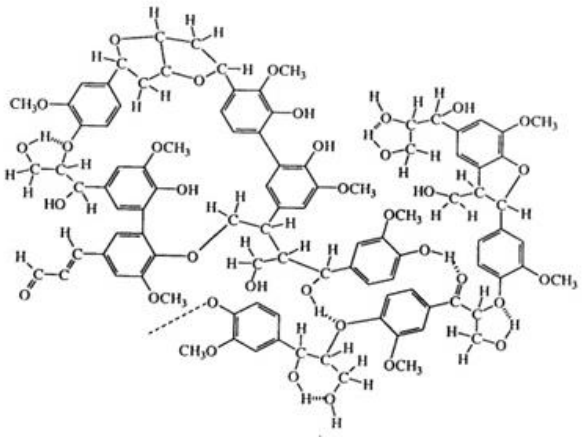
2.1.2.1. Lignina

Es un grupo de compuestos químicos usados en las paredes celulares de las plantas para crear madera. Es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas, conforma la pared celular en una disposición regulada a nivel nano-estructural.

La lignina está presente en todas las plantas vasculares, y al igual que muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis. La lignina está considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial.

La lignina está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos. Los polímeros de lignina son estructuras transconectadas con un peso molecular de 10 000 uma.

Figura 4. **Estructura química de la lignina**



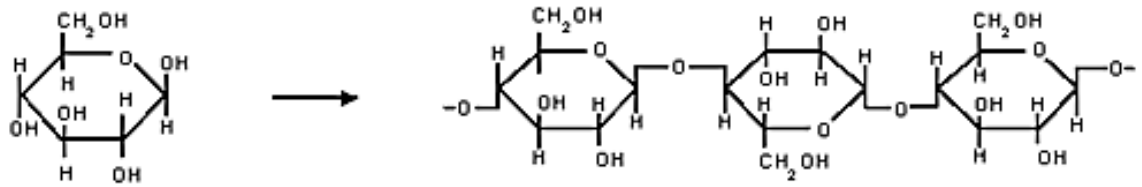
Fuente: BONILLA OCAMPO, Andrés Fernando. *Síntesis y caracterización de copolímeros de glicina y lignina extraída de retamo espinoso* (*Ulex europaeus).* p. 18.

2.1.2.2. Celulosa

La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es un homopolisacárido (compuesto de un único tipo de monómero) rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. La celulosa corresponde a la biomolécula más abundante de la biomasa terrestre.

Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de n = 200, es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de ß-glucosa a través de enlaces ß-1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez.

Figura 5. **Estructura química de la celulosa**



Fuente: BONILLA OCAMPO, Andrés Fernando. *Síntesis y caracterización de copolímeros de glicina y lignina extraída de retamo espinoso* (*Ulex europaeus).* p. 22.

La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. La pared de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40 % de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90 %.

A pesar de que está formada por glucosas, los animales no pueden utilizar la celulosa como fuente de energía, ya que no cuentan con la enzima necesaria para romper los enlaces β-1,4-glucosídicos, es decir, no es digerible por los animales. Sin embargo, es importante incluirla en la dieta humana (fibra dietética) porque al mezclarse con las heces, facilita la digestión y defecación, así como previene los malos gases.

En el aparato digestivo de los rumiantes (pre-estómagos), de otros herbívoros y de termitas, existen microorganismos, muchos metanógenos, que poseen una enzima llamada celulasa que rompe el enlace β-1,4-glucosídico y al hidrolizarse la molécula de celulosa quedan disponibles las glucosas como fuente de energía.

2.1.2.3. Extraíbles

Los árboles contienen otras sustancias en mayor proporción las cuales no entran en la composición de las paredes celulares, a estos se les llama sustancias extraíbles. Están compuestos por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, terpenos, fenoles, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas, esterinas, aceites esenciales y otros.

La cantidad y composición de sustancias extraíbles en el árbol depende de la especie, la parte del árbol, la época del año, las condiciones de crecimiento y otros factores. Existe una considerable variación en la distribución

de los extraíbles en un árbol; ellos se encuentran distribuidos en follaje, madera, corteza y raíces. La corteza y las raíces son las partes donde se encuentran en mayor concentración los extraíbles

Las sustancias extraíbles se dividen en dos grupos: solubles en agua y solubles en disolventes orgánicos.

2.1.2.3.1. Solubles en agua

El follaje contiene considerable cantidad (hasta 30 %) de sustancias solubles en agua, los cuales pertenecen a diferentes clases de compuestos, que pudieran clasificarse de la siguiente forma: vitaminas (C, B1, B2, B6, H, ácido fólico), compuestos nitrogenados (proteicos y no proteicos), ácidos, sustancias fenólicas, azúcares (mono y oligosacáridos) y cenizas (macro y microelementos).

2.1.2.3.2. Solubles en disolventes orgánicos

La composición química de las sustancias solubles en disolventes orgánicos es muy variada. En disolventes orgánicos fundamentalmente se extraen grasas, resinas y ácidos grasos, ésteres de estos ácidos, cera, fitoesterinas. Tanto la cantidad como la composición de estas sustancias dependen del disolvente en que son extraídos.

2.1.2.4. Ceniza

Pequeñas cantidades de elementos minerales, como calcio, potasio y magnesio, se encuentran en ceniza de madera. Normalmente, el volumen de la

ceniza raramente es más bajo que 0,2 % o más alto que el 1 % del porcentaje en peso de madera.

La ceniza puede contener cantidades diminutas de una lista larga de otros elementos, como fósforo (P), azufre (S), sodio (Na), aluminio (Al), titanio (Ti), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), plata (Ag), bario (Ba), plomo (Pb), y oro (Au). En algunas especies tropicales, la mayoría de la ceniza está compuesta de sílice (SiO_2).

Algunos de los elementos inorgánicos presentes en madera son esenciales para su crecimiento, considerando que otros necesariamente no se requieren. Los elementos metálicos están a menudo absorbidos en el árbol a través del sistema de la raíz y se transportan a todas las áreas dentro del árbol creciente. Para siete especies, se ha determinado la distribución de 12 elementos inorgánicos en varias áreas del tejido de un árbol como las raíces, corteza, madera, y hojas.

2.1.2.5. Compuestos fenólico

Las plantas producen una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol, un grupo funcional hidroxilo en un anillo aromático. Los compuestos fenólicos de las plantas forman un grupo químicamente heterogéneo de unos 10 000 compuestos: algunos son solubles solo en solventes orgánicos, otros son ácidos carboxílicos y glicósidos solubles en agua, mientras que otros son grandes polímeros muy insolubles.

De acuerdo con su diversidad química, los fenoles tienen funciones muy diversas en las plantas. Muchos tienen papeles en la defensa de las plantas contra herbívoros o patógenos. Otros participan en el soporte mecánico, en la

atracción de polinizadores y dispersantes de frutos, en la absorción de la radiación ultravioleta dañina o en la reducción del crecimiento de las plantas competidoras próximas.

2.1.2.5.1. Taninos

Los taninos son compuestos polifenólicos, más o menos complejos, de origen vegetal, masa molecular relativamente elevada, sabor astringente, conocidos y empleados desde hace muchos siglos por su propiedad de ser capaces de convertir la piel en cuero, es decir, de curtir las pieles. Esto se debe a su capacidad para unirse a macromoléculas como hidratos de carbono y proteínas. Precipitan con sales de metales pesados, proteínas y alcaloides.

Se trata de compuestos hidrosolubles, dando a veces disoluciones coloidales en agua, solubles también en alcohol y en acetona e insolubles en disolventes orgánicos apolares. Dentro de los vegetales los taninos suelen encontrarse en las vacuolas celulares, combinados con alcaloides, proteínas u osas.

2.1.3. Propiedades físicas de la madera

A continuación se exponen las propiedades físicas de la madera.

2.1.3.1. Contenido de humedad

Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, por la mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que esta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

El contenido de humedad de la madera, “h”, se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra.

$$h = \frac{(P_h - P_o)}{P_o} \times 100 \qquad \text{(ecuación 1)}$$

Donde:

h : es el contenido de humedad [%]

P_h : es el peso de la probeta húmeda [g]

P_o : es el peso anhidro de la probeta [g]

La humedad no es constante en todo el espesor de la pieza, es menor en el interior y tiene más humedad la albura que el duramen.

2.1.3.2. Peso específico

El peso específico está dado por:

$$P_{es} = \frac{P}{V} \qquad \text{(ecuación 2)}$$

Donde:

P_{es} : es el peso específico [g/cm^3]

P : es el peso de la madera [g]

V : es el volumen de la madera [cm^3]

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición en la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Debido a que el contenido de humedad hace variar el peso de la madera y no el del volumen esto afecta el peso específico. Para evitar error en los cálculos se debe referir siempre el peso específico a 12 % de humedad aceptado internacionalmente y utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{12} = P_h - (h - 12)P_h \frac{1-V}{100} \qquad \text{(ecuación 3)}$$

Donde:

P_{12}: es el peso específico a 12 % de humedad [g/cm^3]

P_h: es el peso especifico a h % de humedad [g/cm^3]

h: es la humedad de la madera [%]

V: es el volumen de la madera [cm^3]

2.1.3.3. Porcentaje de absorción

Es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de masa seca.

$$\%ab = \frac{|Ps - Pm|}{Ps} \times 100 \qquad \text{(ecuación 4)}$$

Donde:

$\%ab$: es el porcentaje de absorción [%]

Ps: es el peso seco de la madera [g]

Pm: es el peso húmedo de la madera [g]

2.1.3.4. Durabilidad

Es una propiedad muy variable, pues depende de muchos factores: el ambiente, la especie de la madera, la forma de apeo, las condiciones de la puesta en obra, la forma de secado, las alteraciones de la humedad y sequedad, el contacto con el suelo (empotrada en terrenos arcillosos y en arena húmeda se conserva mucho tiempo, en arenas y calizas, dura poco). También depende del agua (sumergida en agua dulce se conserva mucho tiempo), su tratamiento antes de ser usada, su protección una vez puesta en obra (pinturas, y otros) A más densidad mayor duración.

2.1.4. Propiedades físico-mecánicas de la madera

Las propiedades físico-mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier solicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

2.1.4.1. Flexibilidad

Es cuando tienen gran resistencia de flexión longitudinal, son difíciles de partir y resisten bien las presiones, es decir, que después de la flexión vuelven a su posición original. El límite de la elasticidad será cuando por flexión aparezca una deformación permanente.

2.1.4.2. Contracción y expansión

El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera.

2.1.4.3. Tensión

La tensión es el la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

2.2. Características de la especie Danto (*Vatairea Lundellii*)

Pertenece a la familia de las leguminosas (hirhaceue), específicamente al grupo de la papilionaceas.

Figura 6. ***Vatairea Lundellii***

Fuente: *Naturalista.* http://www.naturalista.mx/taxa/206778-Vatairea-lundellii. Consulta: 15 de junio de 2016.

2.2.1. Descripción botánica

No dejar título suelto, escribir aunque sea una línea de texto

2.2.1.1. Forma

Árbol hasta de 40 m y DAP (diámetro a la altura del pecho) hasta de 1 m; su tronco es muy derecho, con contrafuertes delgados y bien desarrollados, ramas ascendentes y copa redondeada y densa.

2.2.1.2. Corteza

Externa lisa a someramente tisurada, pardo grisácea a moreno rojiza, a veces con grandes lenticelas protuberantes morenas. Interior de color crema rosado, granulosa, amarga; el grosor total de la corteza es de 7 a 20 mm.

2.2.1.3. Madera

Albura de color crema amarillento a ligeramente pardo, con vasos grandes y abundante parénquima vasicéntrico, aliforrne y confluente; generalmente hay menos fibra que parénquima.

2.2.1.4. Ramas jóvenes

Verde grisáceas a pardo oscuras, con grandes lenticelas longitudinales y protuberantes, escasamente pubescentes cuando jóvenes, glabras con la edad.

2.2.1.5. Hojas

Yemas de 5 a 7mrn de largo, filifonnes, rodeadas por estípulas, verde parduscas. Estípulas de 1,5 mm de largo, triangulares, agudas, morenas, glabras caedizas. Hojas dispuestas en espiral, decusadas o verticuladas, imparipinnadas de 12 a 55 cm, incluyendo el pecíolo, compuestas por 10 a 21 folíolos, opuestos o alternos, de 2,5 x 1,5 a 18 x 5 cm, oblongo-lanceolados, con margen casi entero hasta fuertemente aserrado. Ápice agudo o acuminado, base redondeada; verde oscuros y brillantes y glabros en el haz, verde grisáceos glabros o finamente pubescentes en el envés; raquis finamente pubescente o glabro; pecíolos de 3 a 7 mm, glabros o pubescentes, pulvinados. Los árboles de esta especie cambian totalmente sus hojas en abril a mayo, en las zonas más secas de su área de distribución.

2.2.1.6. Flores

En panículas terminales de 20 a 30 cm, pubescentes; pedicelos de 5 a 7 mm de largo; flores papilionadas, de 1,8 a 2 cm de largo; cáliz de 6 a 7 cm de largo, infundibuliforme, con 5 dientecillos, pubescentes en la superficie externa; pétalos amarillos, estandarte de 1,7 cm de largo, con el limbo orbicular, emarginado, unguiculado, glabro, alas de 1.6 cm de largo, oblongas, unguiculadas, glabras: quilla de 1,7 cm de largo. Compuesta por 2 pétalos parcialmente unidos, oblongos redondeados con una cresta en el borde superior cerca de la base, unguiculados, glabros, estambres 10, desiguales, el más largo de 1,6 cm, 9 unidos por la mitad o más de su longitud, el décimo (superior) libre hasta la base; porción libre de los filamentos recorvada hacia arriba. Estambres glabros; ovario estipitado, unilocular, uniovular, alargado, aplanado, pubescente, terminado en un estilo corto recorvado y pubescente,

excediendo apenas los estambres; estigma pequeño simple. Florece de marzo a mayo.

2.2.1.7. Frutos

Vainas indehiscentes, de 10 cm de largo, aplanadas, terminadas en una gran ala membranosa delgada, finamente pubescente, morenas, con el cáliz y parte de la columna estaminal persistente, contiene una semilla aplanada, de 15 mm de largo, de color blanco cremoso.

2.2.2. Propiedades

2.2.2.1. Peso

Densidad básica o gravedad específica (peso madera secado al horno/ volumen de la madera en verde) varía con el sitio de 0,55 a 0,64 g/cm (pesada a muy pesada).

2.2.2.2. Secado y contracción

La madera muestra una velocidad de secado al aire libre moderado, con mínimos o nulos defectos durante dicho proceso. No existen datos disponibles de tiempo de secado al horno.

2.2.2.3. Durabilidad

El duramen se muestra como moderadamente durable de acuerdo con pruebas de biodeteríoro la madera de *Vatairea Lundellii* es muy resistente a la

pudrición y al ataque de insectos, lo que lo hace muy apreciada para trabajos de construcción.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla I. **Descripción de las variables por utilizar**

Núm.	Variable	Unidad	Factor potencial del experimento		Tipo de variable	
			Constantes	No constante	Dependiente	Independiente
1	Peso húmedo	g		x		x
2	Peso seco	g		x	x	
3	Porcentaje de humedad	%		x	x	
4	Peso del extracto fenólico	g		x	x	
5	Peso de la muestra	g		x		x
6	Número de Stiasny	%		x	x	
7	Peso de la muestra libre de extraíbles	g		x		x
8	Peso de la muestra libre de extraíble	g		x		x
9	Porcentaje de extraíbles	%		x	x	
10	Peso del papel filtro	g		x		x
11	Peso de lignina en 1 g de madera	g		x		x
12	Peso antes de la extracción	g		x		x
13	Porcentaje de celulosa	%		X	x	
14	Peso bruto	g		X		x
15	Porcentaje de ceniza	%		X	x	
16	Porcentaje de absorción	%		X	x	
17	Masa de la madera	g		X		x
18	Volumen de la madera	mL		X		x
19	Densidad	g/mL		X	x	
20	Carga máxima aplicada	Kg		X		x
21	Ancho de la probeta	cm	X			x
22	Ancho de la placa metálica	cm	X			x
23	Tensión máxima	kg/cm^2		X	x	
24	Esfuerzo de ruptura	kg		X		x
25	Distancia entre los apoyos	cm		X		x
26	Ancho efectivo	cm		X		x
27	Espesor efectivo	cm		X		x
28	Flexión	kg/cm^2		X	x	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

No dejar títulos sueltos, escribir al menos una línea de texto

3.2.1. Área de conocimiento

Fundamento de conocimiento: química general, química analítica, química orgánica, fisicoquímica y transferencia de masa.

3.2.2. Proceso

Caracterización química y físico-mecánica de la madera Danto (*Vatairea Lundellii*) por medio de varias pruebas y ensayos.

3.2.3. Lugar

La parte experimental de la investigación se realizó en el Laboratorio multipropósito de sección de tecnología de la madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Karina Mayté López Delgado
- Asesora: Inga. Qca. Adela María Marroquín Gonzales
- Coaseor: Ing. Qco. Mauricio Valentino Rivera Tello
- Revisor: Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus

3.4. Recursos materiales disponibles

No dejar títulos sueltos, escribir aunque sea una línea de texto

3.4.1. Materia prima

La madera se obtuvo de la especie arbórea danto en el área del Laboratorio multipropósito de sección de tecnología de la madera, del Centro de Investigaciones de Ingeniería

3.4.2. Equipo para la caracterización química y físico-mecánica

No dejar títulos sueltos, escribir aunque sea una línea de texto

3.4.2.1. Reactivos

- Sulfito de sodio (Na_2SO_3). Grado analítico. Envase 500 gramos.
- Hidróxido de sodio (NaOH). Grado analítico. Peso molecular: 40 g/mol. Presentación: 1 kg.
- Hexano (C6H14). Grado analítico. Peso molecular: 86,18 g/mol.
- Etanol absoluto (C_2H_5OH). Grado analítico. Peso molecular: 46,07 g/mol.
- Ácido acético (CH_3COOH). Grado analítico. Envase 2,5 litros.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4). al 97 %. Peso molecular: 98,08 g/mol.
- Agua desmineralizada. Marca Salvavidas.
- Formaldehido (H_2CO). Grado analítico. Peso molecular: 30 g/mol.
- Ácido clorhídrico (HCl). Grado analítico al 35 %. Peso molecular: 36,46 g/mol.

3.4.2.2. Cristalería

- Beakers de 250 mL, 500 mL y 1 000 mL
- Balones aforados de 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1 000 mL
- Pipetas volumétricas de 5 mL y 10 mL
- Vidrio reloj
- Varilla de agitación
- Earlenmeyers de 250 mL y 300 mL
- Mortero
- Termómetro de 200 °C
- Embudo
- Crisol
- Condensador
- Balones condensadores de 500 mL y 1000 mL
- Decantador

3.4.2.3. Equipo

- Desecador marca Pyrex
- Equipo de reflujo marca Interlab
- Mufla marca Thermo Scientific
- Balanza analítica marca Radwag
- Plancha de agitación y calentamiento marca AS Scientific
- Balanza de humedad marca Radwag
- Horno de secado Marca Thermolyne Oven
- Tamiz No. 40 marca Humboldt
- Pinzas
- Calibrador Vernier marca Stainless Hardened

- Extractor Soxhelt marca Pyrex

3.5. Técnicas cualitativas o cuantitativas

Para esta investigación se utilizará un análisis cuantitativo, ya que se realizarán mediciones de diversos parámetros como pruebas para caracterizar la madera.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

No dejar títulos sueltos, escribir aunque sea una línea de texto

3.6.1. Preparación de las muestras

Las muestras se limpiaron de polvo, musgos y otras impurezas, eliminando las cortezas de las mismas. Después se deja secar al ambiente la madera para luego molerla en un molino de martillos trifásicos de 5 caballos de fuerza. El aserrín obtenido se secó al ambiente, luego se tamizó con un tamiz Núm. 40.

3.6.2. Determinación de la humedad

- Programar la balanza de humedad a una temperatura de 105 °C y un tiempo de 15 minutos.
- Tarar el plato destinado para colocar la muestra.
- Abrir la balanza y pesar 2 gramos de la muestra.
- Cerrar la balanza.
- Esperar los 15 minutos programados.
- Tomar nota del porcentaje de humedad.

3.6.3. Determinación de taninos

no dejar títulos sueltos, escribir aunque sea una línea de texto

3.6.3.1. Extracción de taninos con sulfito de sodio

- Preparar una solución acuosa al 4 % en peso de sulfito de sodio (Na2SO3).
- Tomar 4 g de madera seca y tamizada, colocarlos en un *beacker* de 600 mL.
- Agregar un volumen adecuado de la solución de sulfito, hasta cumplir una relación 1:20. En caso de ser necesario, agregar más solución hasta homogenizar.
- Calentar la mezcla durante 45 minutos con agitación a 70 °C, sin pasarse de dicha temperatura. NO SOBREPASAR 70°C.
- Filtrar la muestra con una manta. Llevar el material soluble a un *beacker* de 600 mL y evaporar en un secador eléctrico, y se pesa hasta lograr peso constante.

3.6.3.2. Determinación del porcentaje de taninos utilizando el método de Stiasny

- Disolver una muestra de 1 gramo de extracto tánico en 100 ml de agua desmineralizada.
- Adicionar 10 mL de HCl 10 M y 20 mL de formaldehido al 37 %.
- Calentar a reflujo por 30 minutos.
- Filtrar en caliente tarando previamente el papel filtro.
- Lavar el precipitado con agua desmineralizada caliente.
- Secar el producto retenido en el papel filtro en una desecadora.

- Pesar el producto obtenido para determinar el contenido tánico.

$$No.St = \frac{PET}{PM} \times 100 \qquad \text{(ecuación 5)}$$

Donde:

$\mathrm{No.St}$: es el número de Stiasny [%]

PLS: es el peso del extracto tánico [g]

PM: es el peso de la muestra [g]

3.6.4. Determinación de extraíbles

La obtención de extraíbles de la madera se realiza utilizando los procedimientos de la norma ANSI/ASTM D 1105-56 llamada “Preparación de madera libre de extraíbles”.

- Se coloca en un dedal previamente tarado 7,5 gramos de la muestra de madera seca y tamizado en el tamiz No. 40.
- Se coloca el dedal en el sistema de extracción Soxhlet manteniendo una relación ¾ de solvente con respecto al balón.
- Se realiza la primera extracción con hexano por un periodo de 12 horas.
- Se realiza la segunda extracción con etanol por un periodo de 12 horas.
- Se seca el contenido del dedal por un periodo de 18 horas a temperatura ambiente. Luego se procede a pesar.
- Se deja en un horno por un periodo de 3 horas y se vuelve a pesar hasta que el peso sea constante.

$$\%ext = \frac{(7.5 - PM)}{7.5} \times 100 \qquad \text{(ecuación 6)}$$

Donde:

$\%\mathrm{ext}$: es el porcentaje de extraíbles [%]

PM: es el peso de la muestra libre de extraíbles [g]

3.6.5. Determinación de lignina

La obtención del contenido de lignina en la madera se realiza utilizando los procedimientos de la norma ANSI/ASTM D 1106-56.

- Se coloca en un *beacker* de 100 ml 1 g de madera libre de extraíbles, y se agrega 15 ml de ácido sulfúrico al 72 %.
- Se agita durante 2 horas en baño maría a 20 °C en una plancha de agitación.
- Se transfiere a un matraz de 1 000 ml conteniendo 560 ml de agua destilada, lo cual da una solución de ácido al 3 %.
- Se hierve a reflujo por 4 horas en un balón con condensador.
- Se decanta hasta dejar una diferencia mínima entre las dos fases.
- Se filtra la solución obtenida.
- Se lava con agua caliente y se seca hasta que el peso sea constante.

$$\%\mathrm{lig} = \frac{\mathrm{PLL}}{\mathrm{PM}} \times 100 \qquad \text{(ecuación 7)}$$

Donde:

$\%\mathrm{lig}$: es el porcentaje de lignina [%]

PLL: es el peso de lignina seca [g]

PM: es el peso de la muestra [g]

3.6.6. Determinación de celulosa

La obtención del contenido de celulosa en la madera se realiza utilizando los procedimientos de la norma ANSI/ASTM D 1103-60 llamada “Alfa-celulosa en madera”.

- Se pesa 1 gramo de la sustancia libre de extraíbles y se transfiere a un matraz de 100 ml.
- Se agregan 10 ml de hidróxido de sodio al 17,5 % y se deja reposar durante 5 min. El recipiente que contiene la solución de hidróxido de sodio y el que contiene la muestra de madera deben estar en baño maría.
- Se agregan de nuevo 5 ml de hidróxido de sodio al 17.5 %, se agita y se deja reposar otros 5 min.
- Se agregan otros 5 ml de hidróxido de sodio al 17,5 %, se agita y se deja reposar durante 30 min.
- Se añaden 30 ml de agua destilada, se agita y se deja reposar durante 1 hora en baño maría a 25 °C.
- Se filtra al vacío con papel filtro previamente tarado y utilizando un embudo. Se realizan lavados con una solución de 30 ml de agua y 25 ml de hidróxido de sodio al 17,5 %.
- Se lava con 30 ml de agua destilada utilizando una varilla de agitación para mejorar el lavado.
- Se agregan 15 ml de ácido acético al 10 % sin aplicar vacío hasta cumplir 3 minutos de reposo. Luego se lava con 50 ml de agua destilada y se aplica vacío.
- Se transfiere el material insoluble con el papel filtro a un crisol para ser secado en un horno entre 60 °C y 85 °C. Se toma el peso cada cierto tiempo hasta que permanezca constante.

$$\%cel = \frac{(PB-(PT+PL)*PML)}{PMT} \times 100 \qquad \text{(ecuación 8)}$$

Donde:

$\%\mathrm{cel}$: es el porcentaje de celulosa [%]

PB: es el peso bruto de la muestra [g]

PT: es el peso de la tara del papel filtro [g]

PL: es el peso de lignina en 1 g de madera (procedimiento anterior) [g]

PML: es el peso de la madera libre de extraíbles [base 7,5 g]

PMT: es el peso de madera antes de la extracción [7,5 g]

3.6.7. Determinación de ceniza

La obtención del contenido de ceniza en la madera se realiza utilizando los procedimientos de la norma ANSI/ASTM D 1102-56 llamada “Ceniza en madera”.

- Se calcinan los crisoles a 600 °C por 1 hora.
- Se retiran los crisoles y se introducen a una desecadora por 15 minutos para ser pesados. Se baja la temperatura de la mufla a 0 °C.
- Se agrega 1 g de madera seca al crisol.
- Se agregan las muestras a la mufla y se coloca una temperatura de 580 °C – 600 °C por 1 hora y media hasta que las muestras contengan solo cenizas.
- Se retira el crisol con la muestra y se colocan en una desecadora por 15 minutos para luego ser pesados.

$$\%cen = \frac{PC}{PM} \times 100 \qquad \text{(ecuación 9)}$$

Donde:

$\%cen$: es el porcentaje de ceniza en la madera [%]

PC: es el peso de las cenizas [g]

PM: es el peso de la madera seca [g]

3.6.8. Determinación de absorción

- Determinar las dimensiones de un trozo de madera utilizando un medidor de Vernier para determinar el volumen.
- Utilizando una balanza analítica determinar el peso del trozo de madera.
- Colocar el trozo de madera en un recipiente con agua por 24 horas, asegurándose que todo el trozo de madera esté sumergido.
- Determinar las dimensiones del trozo de madera nuevamente.
- Determinar el peso del trozo de madera mojado.
- Utilizar la ecuación 4 para determinar el porcentaje de absorción.

3.6.9. Determinación de la densidad

- Determinar las dimensiones de un trozo de madera utilizando un medidor de Vernier para determinar el volumen.
- Utilizando una balanza analítica, determinar el peso del trozo de madera.
- Utilizar la ecuación 2 para calcular la densidad.

3.6.10. Determinación de la tensión

- Medir y pesar la pieza de madera
- Colocar pieza en mordaza, centrar y poner a cero la escala
- Aplicar carga

$$R_{cn} = \frac{Q}{a \times z} \qquad \text{(ecuación 10)}$$

Donde:

R_{cn}: es la tensión máxima [kg/cm^2]

Q: es la carga máxima aplicada [kg]

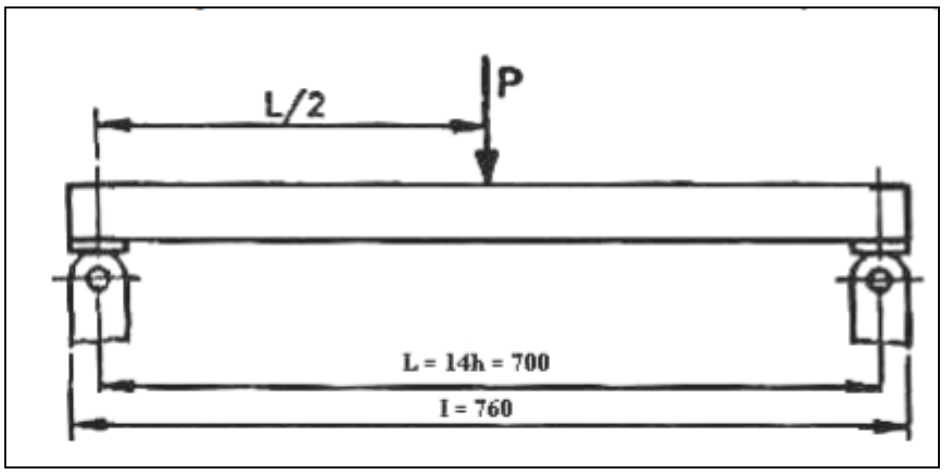
a: es el ancho de la probeta [cm]

z: es el ancho de la placa metálica [cm]

3.6.11. Determinación de la flexión

- Colocar la pieza de madera en la máquina de acuerdo a la figura 7
- Aplicar una fuerza constante hasta que la pieza falle y se rompa
- Leer el valor de la fuerza aplicada en la pieza en el momento de la falla

Figura 7. **Forma de colocar las piezas de madera**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

$$R = \frac{3CL}{2bd^2} \qquad \text{(ecuación 11)}$$

Donde:

R: es el módulo de ruptura o flexión [kg/cm^2]

C: es la carga de ruptura [kg]

L: es la distancia entre los apoyos [cm]

b: es el ancho efectivo [cm]

d: es el espesor efectivo [cm]

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla II. **Porcentaje de humedad**

Repetición	Porcentajede humedad del aserrín	Porcentaje de humedad de la madera
1	9,922	7,935
2	9,890	8,093
3	9,705	8,168

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Datos para la determinación de taninos**

Repetición	Masa de muestra inicial [g]	Masa del extracto tánico [g]
1	1,000	0,630
2	1,000	0,680
3	1,000	0, 660

Fuente: elaboración Propia.

Tabla IV. **Datos para la determinación de extraíbles**

Repetición	Peso de la muestra libre de extraíbles [g]
1	17,733
2	17,200
3	18,800

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos para la determinación de lignina**

Repetición	Peso de la muestra [g]	Peso de lignina seca [g]
1	1,000	0,340
2	1,000	0,320
3	1,000	0,270

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos para la determinación de celulosa**

Repetición	Peso bruto de la muestra [g]	Tara del papel filtro [g]	Peso de lignina seca [g]	Peso libre de extraíbles [g]
1	2,070	1,220	0,310	6,150
2	2,070	1,210		
3	2,100	1,250		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos para la determinación de ceniza**

Repetición	Peso de la ceniza [g]	Peso de madera seca [g]
1	0,110	2,000
2	0,115	2,000
3	0,120	2,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos para la determinación de la absorción**

Repetición	Peso de la madera seca [g]	Peso de la madera humedad [g]
1	38,220	44,890
2	39,320	46,380
3	37,540	44,510

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos para la determinación de la densidad en madera seca**

Repetición	Peso de la madera [g]	Largo [cm]	Ancho [cm]	Espesor [cm]
1	5,530	4,333	2,074	0,939
2	5,820	4,385	2,078	0,976
3	5,670	4,313	2,090	1,009

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos para la determinación de la densidad en madera húmeda**

Repetición	Peso de la madera [g]	Largo [cm]	Ancho [cm]	Espesor [cm]
1	7,030	4,333	2,074	0,939
2	7,130	4,385	2,078	0,976
3	7,410	4,313	2,090	1,009

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Datos para la determinación de la tensión**

Repetición	Carga máxima aplicada [kg]	Ancho de la probeta [cm]	Espesor [cm]
1	700	8,345	6,205
2	350	7,840	5,065
3	600	8,220	5,855

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos para la determinación de la flexión**

Repetición	Carga de ruptura [kg]	Distancia [cm]	Ancho efectivo [cm]	Espesor efectivo [cm]
1	981	100	50,780	49,520
2	877,170	100	50,155	50,085
3	944,180	100	50,305	49,200

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se realizarán tres repeticiones para cada parámetro por analizar por lo que se utilizará un análisis de varianzas. También se hará la prueba t de student para corroborar que los datos sean confiables.

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{N} \qquad \text{(ecuación 12)}$$

Donde:

$\bar{x}$ = Media aritmética.

x_i = Valores obtenidos.

N = Número de datos.

- Desviación estándar

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{N-1} \qquad \text{(ecuación 13)}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

- Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \qquad \text{(ecuación 14)}$$

Donde:

C_v = Coeficiente de variación.

- t - de Student

$$t = \frac{\bar{x}_t - \bar{x}}{\sigma/\sqrt{n}} \qquad \text{(ecuación 15)}$$

Donde:

t: es el valor de la t de Student

$\bar{x}_t$: es el dato que se está evaluando

Hipótesis nula

$$H_0: \bar{x}_t = \bar{x}$$

Hipótesis alternativa

$$H_1: \bar{x}_t \neq \bar{x}$$

El valor de t se compara con los valores de t críticos presentados en el apéndice #. Si $|t| \geq t_{crit}$ se rechaza la hipótesis nula al nivel de confianza establecido. Para una confianza de 95 % y 2 grados de libertad, el valor de t crítico es de 4,3027.

Tabla XIII. **Análisis estadístico de la humedad de la madera**

Repetición	**Porcentaje de humedad**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	7,935	0,118	0,014	0,632
2	8,093			0,134
3	8,168			0,498

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis estadístico de la humedad del aserrín**

Repetición	**Porcentaje de humedad**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	9,922	0,117	0,012	0,409
2	9,890			0,251
3	9,705			0,660

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Análisis estadístico de la densidad en la madera seca**

Repetición	**Densidad [g/cm^3]**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	0,707	0,002	0,003	0,386
2	0,706			0,276
3	0,703			0,663

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis estadístico de la densidad en la madera húmeda**

Repetición	**Densidad [g/cm^3]**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	0,833	0,015	0,019	0,607
2	0,802			0,541
3	0,815			0,066

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Análisis estadístico del porcentaje de ceniza**

Repetición	**Porcentaje de ceniza**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	5,500	0.250	0,043	0,577
2	5,750			1,347 E-13
3	6,000			0,577

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis estadístico del porcentaje de absorción**

Repetición	**Porcentaje de absorción**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	17,452	0,558	0,031	0,557
2	17,955			0,037
3	17,991			0,595

Fuente: elaboración propia

Tabla XIX. **Análisis estadístico del porcentaje de extraíbles**

Repetición	**Porcentaje de extraíbles**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\lvert \boldsymbol{t} \rvert$
1	17,733	0,814	0,045	0,126
2	17,200			0,504
3	18,800			0,629

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis estadístico del porcentaje de lignina**

Repetición	**Porcentaje de lignina**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	34	3,605	0,116	0,480
2	32			0,160
3	27			0,641

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Análisis estadístico del porcentaje de celulosa**

Repetición	**Porcentajede celulosa**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	44,280	0,473	0,011	0,333
2	45,100			0,667
3	44,280			0,333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis estadístico del porcentaje de taninos**

Repetición	**Porcentaje de taninos**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	63	2,517	0,038	0,611
2	68			0,535
3	66			0,076

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Análisis estadístico de la tensión**

Repetición	**Tensión [kg/cm^2]**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	13,518	2,469	0,213	0,449
2	8,814			0,651
3	14,467			0,202

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Análisis estadístico de la flexión**

Repetición	**Flexión [kg/cm^2]**	$\boldsymbol{\sigma}$	$\boldsymbol{C_v}$	$\boldsymbol{\lvert t \rvert}$
1	54,421	3,009	0,057	0,442
2	48,712			0,653
3	53,217			0,211

Fuente: elaboración propia.

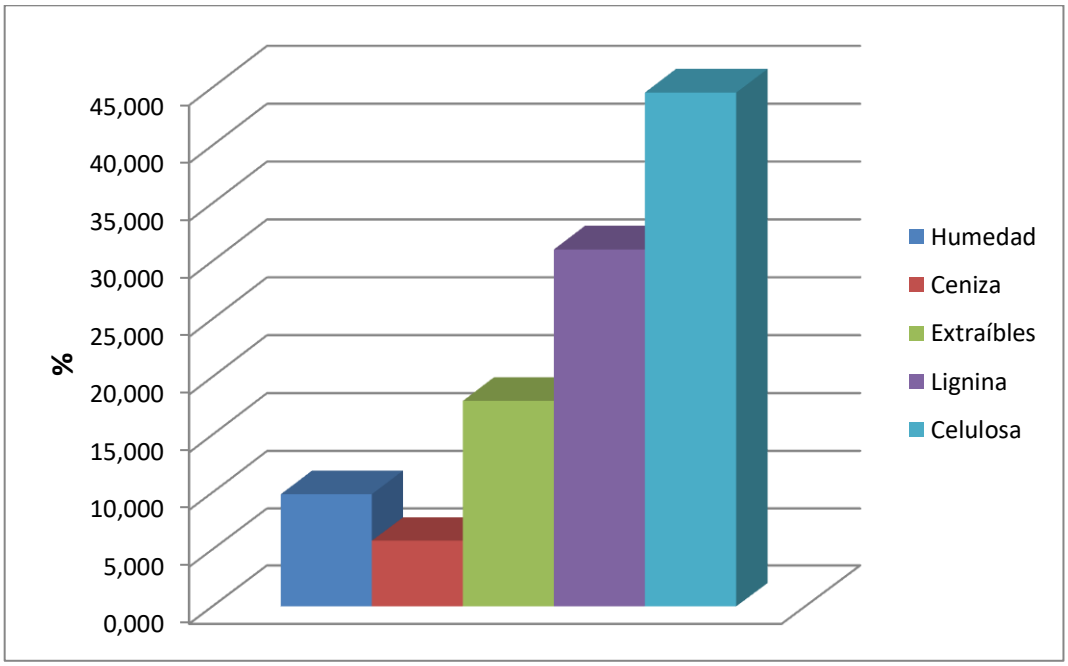
4. RESULTADOS

Tabla XXV. **Resultados generales de la caracterización química**

Porcentaje de humedad	Porcentaje de cenizas	Porcentaje de extraíbles	Porcentaje de lignina	Porcentaje de celulosa
9,839	5,750	17,911	31	44,553

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Composición química de la madera Danto (*Vatairea lundellii*)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Porcentaje de taninos usando el método de Stiasny**

Porcentaje de taninos	65,667

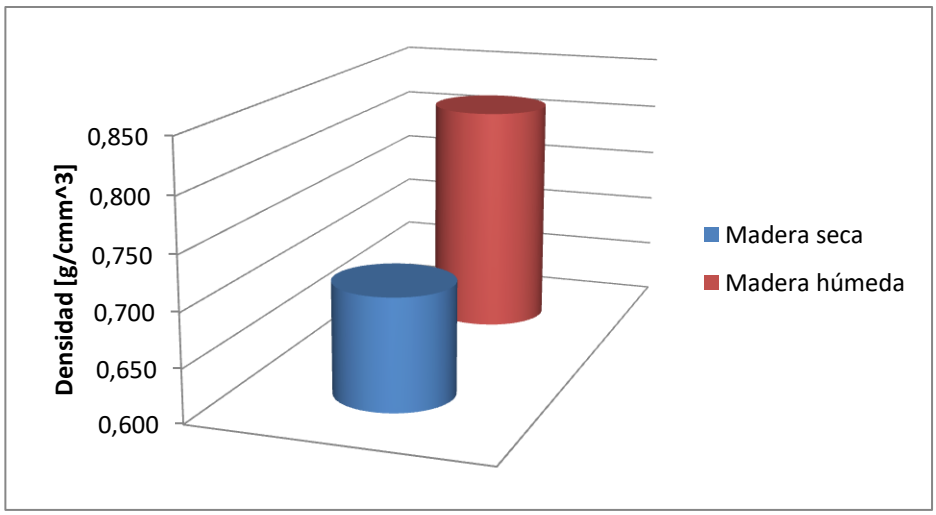
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resultados físicas generales**

Porcentaje de absorción	Densidad madera seca [g/cm^3]	Densidad madera húmeda [g/cm^3]
17,991	0,705	0,817

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Comparación de la densidad de la madera seca y húmeda**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Resultados físico-mecánicos generales**

Tensión [kg/cm^2]	**Flexión [kg/cm^2]**
11,599	52,117

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo se determinaron los componentes químicos (celulosa, extraíbles, lignina y taninos), las propiedades fisicoquímicas (absorción, ceniza, densidad y humedad) y las propiedades físico-mecánicas (tensión y flexión) de la madera Danto (*Vatairea lundellii*).

En la tabla XXV se presentan los resultados de la composición química de la madera Danto (*Vatairea Lundellii).* Para la obtención del contenido de extraíbles se utilizó la extracción Soxhlet, la cual consiste de una separación líquido-solido, utilizando dos solventes: hexano y etanol. Se utilizan dos solventes porque el etanol se encarga de extraer ceras, grasas y algunas resinas ; y el hexano extrae taninos, azúcares, almidones y colorantes. Debido a que el hexano es el que extrae los colorantes de la madera el solvente luego de ser utilizado para la extracción presentó un color marrón obscuro (figura 17). El porcentaje de extraíbles presentes en la madera Danto fue de 17,911 %, gran parte de los árboles presentan porcentajes de extraíbles menores al 5 %, por lo que la coloración del hexano y el fuerte olor de la madera respalda el alto porcentaje de extraíbles.

La celulosa es el compuesto que debe estar presente en mayor cantidad en la madera, seguido de la lignina. Ambos compuestos están presentes en la pared celular, por lo cual están encargados de la rigidez de la madera. Para determinar el porcentaje presente fue necesario utilizar madera libre de extraíbles.

La celulosa es insoluble en agua por lo que su extracción se realizó con hidróxido de sodio ya que es el mejor disolvente entre los hidróxidos alcalinos y permitió determinar el porcentaje en masa presente el cual fue de 44,553 %. Cuando la madera es tratada con un ácido fuerte, en este caso ácido sulfúrico, los carbohidratos son hidrolizables, dejando residuo insoluble el cual se conoce como lignina. Para esta investigación su porcentaje presente fue de 31 %.

El porcentaje de humedad presente en la madera fue de 9,839 %, normalmente una madera posee un contenido de humedad entre 10 y 12 %. El contenido de humedad en la madera puede influir en las propiedades físicas y químicas. El porcentaje de ceniza indica el contenido de minerales y otra materia inorgánica presente en la madera. La madera Danto tuvo 5,750 % de ceniza.

En la figura 8 se representa gráficamente la composición química de la madera, la suma de los cinco elementos presentes debe de dar un valor de 100 %. El valor obtenido fue de 109,053 %, lo cual indica que en alguno de los análisis quedó presencia del solvente que se utilizó para su respectiva extracción, lo cual hace que el porcentaje de la composición química de la madera Danto sea mayor a 100 %.

La tabla XXVI presenta el porcentaje de taninos en la madera, el cual es de 65,667 %. Para la extracción de los taninos de la madera se utilizó como solvente sulfito de sodio y para la cuantificación de estos se usó el método de Stiasny. Los materiales que poseen un porcentaje mayor al 65 % indican que es una buena fuente de taninos condensados y pueden ser utilizados para aplicación como adhesivos en productos celulósicos o de madera.

La absorción de líquidos de la madera está relacionada con la capacidad que posee la madera de absorber, retener y expulsar agua en las paredes de las células, debido a esto la madera tiende a hincharse. En la tabla XXVII se presentan los valores del porcentaje de absorción y la densidad de la madera (seca y húmeda), los resultados fueron 17,991 %, 0,705 g/cm3 y 0,817 g/cm3 respectivamente. El porcentaje de absorción indica que la madera al estar sumergida en agua por 24 horas aumenta su en un 17,991 %, haciendo que la densidad de la madera mojada sea relativamente mayor a la madera seca.

Los resultados de las pruebas físico-mecánicas se presentan en la tabla XXVIII; la tensión tuvo un valor de 11,599 kg/cm2, y la flexión un valor de 52,117 kg/cm2. Es importante conocer los valores de tensión y flexión ya que no solo son la base de determinación de calidad de materiales sino que también sirven para la evaluación del comportamiento de los mismos en relación a las cargas que soportarán en servicio y a sus características de deformabilidad. Los resultados físico-mecánicos van de la mano con la celulosa y lignina presentes en la madera, ya que estas están presentes en la pared celular y son las encargadas de la rigidez de la madera. Estructuralmente presenta una resistencia media por lo que se recomienda para elementos estructurales que soportan cargas medias a pesadas como pisos, peldaños de escalera, pasamanos, puertas y ventanas.

Para cada una de las pruebas se realizó un análisis estadístico, el cual consistía del coeficiente de variación y la T- de Student para asegurarse que los resultados fueran correctos, datos que se presentan en las tablas XIII a la XXIV. El coeficiente de variación de todos los resultados presenta un valor menor a la unidad, lo cual indica que los datos no presentan variación significante entre sí. Para la T- de Student se plantearon dos hipótesis, los valores de t calculados se compararon con el valor crítico, al no ser ningún dato mayor al valor crítico se

acepta la hipótesis que dice que el dato que se está evaluando es igual al promedio de los datos.

CONCLUSIONES

1. La celulosa fue el compuesto químico que está en mayor presencia en la madera, luego le siguió la lignina, ambos forman parte de la pared celular por lo que su porcentaje presente debe ser alto comparado con los extraíbles.

2. La madera Danto (*Vatairea Lundellii*) posee una absorción considerable debido a que se puede observar un cambio considerable en la densidad de la madera seca y húmeda.

3. Los taninos presentes en la madera le dan propiedades únicas debido a su alto contenido. Una de las propiedades es su olor amargo y la característica de desteñirse al estar la madera expuesta a hexano.

4. La tensión y flexión de la madera Danto (*Vatairea Lundellii)* están directamente relacionadas con el porcentaje de celulosa y lignina presentes. Es por eso que se puede corroborar la resistencia de la madera con los valores de tensión y flexión obtenidos.

5. Al realizarle a los resultados la prueba de t de Student con un nivel de confianza del 95 % se acepta la hipótesis nula que indica que los resultados no tienen diferencia significativa entre sí, corroborando que las pruebas se realizaron exitosamente.

RECOMENDACIONES

1. Promover una investigación más detallada acerca de los extraíbles presentes en esta madera, ya que se pudo observar al realizar su caracterización el efecto repelente que posee.

2. Los taninos son de gran importancia en la industria, pueden ser utilizados desde fines medicinales hasta en la industria textil. Esta madera posee gran porcentaje de taninos y su correcta explotación podría tener beneficios económicos.

3. Realizar estudios económicos para conocer cuál sería la mejor manera de utilizar este tipo de madera, tomando en cuenta tanto el ámbito económico como el ambiental.

4. Investigar y evaluar los diferentes métodos que existen para realizar las caracterizaciones para aprovechar los recursos y lograr la mayor eficiencia. Así como también una mejor manera de cuantificar los tipos de sustancias extraíbles en la madera.

BIBLIOGRAFÍA

1 CHRISTIAN, Gary. *Química analítica*. 6a ed. México: McGrawHill, 2009. 116 p.

2 Determinación de las propiedades mecánicas: *ensayo de flexión estática*. [en línea]. <http://www.ramos.utfsm.cl/doc/412/sc/6flexion.pdf.>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

3 *Estructura y química de la madera*. [en línea] <http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/qyedlm4.pdf.>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

4 *Estudio ecológico, silvícola y de utilización del Amargoso, Vatairea lundelli (Standl.) Killip ex Record, en bosques latifoliados de Honduras*. [en línea]. <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2897/1/T1188.pdf.>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

5 Fibra dietética y prebióticos: *aspectos químicos y funcionales*. [en linea]. <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%207/6.html.>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

6 *La construcción de viviendas en madera.* [en línea]. <http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_1-madera.pdf.>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].

7 MELTZER, Robert. *Annual Book of ASTM Standards.* Parte 22- Madera y adhesivos. Estados Unidos de América: Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, 1979. 750 p.

8 PAZ FONG, Francisco José. *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de Melina (Gmelina arbórea Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. Guatemala, 2008. 165.p.

9 PERRY, Ricardo Herman. GREEN David Werner. *Manual del ingeniero químico*. 7a. ed. Nueva York, EE. UU.: McGraw-Hill, 2001. 850 p.

10 TSOUMIS,George. *Science and technology of Wood. Structure, properties, utilization*. Nueva York, EE. UU.: Van Nostrand, 1991. 494. p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Recolección de aserrín**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 2. **Aserrín luego de ser tamizado**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 3. **Procedimiento de determinación de humedad en aserrín**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 4. **Procedimiento de determinación del porcentaje de ceniza**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 5. **Equipo para la determinación de extraíbles**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

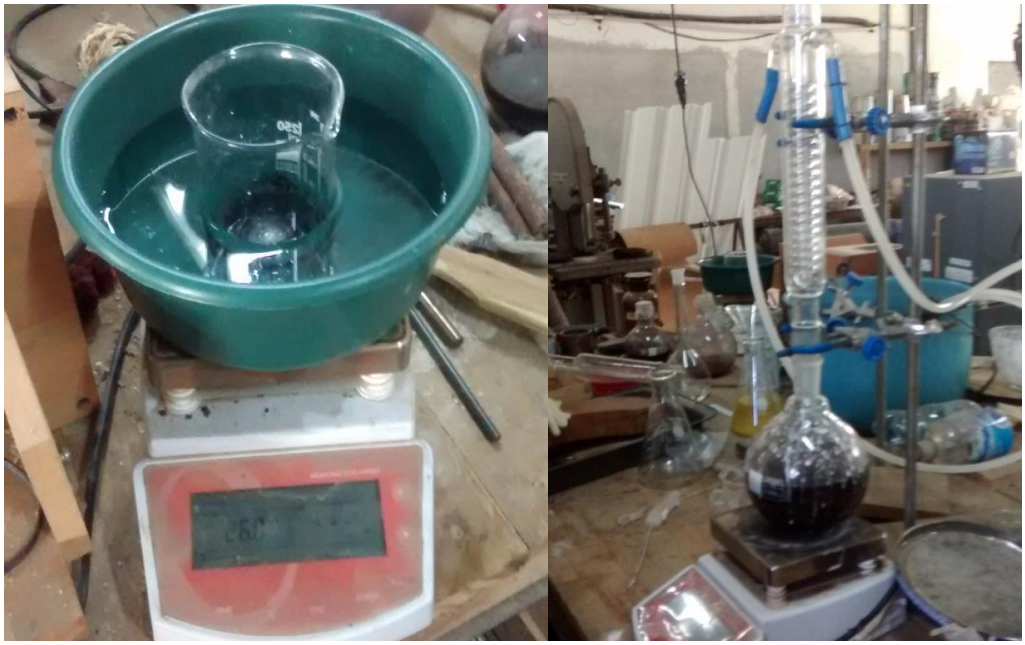
Apéndice 6. **Muestra libre de extraíbles**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 7. **Hexano y etanol luego del procedimiento de extraíbles**

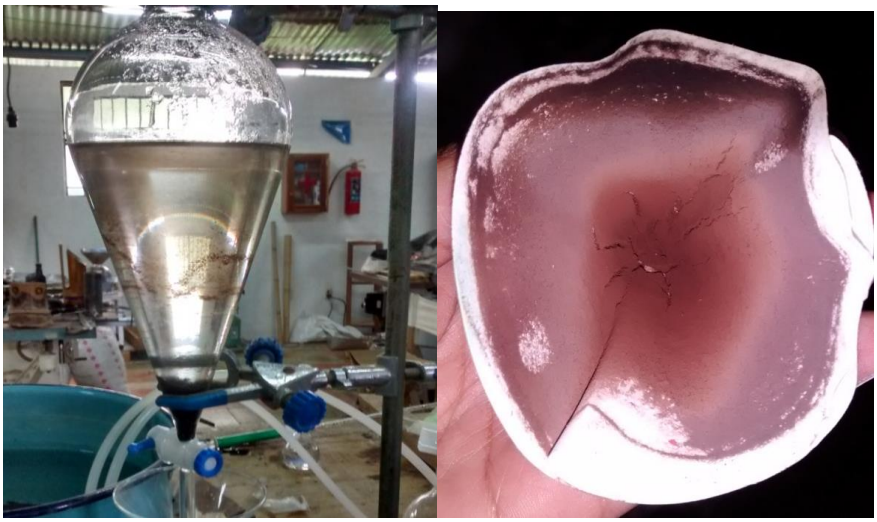
Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 8. **Procedimiento para la determinación de lignina**



Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 9. **Izquierda: separación de las fases. Derecha: muestra de lignina**



Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 10. **Procedimiento para la determinación de celulosa**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 11. **Procedimiento para la extracción del contenido tánico**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

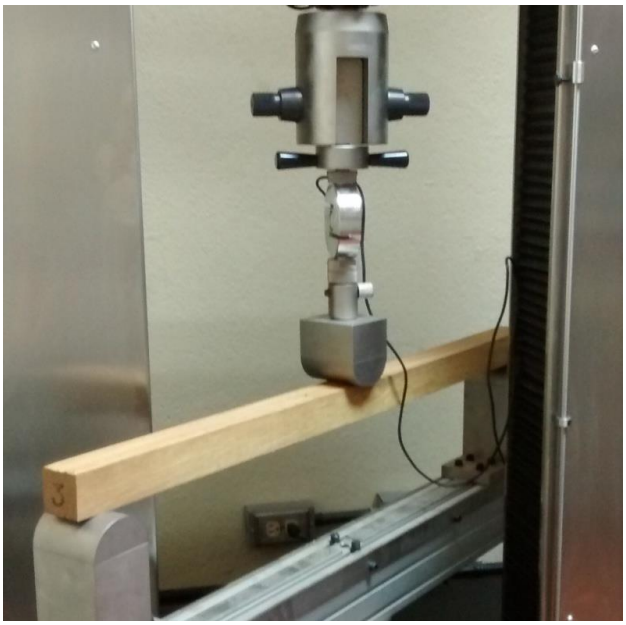
Apéndice 12. **Procedimiento del método de Stiasny**

Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 13. **Piezas utilizadas para determinar absorción**

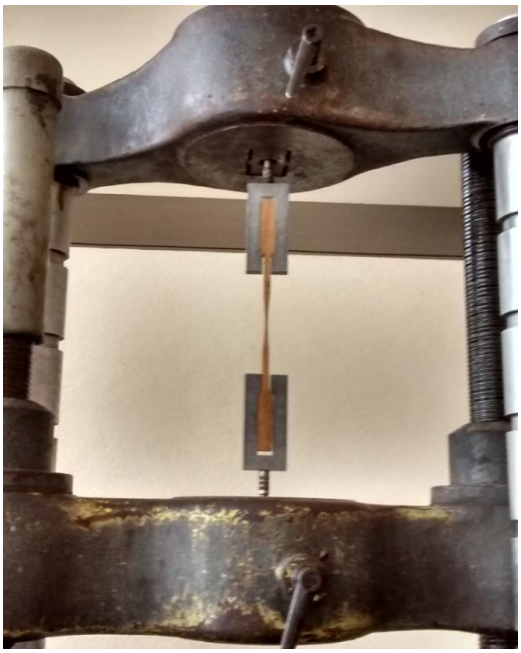
Fuente: Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Apéndice 14. **Determinación de la flexión**



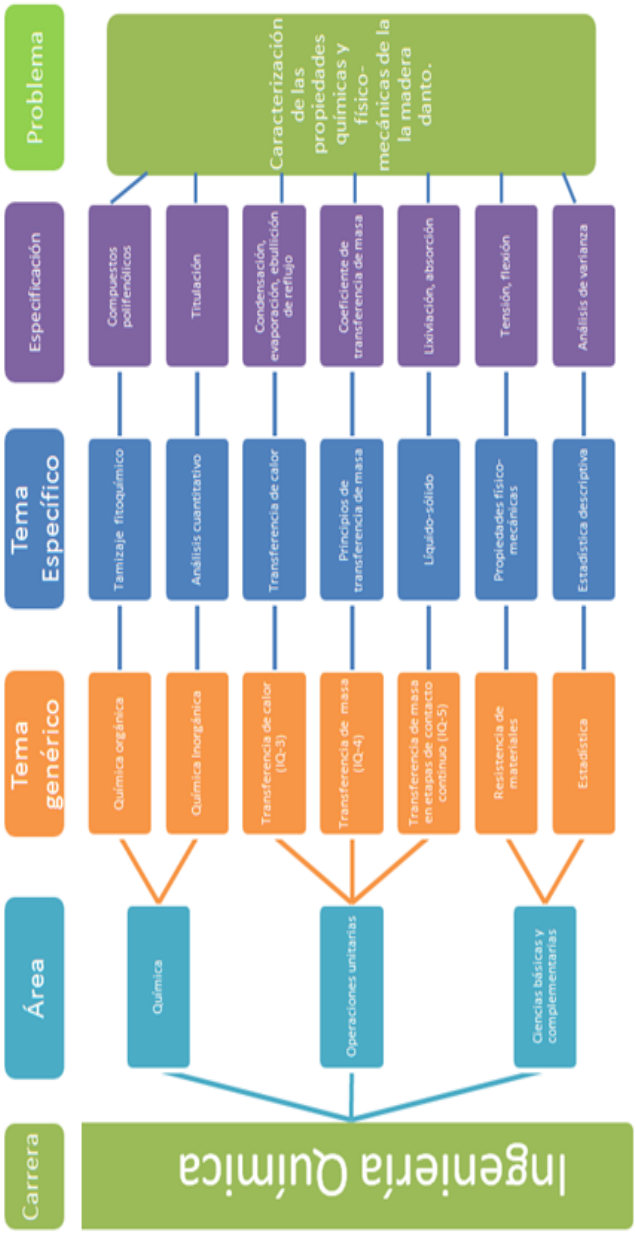
Fuente: Sección de metales y materiales manufacturados. CII. USAC.

Apéndice 15. **Determinación de la tensión**



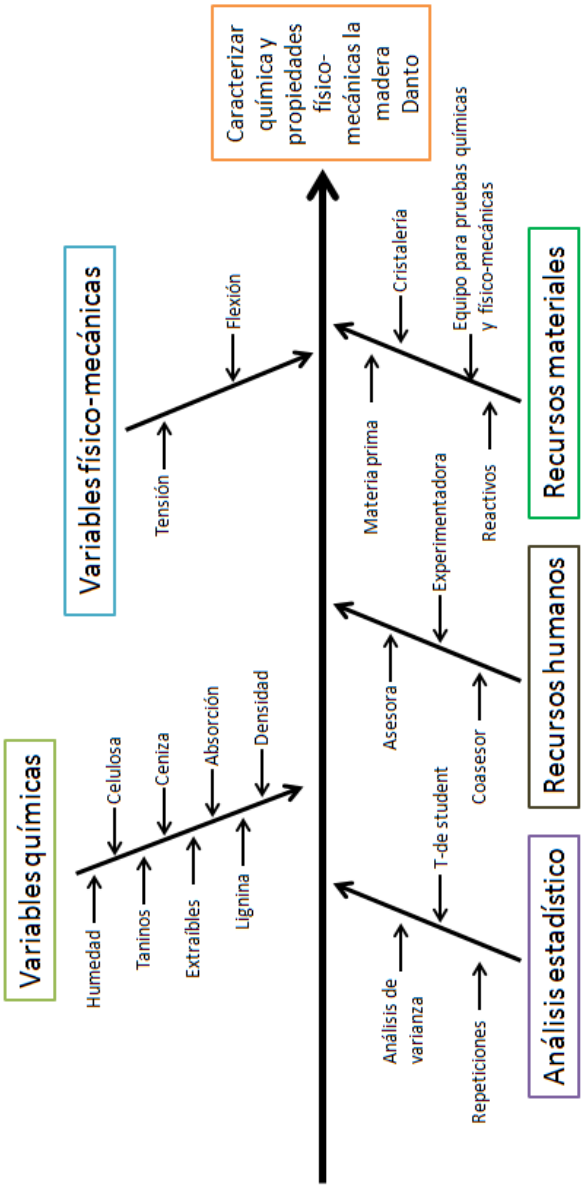
Fuente: Sección de metales y materiales manufacturados. CII. USAC.

Apéndice 16. **Requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Diagrama de Ishikawa**



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Valores críticos para t-de Student**

	Nivel de confianza			
ν	*90%*	*95%*	*99%*	*99.5%*
1	6.314	12.706	63.657	127.32
2	2.920	4.303	9.925	14.089
3	2.353	3.182	5.841	7.453
4	2.132	2.776	4.604	5.598
5	2.015	2.571	4.032	4.773
6	1.943	2.447	3.707	4.317
7	1.895	2.365	3.500	4.029
8	1.860	2.306	3.355	3.832
9	1.833	2.262	3.250	3.690
10	1.812	2.228	3.169	3.581
15	1.753	2.131	2.947	3.252
20	1.725	2.086	2.845	3.153
25	1.708	2.060	2.787	3.078
∞	1.645	1.960	2.576	2.807

[a] $\nu = N - 1$ = grados de libertad.

Fuente: MELTZER, Robert. *Annual Book of ASTM Standards.* p. 10.