



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE
LAS ESPECIES *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán
pechiche), EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA FORESTAL**

KARLA FERNANDA OCAÑA RUIZ


RIOBAMBA –ECUADOR

2018

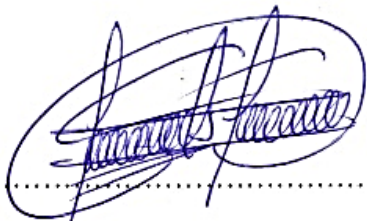
HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que: el trabajo de titulación denominado "DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minuartia guianensis* (guayacán pechiche), EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO", de responsabilidad de la señorita Karla Fernanda Ocaña Ruiz, ha sido prolijamente revisado quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1. 
.....
Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva
DIRECTOR

.....
12-11-2018
.....
Fecha

2. 
.....
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar
ASESOR

.....
12/11/2018
.....
Fecha

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Karla Fernanda Ocaña Ruiz, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Lo textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 12 de noviembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karla Ocaña', is written over a horizontal dotted line.

Karla Fernanda Ocaña Ruiz

180459343-0

AUTORÍA

La autoría del presente trabajo es de propiedad intelectual de la autora y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

DEDICATORÍA

A:

Dios, por darme la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante en mi vida, por estar conmigo en cada paso que doy, en todo momento de triunfo y de dificultad brindándome fortaleza para no desmayar, y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias con personas que han sido mi apoyo y compañía durante todo este tiempo.

Mis padres; Manuel Ocaña y Graciela Ruiz por ser el pilar más importante en mi vida, por creer en mí y porque siempre me apoyaron durante todo este camino, porque hicieron hasta lo imposible por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes. Gracias por ser un ejemplo y por todo su amor.

“Solamente esfuérzate y sé muy valiente, para cuidar de hacer conforme a toda la ley que mi siervo Moisés te mandó; no te apartes de ella ni a diestra ni a siniestra, para que seas prosperado en todas las cosas que emprendas” (Josué 1:7)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por bendecirme con sabiduría, salud, paciencia, fortaleza y valor para poder culminar esta etapa de estudio.

A mis padres por su esfuerzo, paciencia, confianza y amor durante toda esta etapa. Gracias por haberme dado la mejor herencia.

A mis amigos(a) de carrera y de vida; Denisse, Michael, Franklin, Jefferson, Lesly, Elena, Maribel, Edison, Bethza por compartir cada uno de esos momentos llenos de risas, aventuras y tristezas, gracias por todo su apoyo. Todos aquellos amigos que no recordé al momento de escribir pero ustedes saben quiénes son, les agradezco.

De igual manera un agradecimiento a mis profesores de trabajo de tesis; Miguel Guallpa y Carlos Serrano por su visión crítica, consejos, apoyo, por su rectitud en su profesión como docente que ayudan a formar como persona e investigadora. También me gustaría agradecer a todos los docentes que formaron parte de mi carrera profesional los cuales aportaron con un granito de arena a mi formación.

Gracias a todas las personas que me brindaron su apoyo directo e indirectamente en el desarrollo de este trabajo de titulación, agradezco su amistad, confianza, consejos, ánimo y compañía en esos momentos difíciles. Aquellas personas por formar parte de mi vida y crear recuerdos inolvidables, por todo lo que me han brindado Dios les bendiga.

¡Gracias y Dios les bendiga!

ÍNDICE

Contenido	Página
LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE ANEXOS	ix
I. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES <i>Cedrelinga cateniformis</i> (chuncho), <i>Minuartia guianensis</i> (guayacán pechiche), EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
A. IMPORTANCIA	1
B. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	4
A. OBJETIVO GENERAL.....	4
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
IV. HIPÓTESIS.....	5
A. HIPÓTESIS NULA – H ₀	5
B. HIPÓTESIS ALTERNANTE –H ₁	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA	6
A. EL BOSQUE.....	6
B. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO.....	6
C. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	10
D. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA.....	14
E. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	18
F. SOLIDWORKS	23
VI. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	25

A.	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	25
1.	Localización	25
2.	Ubicación geográfica.....	25
3.	Características climáticas	26
4.	Clasificación ecológica	26
5.	Características del suelo.....	26
6.	Estado de conservación del bosque de la zona.....	27
B.	MATERIALES Y EQUIPOS	29
1.	Equipos y herramientas	29
2.	Insumos (probetas de madera).....	29
C.	METODOLOGÍA.....	29
VII.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
1.	Identificar las propiedades físicas de la madera; características organolépticas de las especies en estudio.	63
2.	Conocer las propiedades químicas; porcentaje de humedad, pH, análisis de las características microscópicas de las especies en estudio.	66
a.	Determinación del porcentaje de humedad	66
b.	Determinación del pH	68
c.	Análisis de las características microscópicas de las muestras.....	70
3.	Analizar las propiedades mecánicas mediante ensayos de compresión, tracción y flexión de las especies en estudio.....	77
a.	Compresión	77
b.	Tracción.....	84
c.	Flexión estática.....	88
4.	Realizar una simulación con el programa SOLIDWORKS para determinar las propiedades mecánicas y realizar un análisis estadístico de resultados.	95

5. Comprobación de hipótesis	111
VIII. CONCLUSIONES	112
IX. RECOMENDACIONES.....	114
X. RESUMEN	115
XI. SUMMARY	116
XII. BIBLIOGRAFÍA	117
XIII. ANEXOS	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de las especies recolectadas.....	25
Tabla 2. Ubicación geográfica de la procedencia de las probetas.	25
Tabla 3. Dimensiones de las probetas para los ensayos mecánicos.....	33
Tabla 4. Ficha de registro de características organolépticas de la especie <i>C. cateniformis</i> ..	63
Tabla 5. Ficha de registro de características organolépticas de la especie <i>Minquartia guianensis</i>	65
Tabla 6. Registro de lecturas del pH para las dos especies.....	68
Tabla 7. Resumen de características microscópicas de <i>C. cateniformis</i>	73
Tabla 8. Resumen de características microscópicas de <i>M. guianensis</i>	76
Tabla 9. Valores de compresión paralela a la fibra de <i>C. cateniformis</i>	77
Tabla 10. Valores de compresión paralela a la fibra de <i>M. guianensis</i>	79
Tabla 11. Valores obtenidos de compresión perpendicular a la fibra de <i>C. cateniformis</i>	81
Tabla 12. Los valores de compresión perpendicular a la fibra de <i>M. guianensis</i>	82
Tabla 13. Los valores obtenidos de tracción de la especie <i>C. cateniformis</i>	84
Tabla 14. Valores obtenidos de tracción de la especie <i>M. guianensis</i>	86
Tabla 15. Valores obtenidos de flexión estática de la especie <i>C. cateniformis</i>	88
Tabla 16. Valores obtenidos de flexión estática de la especie <i>M. guianensis</i>	89
Tabla 17. Análisis estadístico de compresión paralela a la fibra <i>C. cateniformis</i>	106
Tabla 18. Análisis estadístico de compresión paralela a la fibra de <i>M. guianensis</i>	107
Tabla 19. Análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de <i>C. cateniformis</i> .107	
Tabla 20. Análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de <i>M. guianensis</i> ..	108
Tabla 21. Análisis estadístico del ensayo de tracción de <i>C. cateniformis</i>	108
Tabla 22. Análisis estadístico del ensayo de tracción de <i>M. guianensis</i>	109
Tabla 23. Análisis estadístico del ensayo de flexión estática de <i>C. cateniformis</i>	109
Tabla 24. Análisis estadístico del ensayo de flexión estática de <i>M. guianensis</i>	110
Tabla 25. Resumen del nivel de significancia y valores promedio (\pm erro estándar) de las propiedades mecánicas calculadas para las especies en estudio y comparación de medias usando la prueba de Tukey.	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de fallas de flexión estática.	22
Figura 2. Flexión estática.....	23
Figura 3. Mapa de ubicación de las especies forestales <i>Cedrelinga cateniformis</i> (chuncho), <i>Minquartia guianensis</i> (guayacán pechiche), en la provincia Francisco de Orellana, Ecuador.	26
Figura 4. Ensayo de compresión paralela a la fibra con la maquina universal.....	34
Figura 5. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra con la máquina universal	34
Figura 6. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción.....	36
Figura 7. Ensayo de tracción de la madera con la máquina universal	37
Figura 8. Ensayo de flexión estática de la madera con la maquina universal.....	38
Figura 9. Probeta para el ensayo de tracción.	39
Figura 10. Asignación de material de la pieza.....	40
Figura 11. Seleccionar tipo de madera.....	40
Figura 12. Barra de tareas de SolidWorks.	41
Figura 13. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.....	41
Figura 14. Configuración de la simulación estática.....	41
Figura 15. Seleccionar Geometría Fija	42
Figura 16. Aplicar cargas.....	42
Figura 17. Colocar los parámetros de cargas.....	43
Figura 18. Asignar la carga aplicada.	43
Figura 19. Crear malla estándar.....	43
Figura 20. Malla estándar de la probeta de tracción.....	44
Figura 21. Resultados de la simulación del ensayo de tracción.....	45
Figura 22. Probeta de compresión paralela a la fibra.	45
Figura 23. Seleccionar tipo de madera.....	46
Figura 24. Barra de tareas de SolidWorks.	46
Figura 25. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.....	46
Figura 26. Configuración de la simulación estática.....	47
Figura 27. Seleccionar Geometría Fija	47
Figura 28. Aplicar cargas.....	48

Figura 29. Colocar los parámetros de cargas.....	48
Figura 30. Asignar la carga aplicada.	48
Figura 31. Crear malla estándar.....	49
Figura 32. Malla estándar de la probeta de compresión paralela a la fibra.	49
Figura 33. Resultados de la simulación del ensayo compresión paralela a la fibra.....	50
Figura 34. Probeta para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra.	51
Figura 35. Seleccionar tipo de madera.....	51
Figura 36. Barra de tareas de SolidWorks.	51
Figura 37. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.....	52
Figura 38. Configuración de la simulación estática.....	52
Figura 39. Seleccionar Geometría Fija	53
Figura 40. Aplicar cargas.....	53
Figura 41. Colocar los parámetros de cargas.....	54
Figura 42. Asignar la carga aplicada.	54
Figura 43. Crear malla estándar.....	54
Figura 44. Malla estándar de la probeta de compresión perpendicular a la fibra	55
Figura 45. Resultados de la simulación del ensayo de compresión perpendicular a la fibra.	56
Figura 46. Probeta del ensayo de flexión estática.....	56
Figura 47. Seleccionar tipo de madera.....	57
Figura 48. Barra de tareas de SolidWorks.	57
Figura 49. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.....	57
Figura 50. Configuración de la simulación estática.....	58
Figura 51. Seleccionar Geometría Fija	58
Figura 52. Aplicar cargas.....	59
Figura 53. Colocar los parámetros de cargas.....	59
Figura 54. Asignar la carga aplicada.	60
Figura 55. Crear malla estándar.....	60
Figura 56. Malla de viga para el ensayo de flexión estática.	61
Figura 57. Resultados de la simulación del ensayo flexión estática.....	61
Figura 58. Color de la madera de <i>C. cateniformis</i>	64

Figura 59. Características organolépticas de la madera <i>C. cateniformis</i> .	64
Figura 60. Color de la madera de <i>M. guianensis</i> .	65
Figura 61. Características organolépticas de la madera <i>M. guianensis</i> ; (A) se puede observar el vetado en arcos superpuestos, (B) se observa el grano recto.	66
Figura 62. Determinación del pH de <i>C. cateniformis</i>	69
Figura 63. Determinación de pH de <i>M. guianensis</i>	69
Figura 64. Solución de safranina al 10%, poro solitario, lente de 10x.	70
Figura 65. Poros solitarios, en hileras diagonales, y porosidad difusa, visibles con el lente de 10x.	70
Figura 66. Tinción de verde brillante al 10%, parénquima vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa, visibles con el lente de 10x.	71
Figura 67. Radios visibles con el lente de 10x	71
Figura 68. Medición de poros, 20x	72
Figura 69. Poro de <i>Cedrelinga cateniformis</i> , 170x.	72
Figura 70. Parénquima vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa, 90x.	72
Figura 71. Solución de safranina, poros de <i>M. guianensis</i> , (10x).	74
Figura 72. Poros solitarios y múltiples (10x).	74
Figura 73. Tinción de verde brillante al 10% de <i>M. guianensis</i> , visibles con la lupa de 10x.	74
Figura 74. Medición de poros de <i>M. guianensis</i> , 23x.	75
Figura 75. Medición de poros y grieta, 220x.	75
Figura 76. Poro solitario y parénquima paratraqueal vasicéntrico, 550x.	76
Figura 77. Parénquima paratraqueal vasicéntrico confluyente, 330x.	76
Figura 78. Datos de las probetas para la prueba de compresión paralela a la fibra de la especie <i>C. cateniformis</i>	78
Figura 79. Probeta ensayada de <i>C. cateniformis</i> de compresión paralela a la fibra.	78
Figura 80. Datos de las probetas para la prueba de compresión paralela a la fibra de la especie <i>M. guianensis</i>	79
Figura 81. Probeta ensayada de <i>M. guianensis</i> de compresión paralela a la fibra.	80
Figura 82. Datos de las probetas para la prueba de compresión perpendicular a la fibra de la especie <i>C. cateniformis</i> .	81

Figura 83. Probetas ensayadas de <i>C. cateniformis</i> de compresión perpendicular a la fibra.	82
Figura 84. Datos de las probetas para la prueba de compresión perpendicular a la fibra de la especie <i>M. guianensis</i> .	83
Figura 85. Probetas ensayadas de <i>M. guianensis</i> de compresión perpendicular a la fibra.	83
Figura 86. Datos de las probetas para la prueba de tracción de la especie <i>C. cateniformis</i> .	85
Figura 87. Probetas ensayadas de <i>C. cateniformis</i> de tracción	85
Figura 88. Diagrama esfuerzo-deformación de la prueba de tracción de la especie <i>M. guianensis</i> .	87
Figura 89. Probetas ensayadas de <i>M. guianensis</i> de tracción	87
Figura 90. Datos de las probetas para la prueba de flexión estática de la especie <i>C. cateniformis</i> .	88
Figura 91. Probetas ensayadas de <i>C. cateniformis</i> de flexión estática	89
Figura 92. Datos de las probetas para la prueba de flexión estática de la especie <i>M. guianensis</i> .	90
Figura 93. Probetas ensayadas de <i>M. guianensis</i> de flexión estática.	91
Figura 5. Barra de flexión	91
Figura 99. Simulación de sus tensión de Von Mises de resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>C. cateniformis</i> .	96
Figura 100. Simulación de sus deformación unitaria resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>C. cateniformis</i> .	96
Figura 101. Simulación de sus deformaciones de resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>C. cateniformis</i>	96
Figura 102. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>M. guianensis</i> .	97
Figura 103. Simulación de su deformación de resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>M. guianensis</i> .	97
Figura 104. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión paralela a la fibra de <i>M. guianensis</i>	98
Figura 105. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>C. cateniformis</i> .	99

Figura 106. Simulación de su deformación y tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>C. cateniformis</i>	99
Figura 107. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>C. cateniformis</i>	99
Figura 108. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>M. guianensis</i>	100
Figura 109. Simulación de su deformación unitaria estática de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>M. guianensis</i>	100
Figura 110. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de <i>M. guianensis</i>	101
Figura 111. Simulación de sus tensiones de resistencia a tracción de <i>C. cateniformis</i>	102
Figura 112. Simulación de su deformación unitaria estática de resistencia a tracción de <i>C. cateniformis</i>	102
Figura 113. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a tracción de <i>C. cateniformis</i>	102
Figura 114. Simulación de su esfuerzo estática de resistencia a tracción de <i>M. guianensis</i>	103
Figura 115. Simulación de su deformación unitaria de resistencia a tracción de <i>M. guianensis</i>	103
Figura 116. Simulación de su desplazamiento estática de resistencia a tracción de <i>M. guianensis</i>	104
Figura 117. Simulación de Tensión axial de flexión de la especie <i>C. cateniformis</i>	105
Figura 118. Simulación de desplazamiento de flexión de la especie <i>C. cateniformis</i>	105
Figura 119. Simulación de Tensión axial y de flexión de la especie <i>M. guianensis</i>	106
Figura 120. Simulación desplazamiento de flexión de la especie <i>M. guianensis</i>	106

SIMBOLOGÍA

C.H %	Porcentaje de humedad	%
Pi	Peso inicial	gr
Po	Peso seco al horno o peso final	gr
ρ	Densidad	gr/cm ³
m	Masa de la madera	gr o kg
V	Volumen de la madera	cm ³ o m ³
T	Temperatura	°C
T	Tiempo	h
σ	Esfuerzo máximo de la probeta	kg/cm ²
F	Carga real de la probeta	kg
A	Área de la probeta	cm ²
E	Módulo de Young	N/m ² o Pa
ε	Deformación unitaria de la carga de la probeta	
G	Módulo de cizalladura	MPa
Z (%)	Porcentaje de estricción	%
Ao	Área de prueba original	cm ² o mm ²
Af	Área en el momento de la fractura	cm ² o mm ²

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	American Society of Testing Materials
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ONU	Organización de las Naciones Unidas
AITIM	Asociación de Investigación técnica de las industrias de la madera
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
MAE	Ministerio de Ambiente del Ecuador
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
GADPO	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Orellana
ESTRN	Deformación unitaria equivalente

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resumen de resultados de propiedades químicas de las especies en estudio.	123
Anexo 2. Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra de las probetas de la especie <i>C. cateniformis</i>	123
Anexo 3. Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra de las probetas de la especie <i>M. guianensis</i>	123
Anexo 4. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a la fibra de las probetas de la especie <i>C. cateniformis</i>	124
Anexo 5. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a la fibra de las probetas de la especie <i>M. guianensis</i>	124
Anexo 6. Resultados del ensayo de tracción de las probetas de la especie <i>C. cateniformis</i>	124
Anexo 7. Resultados del ensayo de tracción de las probetas de la especie <i>M. guianensis</i> . .	125
Anexo 8. Resultados del ensayo de flexión estática de las probetas de la especie <i>C. cateniformis</i>	125
Anexo 9. Resultados del ensayo de flexión estática de las probetas de la especie <i>M. guianensis</i>	125
Anexo 10. Análisis de varianza del parámetro cortante de rotura.	126
Anexo 11. Análisis de varianza del parámetro del módulo de cizalladura.....	127
Anexo 12. Análisis de varianza del parámetro estricción.....	128
Anexo 13. Análisis de varianza de carga de rotura.	129
Anexo 14. Recolección de datos geográficos.	130
Anexo 15. Árbol de <i>Minquartia guianensis</i>	130
Anexo 16. Árbol de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	130
Anexo 17. Seleccionando las piezas de madera.	130
Anexo 18. Elaboración de las probetas de madera de cada una de las especies en estudio	130
Anexo 19. Probetas de madera de <i>Cedrelinga cateniformis</i> y <i>Minquartia guianensis</i>	130
Anexo 20. Observación de características organolépticas.....	131
Anexo 21. Autoclavado de las prismas de madera para ablandamiento.....	131
Anexo 22. Corte de los prismas de madera con el micrótopo.	131
Anexo 23. Corte transversal de los cubos de madera.	131
Anexo 24. . Tinturación de las láminas de madera en estudio.	131

Anexo 25. Observación de las características microscópicas.	131
Anexo 26. Secado de la madera con la mufla.....	132
Anexo 27. Medición del peso para porcentaje de humedad.	132
Anexo 28. Muestras para determinar el pH de la madera.....	132
Anexo 29. Muestras para determinar el pH.	132
Anexo 30. Determinación del pH de las especies en estudio.	132
Anexo 31. Toma de datos para determinación del pH.....	132
Anexo 32. Microscopio electrónico.....	133
Anexo 33. Máquina universal.....	133
Anexo 34. Medición de las probetas antes de realizar los ensayos mecánicos.	133
Anexo 35. Datos que brinda la maquina universal.	133
Anexo 36. Probetas para el ensayo de tracción.	133

I. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche), EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCIÓN

A. IMPORTANCIA

La caracterización de las propiedades de una especie de madera proporciona información válida a la industria primaria, secundaria y permite definir sus mercados potenciales. La madera de cualquier especie forestal presenta características distintas de acuerdo con la calidad de sitio, la silvicultura aplicada, el manejo que se brinde a la plantación, entre otros factores. Además dentro de un mismo árbol las propiedades de su madera varían considerablemente tanto a lo largo del eje del tronco como dentro de una misma sección (Naden, 2015).

En la mayoría de países desarrollados, es un requisito indispensable clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas, y mecánicas para brindarles un mejor uso y desempeño que es de gran importancia económica para las industrias forestales. Por otra parte Nájera Luna, *et al.*(2005) menciona que el sector forestal enfrenta de manera creciente retos cada vez más complicados, desde el tema de la calidad de la madera como uno de los parámetros fundamentales para subsistir en la competencia. Desafortunadamente, la industria forestal tiene una gran desventaja por no contar suficiente conocimiento tecnológico de las especies de interés comercial y si se cuenta con ello, no se le da el uso adecuado, debido a que no se ha realizado los estudios complementarios que permitan asignar a cada especie de interés económico su uso más adecuado.

Cedrelinga cateniformis es una especie que, por sus características de coloración y usos similares al Cedro y a la Caoba, tiene una gran demanda por parte de diferentes sectores industriales, con la ventaja de que crece más rápido, no presenta las limitaciones ni el excesivo cuidado que requieren las otras dos especies, y actualmente es utilizada para plan

de reforestación en la Amazonía del Ecuador. Es una madera de uso múltiple, ya que se la emplea como chapa decorativa de tableros, en muebles, puertas y ventanas, molduras y pasamanos (Ecuador forestal, 2012).

Minquartia guianensis es una especie de aprovechamiento condicionado, se encuentra dispersada por todo el neotrópico bajo, donde crece en una diversidad de hábitat. En las zonas inundables de la Amazonía es un producto de abundante extracción y de gran importancia socioeconómica, especialmente porque este es muy apreciado para la construcción de casas (Nebel, 2000). Según Sleumer, 1984; Hunter (1991) mencionan que la madera se extrae para subsistencia y fines comerciales, especialmente para pilotes y postes de construcción, ya que esta madera tiene una durabilidad excepcional. La presión extractiva es muy fuerte y, en muchos lugares, se han reducido las poblaciones naturales, en consecuencia, se debe considerar opciones de manejo poniendo énfasis en la necesidad de contar con información sobre los usos, la ecología y el crecimiento de la especie.

La presente investigación pretende obtener resultados válidos referente a las propiedades de la madera con el objeto de brindar a quienes más interesa una información para el cálculo de estructuras de maderas y que se garantice seguridad en los parámetros de diseño al determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las especies *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche).

Según Grijalva, Checa, Ramos, Barrera & Limongi (2012), Estas especies forestales constituyen son objeto de gestión activa, comercial y ambiental. Principalmente enfoca las necesidades y prioridades para la creación de capacidades que permita la conservación, el uso sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales.

B. JUSTIFICACIÓN

Dentro de las numerosas propiedades físicas, químicas y mecánicas que presenta la madera, tales como, características organolépticas, de las dos especies forestales en mención han sido las que menor número de estudios de investigación se han llevado a cabo en América Latina y en especial en el Ecuador, enfocándose en su mayoría en estudios de su dendrología y a nivel de vivero, lo que limita sus posibilidades de ser utilizadas en aprovechamiento y

programas de desarrollo forestal sobre todo en industrias madereras. Igualmente los trabajos realizados sobre estas especies dejan en evidencia la carencia de información acerca de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de su madera, pero a la vez informan sobre la creciente demanda de este recurso, lo cual indica la necesidad de realizar un estudio de dichas propiedades, por lo tanto los estudios tecnológicos de la madera hacen un importante aporte al conocimiento de nuevas aplicaciones, para así evidenciar su uso adecuado en las diferentes áreas de industrialización de la madera ya sea para la construcción de casas, chapas decorativas de tableros, en muebles, puertas, ventanas, postes de construcción, puentes, entre otros.

En este sentido la presente investigación pretende identificar ciertas características de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la madera de dos especies forestales de gran interés comercial y conservación como son: *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche), las pruebas para determinar dichas propiedades se realizaron en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en la búsqueda de información técnica que aporte para el cálculo de estructuras de maderas, y la seguridad en los parámetros de diseño a nivel de la industria primaria y secundaria.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las especies *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche), en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las propiedades físicas de la madera; características organolépticas de las especies en estudio.
2. Conocer las propiedades químicas; porcentaje de humedad, pH, y análisis de las características microscópicas de las dos especies utilizadas en investigación.
3. Analizar las propiedades mecánicas mediante ensayos de compresión, tracción y flexión de las especies en estudio.
4. Realizar una simulación con el programa SOLIDWORKS para determinar las propiedades mecánicas y realizar un análisis estadístico de resultados.

IV. HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS NULA – H₀

Cedrelinga cateniformis, *Minquartia guianensis* estas especies forestales poseen características organolépticas, anatómicas, y mecánicas similares.

B. HIPÓTESIS ALTERNANTE –H₁

Cedrelinga cateniformis, *Minquartia guianensis* estas especies forestales poseen por lo menos una característica diferente.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

A. EL BOSQUE

Según Callejas (2015), El 65% de los bosques nativos se encuentran en este momento protegidos y sujetos a controles para evitar su sobre explotación. Sin embargo, dichos controles no han resultado eficaces, las cifras de deforestación y reforestación se encuentran distantes, es decir que, anualmente se pierde un área de bosques mucho mayor a aquella que es plantada con especies forestales nativas o comerciales. Las principales causas de la tala son; el crecimiento de la frontera agrícola y ganadera, la explotación de minas y petróleo, el avance de la urbanización, la industria maderera y el consumo de leña.

La información forestal del Ecuador se ha percibido que es muy dispersa y desagregada. Se conoce que el sector privado, a través de asociaciones de madereros e industriales de la madera, genera información especializada sobre el mercado de la madera, especies forestales de uso comercial, demanda de madera de la industria ecuatoriana y todo lo relacionado con la parte productiva de los bosques. Por otro lado, el Ministerio del Ambiente tiene considerable información sobre el manejo de las áreas protegidas, conservación, y cambio climático. Acciones que logren conllevar a integrar toda la información de todas las instituciones públicas y/o privadas es por tanto considerado como una necesidad primordial (PNUMA, 2008).

B. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO

1. *Cedrelinga cateniformis*

a. Clasificación taxonómica

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Cedrelinga*

Especie: *Cedrelinga cateniformis*

Nombre científico: *Cedrelinga cateniformis*

Nombre común: Chuncho, Seique, Tornillo, Mara macho, Cedrorana.

b. Descripción geográfica

Se localiza en formaciones ecológicas de bosque húmedo tropical y bosque húmedo subtropical. El Chuncho se distribuye en Surinam, Guyana, Brasil, Ecuador y Perú. En Ecuador se distribuye en toda la región Amazónica (Rojas Rodríguez & Torres Córdoba, 2014).

c. Descripción botánica

Son árboles grandes, alcanzan la mayor altura entre los árboles amazónicos, logrando llegar a 50 m de altura y troncos de 2 m de diámetro con aletones basales imponentes y 65 – 150 cm de DAP. Tronco recto y cilíndrico con raíces tablares grandes. Ramitas puberulentas. Hojas: alternas, glabras y bipinnadas. Pecíolo cilíndrico de 3-4 cm de largo, longitudinalmente estriado, con una glándula en su ápice. Peciólulo de 0-5 cm, Limbos coriáceos asimétricos, ligeramente curvados y punteados, de base desigual; ápice gradualmente acuminado, márgenes ondulados y resolutos; penninervados, con los nervios (principal, secundarios y terciarios) muy visibles y prominentes en ambas caras. Corteza externa café agrietada verticalmente; corteza interna rosado-cremosa, fibrosa y de sabor dulce. Copa amplia y redondeada, de gran tamaño (Vinuela, 2012).

Flores verde-amarillentas, con inflorescencias terminales o subterminales.

Fruto vaina o legumbre con una constricción que encierra a cada semilla como cadena. Semillas elípticas de 3-3,5 x 1,5 cm, ubicadas en la mitad central de cada artejo (Marco Vinuela, 2012).

d. Dendrología de la madera

Según Ecuador forestal (2012), esta es una especie que, por sus características de coloración y usos similares al Cedro y a la Caoba, posee una gran demanda por parte de varios sectores industriales, con la ventaja de que crece más rápido y no presenta las limitaciones ni el excesivo cuidado que requieren las otras dos especies. Es una madera de uso múltiple, ya

que se la emplea como chapa decorativa de tableros, en muebles, puertas y ventanas, molduras y pasamanos.

La extracción de madera está afectando a zonas protegidas, disponiendo carreteras para introducir maquinarias forestal pesada, tractores rompiendo caminos derribando nuestro patrimonio ambiental y desertando una vía libre para los demás extractores. Los pobladores y miembros de comunidades nativas también son afectados por la extracción maderera al sufrir el pago de sueldos insignificantes para su sobrevivencia (Calle, 2014).

e. Usos

Se puede utilizar en construcción estructural: vigas, columnas, cerchas, viguetas; pisos y mangos de escaleras; chapas y tableros contrachapados, puertas, ventanas, cielo rasos; cajonerías de calidad, molduras, encofrado y construcción de embarcaciones (Vinueza, 2012).

2. *Minquartia guianensis*

a. Clasificación taxonómica

Orden: Santalales

Familia: Olacaceae

Género: *Minquartia*

Especie: *Minquartia guianensis*

Nombre científico: *Minquartia guianensis*

Nombre Común: Guayacán pechiche

b. Descripción geográfica

Nativa desde el sur de Nicaragua hasta Ecuador y Amazonas en Brasil. En Costa Rica se localiza en la zona norte (San Carlos y Sarapiquí), zona atlántica (Guápiles, Siquirres, Limón) y más escasa en la zona Sur (Fila Chonta de Parrita, Golfito y Península de Osa) (Jiménez, 2011).

c. Descripción botánica

Árbol hasta 40 m de altura y 90 cm de diámetro, copa redondeada con ramas un poco péndulas, fuste regularmente cilíndrico, gambas pequeñas, corteza lisa a levemente fisurada, pardo-claro. Hojas simples, alternas, 8-16 cm de largo y 3-7 cm de ancho, elíptico-oblongas, corto-acuminadas en la base, margen entero y a menudo ondulado, cartácea y lustrosa, venación terciaria sub-paralela entre los nervios secundarios; pecíolo 8-16 cm de largo.

Inflorescencia solitaria, axilar, en forma de espiga. Flores pequeñas corto-pediceladas, amarillo-verdosas, cáliz ancho y dentado con 10 estambres. Frutos drupáceos, negros, 3 cm de largo y 2 cm de ancho, carnosos, comestible y de sabor ácido (Jiménez, 2011).

d. Dendrología de la madera

Esta madera tiene un alto valor en el mercado de exportación, todas las especies de guayacán se caracterizan por poseer una madera muy dura y de colores claros. Justamente por su dureza, el uso del nombre de Guaiacum se ha extendido a las otras maderas, aun cuando no tengan relación de parentesco entre ellas. (FAO, 2009a). La especie *Minquartia guianensis* se encuentra diseminada por todo el neotrópico bajo, donde crece en una diversidad de hábitat. En las zonas inundables de la Amazonía es un producto de numerosa extracción y de gran valor socioeconómica, especialmente porque este es muy apreciado para la construcción de casas. La disminución de las poblaciones naturales de *Minquartia guianensis* y el riesgo de empobrecimiento genético debido a la extracción excesiva, requiere el establecimiento de sistemas de manejo adaptados y orientados hacia los bosques naturales y a las plantaciones agroforestales (Agricultura, s.f.).

e. Usos

La madera se extrae para subsistencia y fines comerciales, especialmente para pilotes y postes de construcción, ya que esta madera tiene una durabilidad excepcional. La presión extractiva es muy fuerte y, en muchos lugares, se han reducido las poblaciones naturales (Sleumer, 1984; Hunter, 1991).

Madera excesivamente pesada y durable, con un peso específico de 0.91, albura amarilla y duramen pardo-oscuro (Creemers & Lemckert, 1981). La madera presenta dificultades de

secado (muy lento) y es dificultoso de trabajar. El duramen posee una alta durabilidad natural y es resistente al ataque de hongos, termites y a la pudrición. Es utilizada en construcciones pesadas, postes, traviesas de ferrocarril, puentes y construcciones marinas (UNASYLVA, 2000).

Es muy resistente a los organismos destructivos de madera, posiblemente debido a que contiene sustancias fungitóxicas, y también resistente a los ataques de las termitas, lo cual se atribuye a su elevada densidad de madera y probable contenido de repelente o extractos tóxicos (Scheffer & Duncan, 1947; Bultman & Southwell, 1976).

Según Flórez, *et al.* (2014), da una descripción específica de la especie forestal: Exterior general, puentes, postes, empalizadas, postes, rieles, crucetas, traviesas, muelles. Vivienda, vigas, viguetas, tableros, pisos, parquet, peldaños. Muebles y gabinetes, contenedores, carrocerías, pisos de camiones, construcción naval, pilar portuario, almacenamiento portuario.

C. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Winandy (1994), señala que las propiedades físicas son las características cuantitativas de la madera y su comportamiento a las influencias externas con fuerzas aplicadas. Se incluyen las propiedades direccionales; el contenido de humedad; estabilidad dimensional; propiedades térmicas, eléctricas y químicas; la densidad y la resistencia a la pudrición.

Según AITIM, (2014) las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento frente a los diferentes factores que intervienen en el medio natural, sin ocasionar ninguna modificación mecánica o química. Estas propiedades engloban a las que determinan su comportamiento:

- 1) Iluminación (color, brillo y textura)
- 2) La posibilidad de emitir partículas gaseosas (olor)
- 3) Agua (contenido de humedad, sorción, hinchazón, merma)
- 4) Gravedad (peso específico, densidad, porosidad)
- 5) Calor (conductividad térmica, gradiente de temperatura, dilatación térmica)
- 6) Vibraciones acústicas (conductividad del sonido, transmisión del sonido, resonancia)

- 7) Acción de la corriente eléctrica (conductividad y resistencia eléctrica, entre otras.)
- 8) Penetración de la energía radiante (radiaciones ultravioleta, infrarrojos, rayos X, entre otras).

De todas ellas nos centramos en las características organolépticas para esta investigación.

1. Características Organolépticas

Son todas aquellas características que pueden ser percibidas por los órganos sensoriales. Entre estas tenemos: color, olor, sabor, grano, textura brillo, y figura o veteado.

a. Color

La propiedad más llamativa de la madera es indudablemente su color. La diferencia de color que observamos entre la albura y el duramen se desarrolla cuando el tejido localizado hacia el centro del tronco deja de transportar agua y sus conductos se llenan de sustancias que, además de impartir color, aumentan la densidad, la fortaleza y la resistencia al ataque de los insectos. El color depende de la especie, edad, condiciones de crecimiento y del clima, por lo general las maderas oscuras son más resistentes y durables. Los cambios de color se logran originar como consecuencia de la exposición de la muestra a la luz o por oxidación de algunos de los extractivos en la madera (Posada, Pineda, & CAM, 2009).

b. Olor

Es producido por sustancias químicas como resinas, aceites o gomas que generan olores característicos, estos se presentan más fuerte en material fresco, recién cortado y puede acentuarse con el humedecimiento del material maderable. El aroma puede ser temporal o muy duradero; la exposición prolongada al aire o al agua y el secado en cámaras, mantiene o hace desaparecer este olor (Posada *et al.*, 2009).

c. Sabor

Según Posada *et al.*, (2009) el sabor dependen de la presencia de sustancias volátiles que se encuentran en mayores concentraciones en el duramen. Tienden a reducir en la superficie de la madera y consiguen realizarse raspando, cortando o humedeciendo un poco la pieza. Se califica como: característico, picante, desagradable, no distintivo o ausente.

d. Grano

Vásquez & Ramírez, (2011) menciona que la característica observable en los planos longitudinales radial (LR) y tangencial (LT). Es derivada por la disposición que tienen los elementos axiales (vasos, fibras, traqueidas, parénquima, entre otras) con respecto al eje del árbol o a la arista de la pieza aserrada. Esta característica se produce tanto por el proceso de crecimiento como por el aserrado de la madera, y puede ser:

- 1) Recto. Este tipo es considerado el normal, mostrando la dirección de los elementos paralela al eje del árbol o a la arista de la pieza aserrada.
- 2) Entrecruzado. Cuando los elementos axiales forman un arreglo irregular en dirección transversal. Produce un veteado y brillo muy atractivos y decorativos en el plano longitudinal tangencial (LT), cuando la madera ha sido pulida. A partir del rajado de la pieza, es posible observar más claramente la orientación de los diferentes elementos leñosos.
- 3) Ondulado o crespo. Cuando los elementos axiales forman un arreglo irregular y sinuoso (ondulado) en dirección longitudinal, con un brillo característico que ocasiona un bellísimo efecto decorativo.
- 4) Oblicuo, diagonal o inclinado. Ocasionado durante el aserrío de las piezas de madera, muestra los elementos del leño en ángulo agudo con respecto al eje de la misma, no siendo posible en este caso, situar correctamente los tres planos de corte en la madera.
- 5) Espiralado: es aquel donde el crecimiento del árbol se presenta un entorchamiento del tronco.

e. Textura

Esta característica es determinada en la sección transversal de la madera. Se refiere al tamaño de los elementos anatómicos, poros, células, anillos de crecimiento.

Debe ser observada en el plano transversal (X) de la pieza, aunque los otros planos complementan su determinación. Se clasifica en tres tipos:

- 1) Gruesa. Cuando la madera posee elementos constitutivos grandes, poros visibles a simple vista; parénquima abundante y visible a simple vista; radios anchos; tejido fibroso escaso.
- 2) Media. Elementos constitutivos medianos, poros difícilmente observables a simple vista; parénquima visible o invisible a simple vista; radios medios y abundancia regular del tejido fibroso.
- 3) Fina. Elementos constitutivos pequeños y distribuidos en forma difusa, poros no observables a simple vista; parénquima invisible a simple vista o escaso; radios finos y abundante tejido fibroso. Da como resultado una superficie homogénea y uniforme (Posada et al., 2009).

f. Veteado

Característica producida por las figuras que se originan en los planos longitudinales radial (LR) y tangencial (LT) luego de ser pulidos, dada la manera como se observan los diferentes elementos del xilema o madera. Se clasifica como:

Veteado suave o no acentuado. Cuando los elementos de la madera son poco evidentes, y las superficies longitudinales se presentan muy homogéneas, sin ningún elemento demasiado vistoso.

Veteado acentuado a muy acentuado. Cuando los elementos constitutivos de la madera son grandes y notorios, las diferencias de color son muy notables, los anillos de crecimiento muy marcados. Da como resultado la formación de varios tipos:

- 1) Líneas paralelas. Se observan en el plano longitudinal radial (LR) y son causadas por la presencia de características anatómicas como poros en bandas tangenciales, parénquima en bandas anchas y porosidad circular o semicircular, principalmente. En coníferas se muestra cuando los anillos de crecimiento poseen límite abrupto
- 2) Arcos superpuestos. Se observan en el plano longitudinal tangencial (LT) dispuestos uno sobre el otro. Su presencia se debe a las mismas características anatómicas descritas en el caso anterior.
- 3) Satinado. Se observa en el plano longitudinal radial (LR), por el brillo que producen los radios.

- 4) Jaspeado. Se observa en el plano longitudinal tangencial (LT), cuando los radios se muestran como un montón de líneas pequeñas, muy juntas, que resaltan la apariencia de la madera.
- 5) Líneas vasculares. Se observan en ambos planos longitudinales, cuando estos elementos son muy notorios y acentúan la apariencia de la madera, sobresaliendo con relación a otras estructuras.

Adicionalmente, el veteado puede caracterizarse por la presencia de contenidos celulares (inorgánicos) con brillos característicos, por bandas de coloración diferentes, cuando esta característica no es uniforme en la madera o varía a causa del ataque de hongos cromógenos, muy frecuentes en maderas de colores claros.

g. Lustre

El lustre (Brillo) es una característica típica de algunos grupos de maderas; producida por el reflejo de la luz. Depende parcialmente del ángulo de incidencia de la luz y del tipo de células expuesto en dicha superficie (Vásquez & Ramírez, 2011).

D. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA

Según Monteoliva (2009) menciona que la composición química de la madera presenta mayoritariamente tres componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina y en forma minoritaria extractivos (material orgánico) y cenizas (material inorgánico). Las propiedades físico-mecánicas y químicas de la madera dependen de la composición química de la misma.

Ejemplos:

1. Las propiedades de resistencia de la madera corresponden a la estructura molecular y supramolecular de la celulosa.
2. Las propiedades de resistencia natural a la degradación dependen de los tipos de extractivos que impregnen las paredes de las células.
3. El grado de blancura alcanzado por un papel se debe en gran medida a la cantidad y tipo de extractivos presentes, a las trazas de iones metálicos y al tipo de lignina residual.

4. El poder adhesivo de las resinas usadas para la fabricación de paneles dependen directamente de los extractivos presentes en la madera.

1. Porcentaje de humedad de la madera

Según Gómez y Ramírez (2006) el contenido de humedad de la madera es uno de los parámetro más importante a considerar para los diferentes propósitos en que será utilizada, actualmente se utilizan secadores industriales para satisfacer estrictamente las exigencias de los mercados internacionales, que se orientan crecientemente hacia madera seca. Las nuevas normas de la Comunidad Europea, por ejemplo, predicen la prohibición en un futuro próximo de la entrada de madera aserrada verde a los países asociados, incluso a la madera para pallets se anticipa que las exigencias de calidad llegarán a tal nivel que incluirán normas estrictas no sólo para sus dimensiones y resistencia mecánica sino también para su contenido de humedad. Por otro lado, hay una tendencia negativa en los precios e incrementos en los costos de envío, lo que está reduciendo los márgenes de utilidad.

Según Pérez (1983) y Campos *et al*, (1990) el contenido de humedad influye en la capacidad mecánica, es decir a menor contenido de humedad bajo el punto de saturación de las fibras o PSF, corresponde a la eliminación total del agua libre del interior de las células y las paredes celulares permanecen saturadas), en general aumenta la capacidad mecánica, es decir se incrementa la resistencia de la madera tanto en flexión estática, compresión paralela y perpendicular, a partir del punto de saturación de la fibra, un acrecentamiento en el contenido de humedad no tendrá ninguna incidencia sobre la resistencia de la madera.

Los métodos para determinar el contenido de humedad de la madera son; método gravimétrico o por diferencia de peso, métodos eléctricos, y método de destilación de acuerdo a Gómez y Ramírez (2006).

Fórmula para calcular el contenido de humedad (CH) (Cuevas, 2003).

$$C. H \% = \frac{P_i - P_o}{P_o} \times 100$$

Donde:

C.H% = porcentaje de humedad

Pi = peso inicial

Po = peso seco al horno o peso final

2. Densidad de la madera

La densidad es fundamental conocer ya que de ella depende el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a tratamientos y alteraciones, así como la posibilidad de utilización que se obtiene de la madera.

La densidad de la madera es propia de cada especie vegetal depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que la constituyen (Martínez, 2005). La mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como: la dureza, el peso, la resistencia al impacto y a la abrasión están relacionadas con la densidad; asimismo estas características se asocian con las condiciones climáticas que prevalecen en la región donde los individuos crecen (Rodríguez *et al.*, 2015).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = densidad de la madera expresada en gr/cm³

m = masa de la madera en gramos o en kilogramos

V = volumen de la madera en cm³ o m³

La Norma Chilena NCh176/2.Of86 modificada en 1988, hace referencia a distintos tipos de densidad, entre ellas;

a. Densidad de referencia: que relaciona la masa y volumen de la probeta en un mismo estado de humedad, y se definen en dos:

1) Densidad anhidra: relación entre la masa y el volumen de la probeta de madera en estado anhidrido.

2) Densidad normal: relación entre la masa y el volumen determinados ambos en un mismo contenido de humedad igual al 12%.

b. Densidad básica: que relaciona la masa anhidra y el volumen verde de la madera, y

c. Densidad nominal: cuya masa se determina en estado anhidro y el volumen comúnmente a 12% de CH.

De acuerdo a su densidad, la madera se puede clasificar de la siguiente manera:

- 1) Densidad < 0.4 = madera semi-liviana
- 2) Densidad entre 0.4 y 0.5 = madera liviana
- 3) Densidad entre 0.6 y 0.7 = madera semi-pesada
- 4) Densidad entre > 0.7 = madera pesada

3. Potencial de Hidrogeno (pH)

El valor pH es una característica que obtiene influencia en varios campos del aprovechamiento de la madera: el pH influye en la corrosión de metales en contacto con ella, en la fijación de determinados preservantes químicos, en la coloración de algunas maderas expuestas a la radiación solar, en la fijación de lacas y barnices sobre su superficie y en el fraguado de colas y adhesivos, ya sea en madera sólida o en forma de chapas o partículas para la producción de tableros (Albin, 1975).

4. Características anatómicas o microscópicas

a. Poros

La sección transversal, los vasos reciben el nombre de poros; su distribución, disposición, abundancia, tamaño y agrupamiento son características importantes en la identificación de especies, calidad de la madera y también en el secado e impregnación por tratamientos preventivos (Gimenez, Moglia, Hernandez & Gerez, 2005).

Los poros se clasifican en:

- 1) Solitarios: Múltiples radiales
- 2) Múltiples: Múltiples tangenciales, Múltiples diagonales y Múltiples racemiformes.

b. Parénquima

Según Gimenez, Moglia, Hernandez & Gerez (2005) manifiestan que el parénquima axial desempeña la función de almacenamiento en el leño y normalmente en mayor proporción en las Latifoliadas que en Coníferas; sus células se destacan de las demás por presentar paredes delgadas, no lignificadas, puntuaciones simples y por su forma rectangular y fusiforme en los planos longitudinales; la distribución del parénquima xilemático o axial muestra tipos intermedios y la relación espacial de los vasos, como se observa en cortes transversales pero sirve para su división en dos tipos principales:

- 1) Parénquima Apotraqueal: en agregados, bandas marginal y difuso.
- 2) Parénquima Paratraqueal: escaso, unilateral, vasicéntrico, aliforme y confluyente.

d. Radios

Según Gimenez, Moglia, Hernandez, & Gerez (2005), los radios de las latifoliadas poseen la misma función que los de las coníferas: almacenamiento y conducción transversal de las sustancias nutritivas. Estas muestran gran variedad en forma, tamaño y número de células y por este motivo, junto con el parénquima axial (vertical) es uno de los elementos más eficaces en la diferenciación de maderas de Latifoliadas; los radios pueden ser:

- 1) Homogéneos: uni o multiseriados.
- 2) Heterogéneos: uni o multiseriados.

E. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

Las propiedades mecánicas son las características de un material en respuesta a las fuerzas aplicadas externamente. De acuerdo con Spavento, Keil y Monteoliva (2008), las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que definen la aptitud y capacidad para resistir cargas externas, excluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios de humedad. Los valores de las propiedades mecánicas de la madera se consiguen de las pruebas de laboratorio hechas con madera limpia (sin defectos naturales que reducirían la fuerza, como los nudos, las grietas, las rajaduras, entre otras.).

Según la AITIM (2014) menciona que debido a la anisotropía de su estructura, a la hora de definir sus propiedades mecánicas se consideran la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra. En este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados estructuralmente, como el acero y el hormigón. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

1. Compresión

Díaz (2005), indica que se distinguen dos tipos de fuerzas de compresión según el sentido en el que actúe la aplicación de una fuerza, siendo estos, compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra.

Winandy (1994), indica que cuando una carga de compresión es aplicada perpendicular a la fibra, produce tensión que deforma las células de la madera perpendiculares a su longitud. Una vez las cavidades celulares sin sustancia colapsan, la madera es bastante fuerte puesto que ningún espacio nulo existe.

De acuerdo con Díaz (2005), la compresión perpendicular sucede cuando la fuerza externa es aplicada en dirección perpendicular a las fibras y corresponde a la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras.

La resistencia a compresión perpendicular a las fibras está muy sujeta a la dureza de la madera y a la resistencia al corte perpendicular a las fibras. Cuando se alcanza la resistencia máxima ocurre un aplastamiento de las células hasta desaparecer los huecos, lo que implica altas deformaciones (Gálvez, 2011).

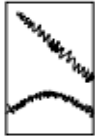
Tipos de fallas que se dan en el ensayo de compresión paralela:



Aplastamiento, sucede cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal.



Forma de cuña, ocurre cuando la dirección de la grieta en el plano radial o tangencial puede ser notada.



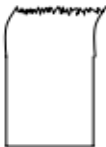
Corte, ocurre cuando el plano de ruptura marca un ángulo con la horizontal de aproximadamente 45 grados.



Rajadura, cuando existen defectos internos en la probeta.



Final enrollado es asociado a un corte impropio, o al exceso del contenido de humedad en los bordes de la probeta.



Compresión y corte paralelo a la fibra, ocurre en probetas de fibra cruzada, cuando no se siguen las especificaciones en la elaboración de las probetas.

Delgado (1975), enuncia que según la acción de la carga se distinguen dos tipos: La que actúa sobre toda el área y la actuante sobre una parte por lo que se presentan dos casos: La carga que actúa como durmiente y la que actúa como punzón, en la realidad se encuentra muy a menudo que actúa solamente en una parte del área, por lo que la resistencia de la madera es mayor, pues el área no afectada por la carga es capaz de absorber las tensiones.

Las propiedades que se comprueban la resistencia a compresión son; módulo de Young, porcentaje de estricción, esfuerzo fractura, carga de rotura, esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de cizalladura y esfuerzo de compresión.

2. Tracción

Cuevas (2003), expresa que la madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de

transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones. Si se ejecuta un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil. La resistencia a la tracción de la madera presenta valores elevados. La resistencia de la madera a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular.

Fallis (2013), menciona que su resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja (del orden de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela). Su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm², mientras (Arraiga & Blasco, 2015) expresa que en madera clasificada los valores característicos oscilan entre 8 y 18 N/mm², pero en la madera libre de defectos, se alcanzan valores superiores a los conseguidos en flexión. El diagrama tensión-deformación para la tracción es prácticamente lineal hasta la rotura. Esto se debe a las escasas fibras perpendiculares al eje (radios leñosos) y la consiguiente falta de trabazón transversal de las fibras longitudinales. De hecho, el árbol tiene pocas solicitaciones en este sentido. Es importante la consideración de la tracción transversal en las piezas estructurales curvas (Arraiga & Blasco, 2015).

Este ensayo permite conseguir información sobre la capacidad de un material para soportar la acción de cargas estáticas o de cargas que varían lentamente a temperaturas homologas inferiores a 0,5. La mayor resistencia es en dirección paralela a las fibras, motivada por la elevada resistencia que las cadenas de celulosa presentan ante esta sollicitación mecánica. La rotura en tracción se produce de forma súbita. Los ensayos de laboratorio indican que se obtienen varias propiedades tales como; módulo de elasticidad, alargamiento total, límite de resistencia, carga de rotura (Igartua, et al., 2009).

3. Flexión

La flexibilidad es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado. La madera presenta especial aptitud

para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se provoque rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura. La madera verde, joven, húmeda o calentada, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación. (Acuña & Casado, 2005).

Acuña & Casado (2005), indican que las influencias que afectan a la resistencia a la flexión son:

- Contenido de humedad, la resistencia a la flexión tiene un máximo para un grado de humedad del 5 %, disminuyendo la resistencia desde dicha humedad hasta el punto de saturación de la fibra (PSF). La variación entre el 8 y el 15 % se puede considerar lineal.
- Temperatura, la resistencia a la flexión decrece al aumentar la temperatura; este crecimiento es mayor al aumentar la humedad.
- Nudos y fendas, la influencia de los nudos varía según su posición: es mayor cuanto mayor sea el momento flector; y tiene más influencia si está en la zona de tensión que en la de compresión.

Entre otras influencias que podemos encontrar en la madera pero en esta ocasión nos enfocaremos solo en estas causas ya que en la investigación se analizara dichas causas.

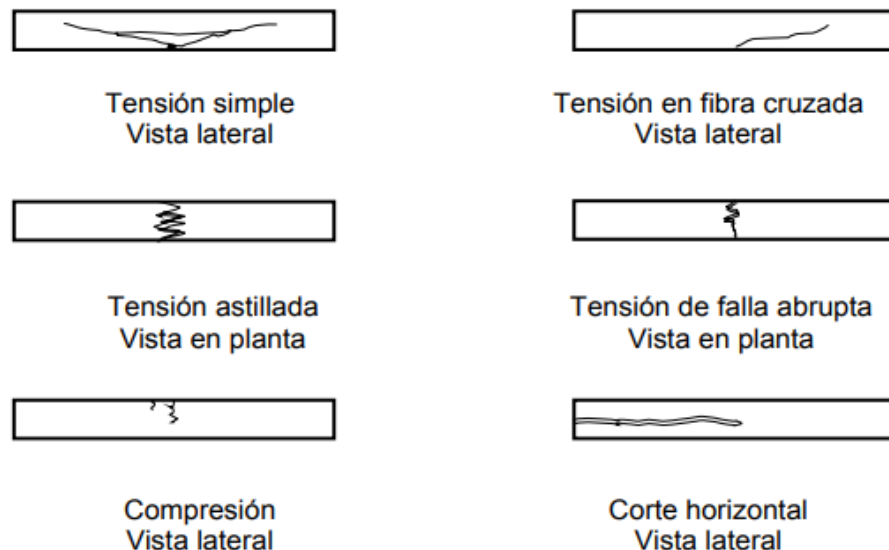


Figura 1. Tipos de fallas de flexión estática.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta (Díaz Méndez, 2005).

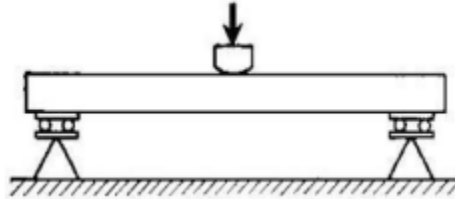


Figura 2. Flexión estática.
Fuente: (Díaz Méndez, 2005)

El plano donde se produce la inversión del sentido del esfuerzo, se denomina plano neutro y su traza sobre la sección transversal se denomina eje neutro (el esfuerzo de flexión es nulo). Además en la cara inferior de la viga se aprecia los esfuerzos máximo en tracción y en la cara superior el esfuerzo máximo en compresión (Igartua, *et al.*, 2009). Dentro de las propiedades que se determinan en este ensayo es el módulo de ruptura de flexión, el esfuerzo de flexión máximo, y flecha máxima.

F. SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de diseño mecánico en 3D con el que se puede crear geometría 3D usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller. SolidWorks diseña de forma que va dejando un historial de operaciones para se puede hacer referencia a ellas en cualquier momento. Con Solidworks se diseña piezas mecánicas en 3D, evalúa ensambles de varias piezas y produce dibujos de fabricación para el taller, además se consigue manejar los datos de diseño en su sistema de administración PDM y llevar un control de las versiones de dibujos (Irvine, 2018).

Según Dassault Systèmes (2017), menciona que las sencillas capacidades de análisis integradas en el software de CAD impulsan las soluciones y las herramientas de software de SOLIDWORKS Simulation para permitir a todos los diseñadores e ingenieros simular y analizar el rendimiento del diseño. Puede utilizar de forma rápida y sencilla las técnicas de

simulación avanzada para optimizar el rendimiento mientras diseña, reducir la generación de costosos prototipos, acabar con las repeticiones de trabajo y demoras, y ahorrar tiempo y costes de desarrollo.

Según SolidWorks Corporation (2009), el software de simulación se puede usar para el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que actúan sobre los componentes móviles. Además ofrece tres tipos de simulación de movimiento de ensamblajes:

- 1) Animation (Animación) es una simulación de movimiento simple que ignora las fuerzas, los contactos, las propiedades inerciales y otros aspectos de los componentes. Su uso resulta ideal para, por ejemplo, la verificación de las relaciones de posición correctas.
- 2) Basic Motion (Movimiento básico) ofrece cierto nivel de realismo al tener en cuenta, por ejemplo, las propiedades inerciales de los componentes. Sin embargo, no reconoce las fuerzas aplicadas externamente.
- 3) Motion Analysis (Análisis de movimiento) es la herramienta de análisis de movimiento más completa que refleja las características de análisis necesarias, como las propiedades inerciales, las fuerzas externas, los contactos, la fricción en las relaciones de posición, entre otras.

VI. MATERIALES Y METODOLOGÍA

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la provincia de Francisco de Orellana, en los cantones: La Joya de los Sachas y el Coca para la fase de recolección de muestras de las especies en estudio; una vez obtenidas las probetas de madera se realizó su respectivo ensayo y análisis en los laboratorios de la Facultad de Mecánica, en el laboratorio de fitopatología en la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

2. Ubicación geográfica

Tabla 1. Localización de las especies recolectadas.

Especie	Lugar de recolección	Parroquia	Cantón	Provincia
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Sector Cabecera Parroquial	El Dorado	Puerto Francisco de Orellana (Coca)	Francisco de Orellana
<i>Minquartia guianensis</i>	Comunidad Bella Unión del Napo	San Carlos	La Joya de los Sachas	Francisco de Orellana

(Fuente: Autor, 2018)

Tabla 2. Ubicación geográfica de la procedencia de las probetas.

Especie	Lugar	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Sector Cabecera Parroquial	0°29'56.21"S	-76°57'24.98"O	369
<i>Minquartia guianensis</i>	Comunidad Bella Unión del Napo	0°24'25.53"S	-76°54'41.45"O	358

(Fuente: Autor, 2018)

3. Características climáticas

El cantón Francisco de Orellana se caracteriza por presentar un clima tropical, cálido húmedo con temperaturas promedio de 26° C. Los niveles de precipitaciones en promedio son de 2800 a 4500 mm de lluvia al año, siendo mayo y junio los meses con mayor pluviosidad y los meses menos lluviosos agosto, septiembre y octubre. Como parte del clima tropical su humedad relativa es también alta situándose en valores cercanos al 80% manteniéndose relativamente constante durante todo el año (PDOT-ORELLANA, 2012).

El cantón Joya de los Sachas posee un piso climatológico húmedo – tropical, nubosidad media 6 octavos. De acuerdo a los registros meteorológicos de la Estación Coca, la precipitación promedio anual es de 3.000 mm y la temperatura media anual de 26.6°C, con una temperatura máxima absoluta de 34 ° C y una temperatura mínima absoluta de 18°C.

4. Clasificación ecológica

El cantón de Francisco de Orellana está inmerso en el gran ecosistema amazónico los dos ecosistemas principales son; Bosque Húmedo Amazónico y Bosque Húmedo Amazónico Inundable (MAE 2008).

Dentro del cantón de La Joya de los Sachas, existen dos tipos de ecosistemas principales, estos son: Bosque Inundable de la Llanura Aluvial de Ríos de Aguas Blancas de la Amazonía y Bosque Siempre Verde de la Penillanura de la Amazonía, según el mapa de vegetación del Ecuador continental del Ministerio del Ambiente, 2011.

5. Características del suelo

A nivel cantonal Francisco de Orellana predominan los suelos con texturas arcillosas, cuya característica principal es su coloración rojiza, baja permeabilidad, pobreza en nutrientes, concentraciones de aluminio a niveles tóxicos, muy susceptible a la compactación, entre otras limitaciones que restringen ampliamente la actividad agro-productiva (PDOT-ORELLANA, 2012).

El cantón la Joya de los Sachas presenta suelos arcillosos de textura delgada y características ferruginosas en un 50% del área del cantón. Porciones de suelos negros de textura media en

las áreas cercanas a los ríos Napo y Coca, en un 50% de la superficie. (Plan estratégico cantonal Joya de los Sachas, 2006).

6. Estado de conservación del bosque de la zona

Considerando la información obtenida en campo como: aspectos generales de la vegetación, estructura fisonomía, especies indicadoras y geomorfología del suelo, se ha clasificado a los bosques en:

El cantón Francisco de Orellana en cuanto a su cobertura vegetal ha sido reemplazado principalmente por cultivos especies frutales y pastos, estos factores han contribuido al deterioro de la formación vegetal original, manifestando un bosque secundario en la zona de recolección de muestras de *Cedrelinga cateniformis*.

El cantón la Joya de los Sachas igualmente su cobertura vegetal ha sido reemplazado principalmente por cultivos especies frutales y pastos. La zona correspondiente a este estudio está formada básicamente de pocas especies arbóreas, acompañados de un estrato herbáceo en algunos sectores. Pero como se describió anteriormente en la zona de estudio solamente se identificó un tipo de vegetación denominada rastrojo y bosque secundario.

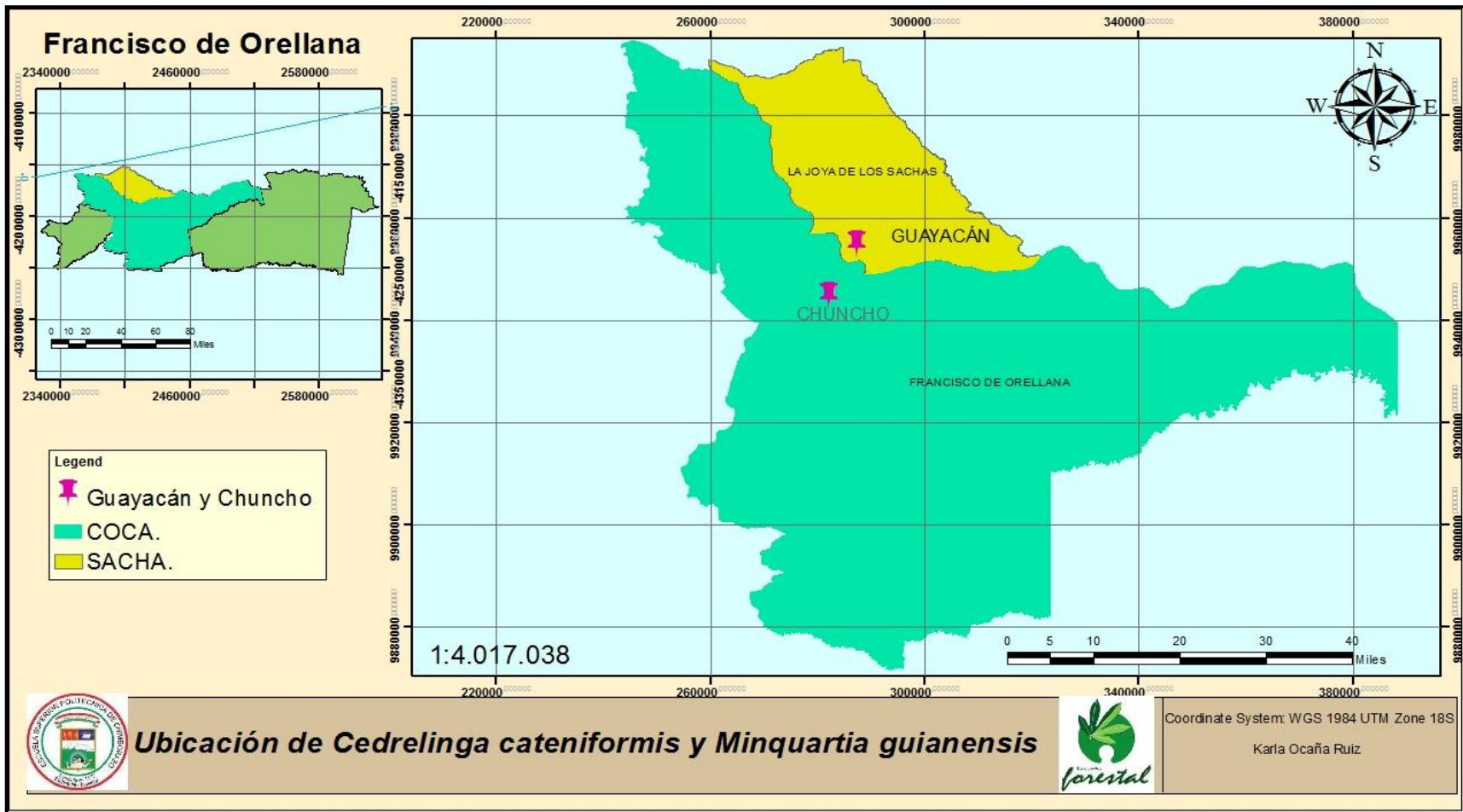


Figura 3. Mapa de ubicación de las especies forestales *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minquartia guianensis* (guayacán pechiche), en la provincia Francisco de Orellana, Ecuador.
Elaborado por: Ocaña. K., 2018

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Equipos y herramientas

Durante la investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales: equipos de protección personal (EPP), maquina universal, motosierra, sierras (carpintería), peachímetro, balanza, madera en chips, mufla, agua destilada, autoclave, tinciones: a. soluciones de safranina 10%, b. verde brillante 10% ; papel filtro, pinzas, probetas, microscopio óptico y electrónico, calibrador, flexómetro, micrótopo, recipientes, lupa de 10x, cámara fotográfica, y computadora.

2. Insumos (probetas de madera)

Probetas de madera de las especies forestales *Cedrelinga cateniformis*, *Minquartia guianensis*.

C. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo mediante la compilación de información, usando técnicas de investigación bibliográfica y de campo, en un nivel exploratorio, descriptivo, analítico, y sus objetivos fueron cumplidos de la siguiente manera:

1. Identificar las propiedades físicas de la madera; características organolépticas de *Cedrelinga cateniformis* y *Minquartia guianensis*.

A nivel de campo se procedió con la ejecución de las siguientes fases:

a. Selección de árboles

Fueron seleccionados un árbol de cada especie, realizando una tala dirigida, la cual consiste primordialmente en cuidar y preservar el bosque y que éste resulte lo menos afectado posible. Mediante la selección de los árboles que presenten condiciones tales como: buen porte, óptimo estado sanitario, DAP (Diámetro a la altura del pecho) mayor a 40cm, altura

comercial mayor a 10m y escasa presencia de nudos, según lo requieren las normas A.S.T.M. D-143.

b. Actividades para la obtención de trozas

De cada uno se cortaron 4 piezas de madera de 2 m de longitud por 30 cm de ancho y 6 cm de espesor, de las cuales se seleccionaron 2 trozas al azar.

El corte se realizó en el aserradero, donde se mantuvo bajo cubierta protegida del sol y de la lluvia. Las piezas fueron apiladas sobre tarimas para protegerla de la humedad del suelo con cierto grado de inclinación, ya que de esta manera circula fácilmente el aire por la madera apilada, el secado al aire tuvo una duración de un mes aproximadamente.

c. Preparación de probetas

En esta etapa la madera debe estar seca ya que luego en la carpintería se extrae una pieza de madera de 5 cm de espesor, y se seleccionó al azar una vigueta de sección transversal de 0,05 x 0,05 x 1,20 m.

Las viguetas que fueron descritas anteriormente fueron utilizadas para la elaboración de probetas, que tienen dimensiones normalizadas según el tipo de ensayo ya sea físico, químico o mecánico.

d. Determinación de características organolépticas

En las propiedades físicas se identificó las características organolépticas de la madera como color, olor, sabor, veteado, lustre, grano, textura mediante la observación de las cinco probetas de las maderas de dimensiones de 35m de longitud por 25 cm de ancho y 5 cm de espesor que se obtuvieron de cada especie en estudio.

El color se determinó con la ayuda de las tablas de Munsell 10YR y 7.5 YR de las probetas de *Cedrelinga cateniformis*.

2. Conocer las propiedades químicas; porcentaje de humedad, pH, análisis de las características microscópicas de las dos especies utilizadas en la investigación

a. Determinación del porcentaje de humedad

En cuanto a las propiedades químicas se analizó el porcentaje de humedad de la madera con un secado al aire. Se logró por medio del método gravimétrico o por diferencia de peso en donde las dos piezas de madera se pesa para obtener el peso inicial (Pi), luego se coloca en un horno a una temperatura máxima de 105 grados Celsius hasta que se obtenga peso constante de la muestra, el que será el peso seco al horno o peso final (Po). Para calcular el contenido de humedad (CH) se aplicó la siguiente fórmula:

$$C.H \% = \frac{P_i - P_o}{P_o} \times 100$$

Donde:

C.H% = porcentaje de humedad

Pi = peso inicial

Po = peso seco al horno o peso final

También se calculó la densidad de la madera de cada una de las especies en estudio, utilizando los datos iniciales del contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = densidad de la madera expresada en gr/cm³

m = masa de la madera en gramos o en kilogramos

V = volumen de la madera en cm³ o m³

b. Determinación del pH

La determinación del pH se basó en el método de Sandermann y Rothkamm (1959); 2 g de harina de madera se colocaron en un vaso de precipitados con 20 ml de agua destilada, se

registró la lectura inicial del pH con un peachímetro y se volvió a tomar a los 5 minutos, a las 4 horas, a las 24 horas y a las 48 horas de comenzada la medición.

c. Análisis de las características microscópicas de las muestras

Las características anatómicas o microscópicas de las muestras de madera de *Cedrelinga cateniformis* y *Minquartia guianensis* se obtuvieron imágenes de un microscopio óptico y un microscopio electrónico, haciendo una comparación con que microscopio se puede visualizar mejor sus características tales como; radios, poros y parénquima de cada especie en estudio. Se logró con las diferentes tinciones: soluciones de Safranina 10%, y Verde brillante 10%, y con el siguiente procedimiento;

- 1) Corte de pequeños pedazos cúbicos extraídos de cada una de las probetas en estudio, de 2 cm de arista.
- 2) Ablandamiento de los pedazos en la autoclave mediante un proceso de alta presión y alta temperatura. Con 2 ciclos de autoclavado a 120°C, 0.2 pascales por una hora y media con periodos de enfriamiento de una hora.
- 3) Corte de las láminas correspondientes solo la superficie transversal de la muestra, con el micrótopo, con cortes de 0,5 micras.
- 4) Depósito de las láminas obtenidas en recipientes con agua destilada.
- 5) Coloración e inmersión de las láminas en safranina al 10% por un tiempo de 5 minutos y verde brillante 10% por 5 minutos.
- 6) Ubicación de las láminas en un portaobjeto con ayuda de la pinza de metal.
- 7) Observación de la sección transversal en el microscopio con aumentos de 10x y 40x, finalmente se fotografiaron las imágenes requeridas para el reconocimiento de las características microscópicas.

3. Analizar las propiedades mecánicas mediante ensayos de compresión, tracción y flexión de las especies en estudio.

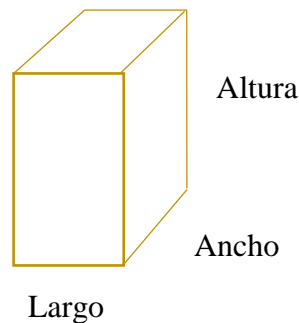
Los ensayos de compresión, tracción y flexión de propiedades mecánicas, se basaron en las normas de la American Society of Testing Materials (ASTM) D143, utilizados para métodos de ensayo estándar para muestras pequeñas de madera, en la cual se establece que las probetas para los ensayos deben ser piezas pequeñas y limpias para cada uno de los ensayos

de compresión, tracción y flexión. Las medidas de las probetas deben verificarse en el momento del ensayo, con cinco repeticiones por cada ensayo.

Tabla 3. Dimensiones de las probetas para los ensayos mecánicos.

Ensayo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
Compresión paralelo a las fibras	50	50	200
Compresión perpendicular a las fibras	50	50	150
Flexión estática	25	25	410
Tracción	De acuerdo con las normas ASTM D143		

(Fuente: Autor, 2018)



(Fuente: Autor, 2018)

a. Compresión

Tamaño de las muestras: la compresión paralela a la fibra; las probetas fueron de 2 x 2 x 8 pulgadas (50 x 50 x 200 mm) (métodos primarios).

Velocidad de prueba: la carga se aplicó continuamente durante toda la prueba a una velocidad de movimiento de los muebles cruceta de 1 (mm / mim).



Figura 4. Ensayo de compresión paralela a la fibra con la maquina universal.

(Fuente: Autor, 2018)

Tamaño de las muestras: la compresión perpendicular a la fibra las probetas serán de 2 x 2 x 6 pulgadas (50 x 50 x 150 mm). La altura, el ancho y la longitud reales serán medidas antes de iniciar los ensayos.



Figura 5. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra con la máquina universal

(Fuente: Autor, 2018)

Se determina el esfuerzo máximo, la deformación que se produce, el módulo de Young, módulo de cizalladura, y el porcentaje de estricción que se mide con las siguientes formulas:

Carga real = carga medida – carga muerta

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ = esfuerzo máximo de la probeta

F = carga real de la probeta

A = área de la probeta

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación unitaria}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E= módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal de la probeta

σ = Esfuerzo máximo de la probeta

ε = Deformación unitaria de la carga de la probeta

$$G = \frac{\text{Esfuerzo compresión}}{\varepsilon}$$

Donde:

G= módulo de cizalladura

σ = Esfuerzo de compresión

ε = Deformación unitaria de la carga de la probeta

$$Z(\%) = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100$$

Donde:

Z (%) = porcentaje de estricción

A_o = área de prueba original

A_f = área en el momento de la fractura

b. Tracción

Tamaño de las muestras: las pruebas de tracción son en probetas de acuerdo al tamaño y la forma como se indica en la Figura 4 de la norma ASTM D143. La probeta debe estar orientado a la dirección de los anillos anuales en la sección crítica en los extremos de las muestras, son perpendicular a la mayor sección transversal dimensión. Las dimensiones transversales reales son medidas antes de iniciar los ensayos.

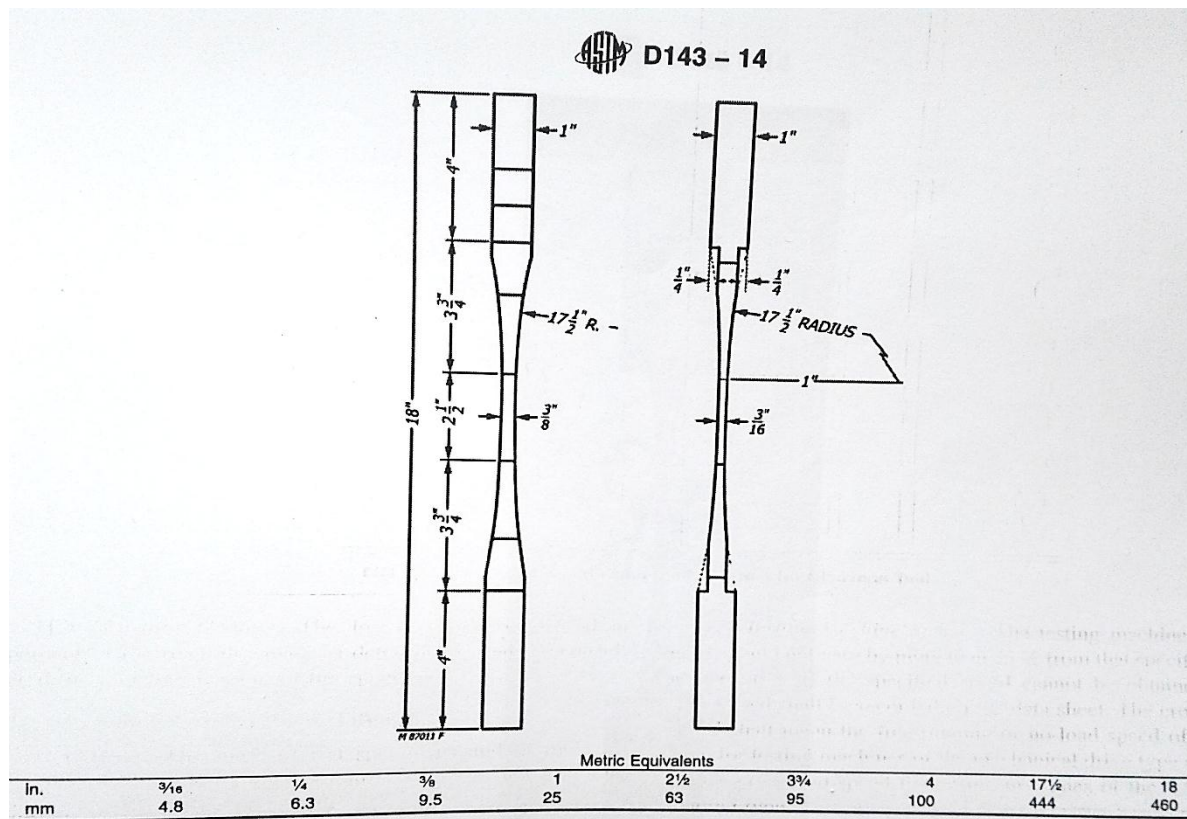


Figura 6. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción.
(Fuente: ASTM, 2000)

Velocidad de prueba: la carga debe aplicarse continuamente durante toda la prueba a una



Figura 7. Ensayo de tracción de la madera con la máquina universal

(Fuente: Autor, 2018)

velocidad de movimiento de los muebles cruceta de 1.5 mm / min.

Fórmulas:

$$A(\%) = \varepsilon * 100$$

Donde:

A (%) = porcentaje de alargamiento de la probeta

ε = Deformación unitaria de la carga de la probeta

c. Flexión

Tamaño de las muestras: las pruebas de flexión estática se realizó por el método secundario de muestras que es 1 x 1 x 16 pulgadas (25 x 25 x 410 mm).

Carga de espacio y soportes: la carga del centro y una longitud del tramo de 14 pulg. (360 mm) para el método secundario. Estos tramos fueron establecidos con el fin de mantener una proporción mínima de alcance a profundidad de 14. Ambos bordes de cuchillas de soporte deben estar provistos con placas de rodamiento y rodillos de tal espesor que la distancia desde el punto de apoyo hasta el plano central no es mayor que la profundidad de



Figura 8. Ensayo de flexión estática de la madera con la maquina universal.

la muestra.

(Fuente: Autor, 2018)

Fórmulas:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ = esfuerzo máximo de la probeta

F = carga real de la probeta

A = área de la probeta

4. Realizar una simulación con el programa SOLIDWORKS para determinar las propiedades mecánicas y realizar un análisis estadístico de resultados.

Se realizó una simulación con el programa SOLIDWORKS para cada ensayo con cada una de las especies en estudio, para realizar una comparación con la simulación de dicho programa con los datos obtenidos en el laboratorio, por lo que se obtuvo un porcentaje de error menor al 10% en el análisis estadístico. Se debió crear un nuevo material personalizado, ingresando una nueva base de datos sobre cada material.

a. Procedimiento para realizar la simulación en SOLIDWORKS para el ensayo de tracción.

- 1) Diseño de la probeta para el ensayo de tracción, sus medidas se observan en la sección 3 de tracción.



Figura 9. Probeta para el ensayo de tracción.

(Fuente: Autor, 2018)

- 2) Asignar el material de la pieza escogiendo un material desde una biblioteca de materiales; dar clic en editar material, en el cuadro de diálogo material, expanda la clase de materiales y seleccione uno.

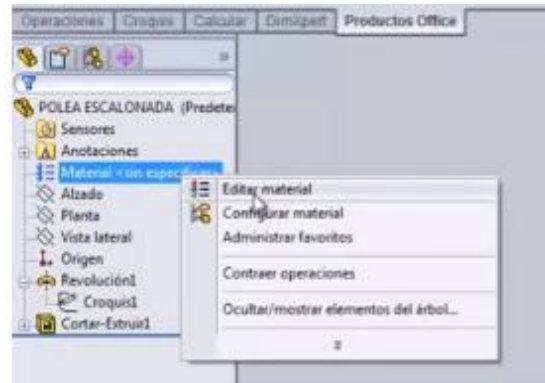


Figura 10. Asignación de material de la pieza.
(Fuente: Autor, 2018)

- 3) Seleccionar material; dar clic en madera y crear nueva biblioteca. Para ambos de casos de la madera de *C. cateniformis* y *M. guianensis* se debió crear un nuevo material y colocar nuevos valores en las propiedades, ya que así se obtuvieron valores similares con los resultados de los datos de laboratorio.

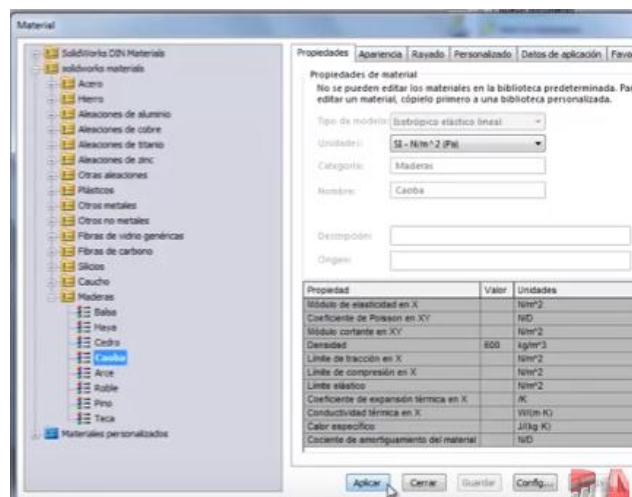


Figura 11. Seleccionar tipo de madera.
(Fuente: Autor, 2018)

- 4) Activar la opción SOLIDWORKS Simulation en la barra de tareas. SOLIDWORKS Simulation ofrece soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, de frecuencia, de pandeo, térmicos, de fatiga, de recipiente a presión, de caída, dinámicos lineales y no lineales, y de optimización. Además reduce el tiempo de salida al mercado ahorrando tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos.

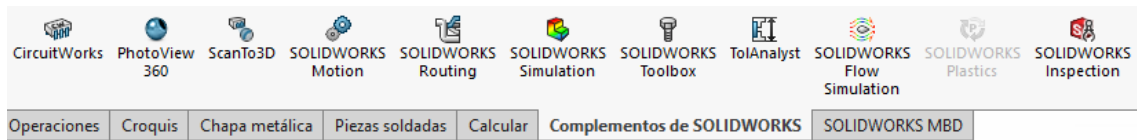
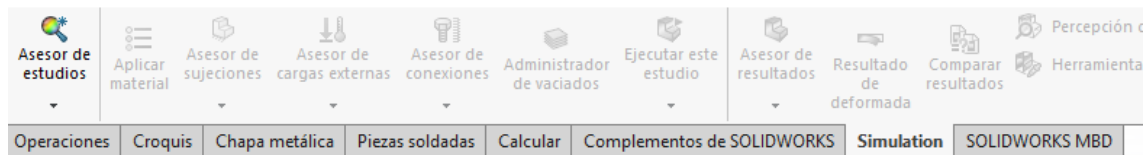


Figura 12. Barra de tareas de SolidWorks.
(Fuente: Autor, 2018)

- 5) En la ventanilla de asesor de estudios encontrar la opción nueva simulación. El Asesor de simulaciones ayuda a elegir el tipo de estudio, definir cargas, sujeciones y



conexiones, e interpretar los resultados.

Figura 13. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 6) Configurar para realizar una simulación estática y aceptar la simulación. El nombre de la simulación puede cambiarse de acuerdo al usuario. Al crear un estudio, el programa crea una carpeta sujeciones y cargas externas en el gestor de simulation. El software agrega un elemento en la carpeta sujeciones o cargas externas para cada carga o restricción que se defina en una o más entidades.

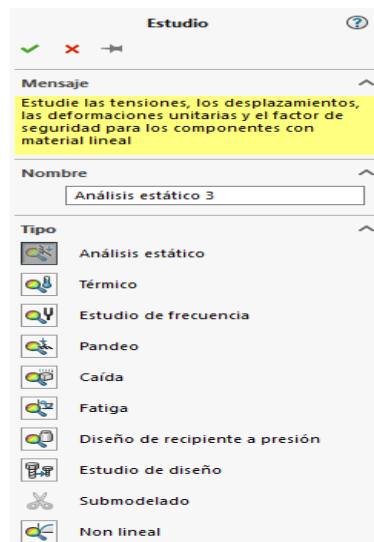


Figura 14. Configuración de la simulación estática.
(Fuente: Autor, 2018)

- 7) En sujeciones damos clic derecho y seleccionar (GEOMETRÍA FIJA); la parte inferior de la probeta se utiliza como superficie fija para la simulación (esta opción permite fijar a la probeta para el realizar la simulación) y aceptar la sujeción.

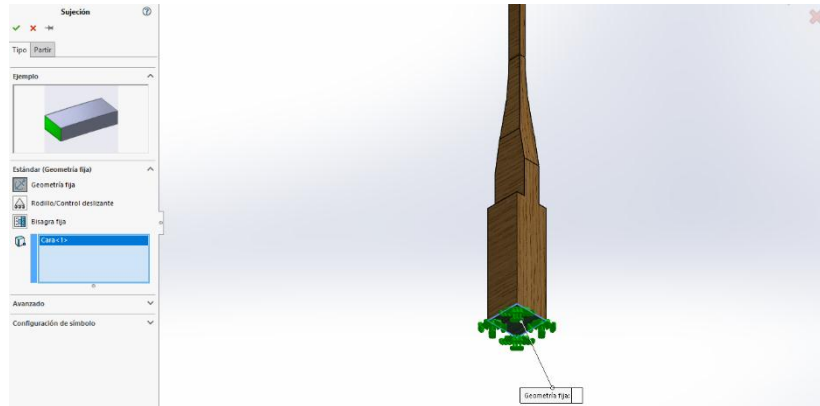


Figura 15. Seleccionar Geometría Fija

(Fuente: Autor, 2018)

- 8) Para finalizar el ensayo agregar una carga de tracción en la opción cargas externas, adicionar la opción (FUERZA). Las cargas y restricciones son necesarias para definir el entorno de servicio del modelo. Los resultados del análisis dependen directamente de las cargas y restricciones especificadas.

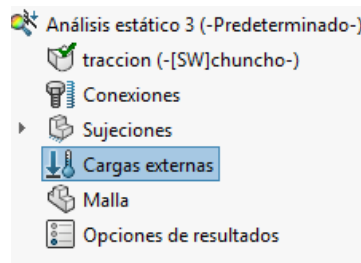


Figura 16. Aplicar cargas.

(Fuente: Autor, 2018)

- 9) Para la simulación de tracción seleccionar la superficie superior en la cual actuara el valor de carga y llenar los parámetros fundamentales. La entrada direccional, de manera predeterminada, se refiere al sistema de coordenadas global que está basado en el Plano1, este es el primer plano que aparece en el gestor y puede tener un nombre distinto. Se pueden utilizar otros planos o ejes de referencia para especificar las direcciones.

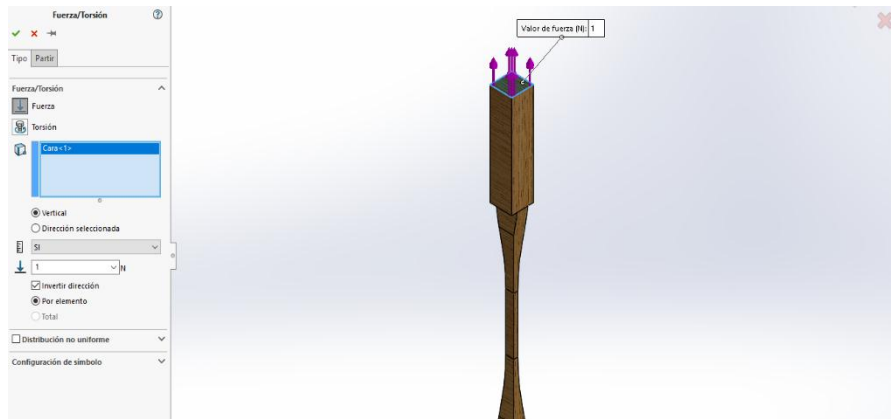


Figura 17. Colocar los parámetros de cargas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 10) El valor de la carga aplicada es el valor calculado durante los ensayos el cual es 515.5 Kgf y con la transformación de unidades tenemos 1133.44 lbf, este valor para el ensayo de tracción de la especie de *C. cateniformis* y para la especie *M. guianensis* tenemos 1311,5 Kgf transformación de unidades tenemos 2891.36 lbf.

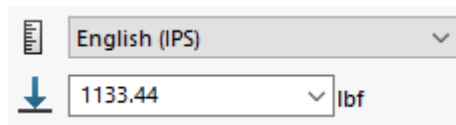


Figura 18. Asignar la carga aplicada.
(Fuente: Autor, 2018)

- 11) Proceder a crear un mallado estándar en toda la probeta seleccionando la opción (MALLA) y seguidamente (CREAR MALLA). El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

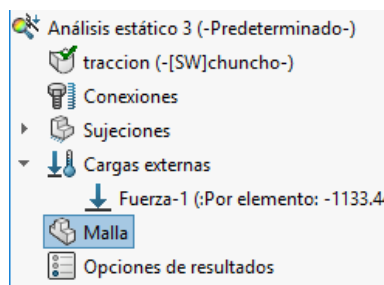


Figura 19. Crear malla estándar.
(Fuente: Autor, 2018)

- 12) Una vez creada la malla se obtiene una superficie con cuadrículas y si no existen errores el mallado se crea correctamente caso contrario el software genera un mensaje y se detiene, a menos que estén activas las pruebas automáticas. El mallado genera elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos de viga en 1D. El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla, que permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

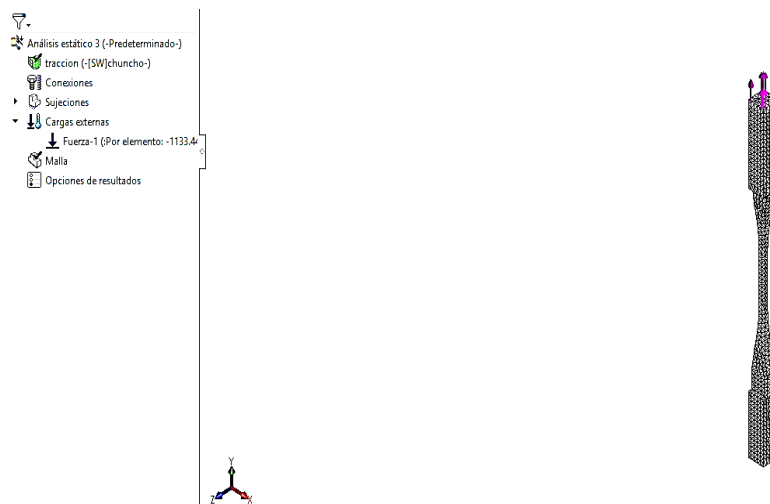
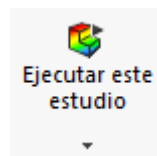


Figura 20. Malla estándar de la probeta de tracción.
(Fuente: Autor, 2018)

- 13) Después de asignar los materiales, definir las cargas y restricciones y mallar el modelo (si el mallado fue correcto ejecutamos la simulación ejecute el estudio) para calcular los resultados. Para ejecutar un estudio, hacer clic con el botón derecho del ratón en el gestor de simulation y seleccionar Ejecutar, o bien hacer clic en ejecutar en la barra de herramientas de Simulation.



(Fuente: Autor, 2018)

- 14) Los resultados de la simulación por defecto permiten ver tensiones, deformaciones y deformaciones unitarias. El software genera una carpeta resultados en el gestor de Simulation después de ejecutar un estudio correctamente. Los trazados predeterminados

en la carpeta resultados dependen del tipo de estudio y de las opciones configuradas en la pestaña opciones predeterminadas del cuadro de diálogo opciones.

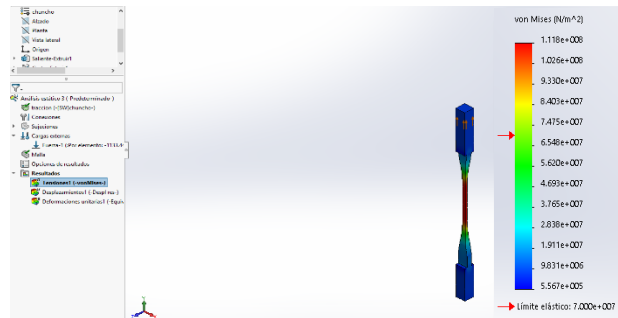


Figura 21. Resultados de la simulación del ensayo de tracción.
(Fuente: Autor, 2018)

b. Procedimiento para realizar la simulación en SOLIDWORKS para el ensayo de compresión paralela a la fibra.

- 1) Diseño de la probeta para el ensayo de compresión paralela a la fibra, las probetas fueron de 50 x 50 x 200 mm.



Figura 22. Probeta de compresión paralela a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

- 2) Seleccionar material; dar clic en madera y crear nueva biblioteca. Para ambos de casos de la madera de *C. cateniformis* y *M. guianensis* se debió crear un nuevo material y colocar nuevos valores en las propiedades, ya que así se obtuvieron valores similares con los resultados de los datos de laboratorio.

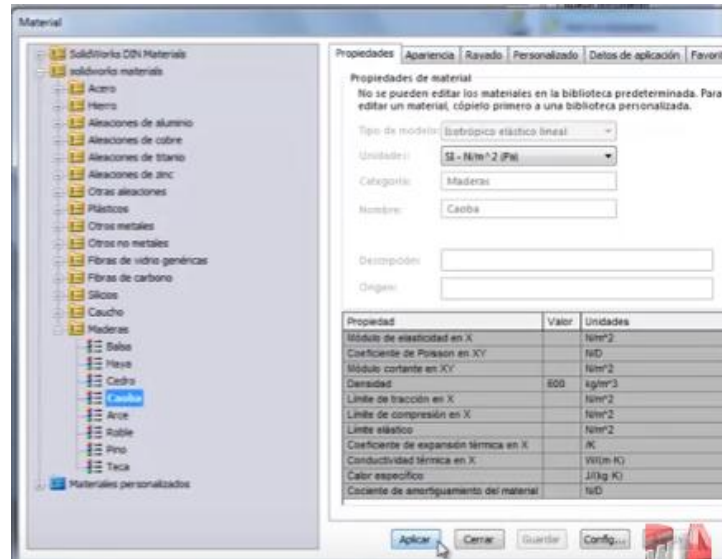


Figura 23. Seleccionar tipo de madera
(Fuente: Autor, 2018)

- 3) Activar la opción SOLIDWORKS Simulation en la barra de tareas. SOLIDWORKS Simulation ofrece soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, de frecuencia, de pandeo, térmicos, de fatiga, de recipiente a presión, de caída, dinámicos lineales y no lineales, y de optimización. Además reduce el tiempo de salida al mercado ahorrando tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos.

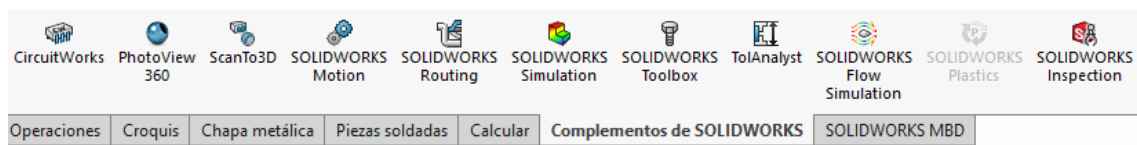


Figura 24. Barra de tareas de SolidWorks.
(Fuente: Autor, 2018)

- 4) En la ventanilla de asesor de estudios encontrar la opción nueva simulación. El Asesor de simulaciones ayuda a elegir el tipo de estudio, definir cargas, sujeciones y conexiones, e interpretar los resultados.

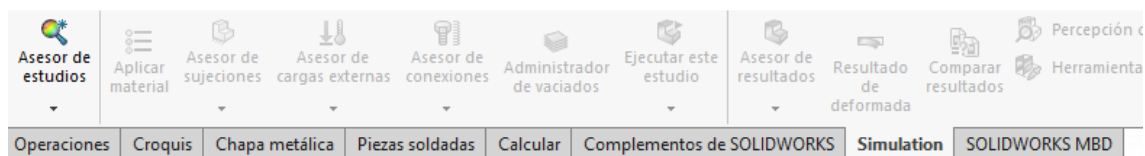


Figura 25. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 5) Configurar para realizar una simulación estática y aceptar la simulación. El nombre de la simulación puede cambiarse de acuerdo al usuario. Al crear un estudio, el programa crea una carpeta sujeciones y cargas externas en el gestor de simulation. El software agrega un elemento en la carpeta sujeciones o cargas externas para cada carga o restricción que se defina en una o más entidades.

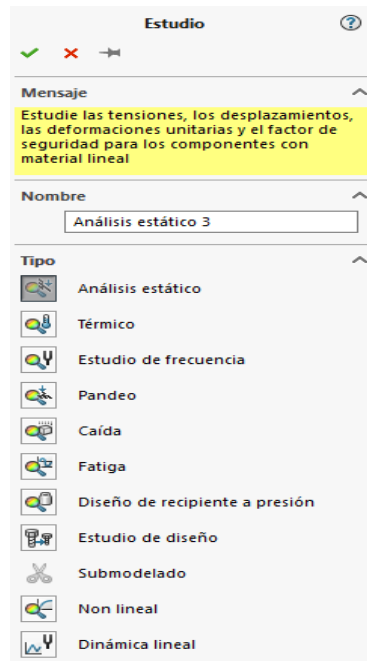


Figura 26. Configuración de la simulación estática.
(Fuente: Autor, 2018)

- 6) En sujeciones damos clic derecho y seleccionar (GEOMETRÍA FIJA); la parte inferior de la probeta se utiliza como superficie fija para la simulación (esta opción permite fijar a la probeta para el realizar la simulación) y aceptar la sujeción.

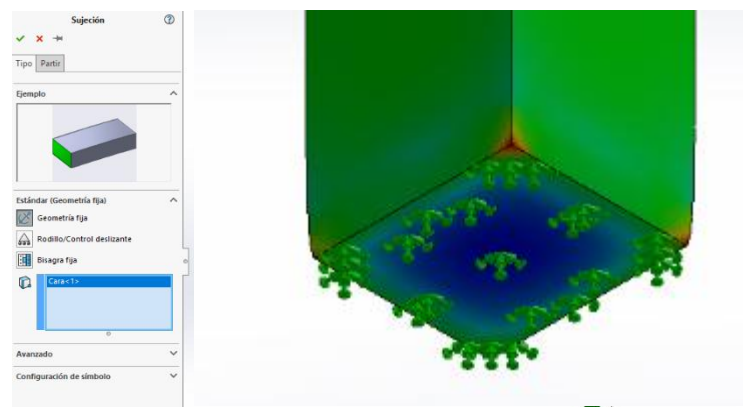


Figura 27. Seleccionar Geometría Fija
(Fuente: Autor, 2018)

- 7) Para finalizar el ensayo agregar una carga de compresión paralela a la fibra en la opción cargas externas, adicionar la opción (FUERZA). Las cargas y restricciones son necesarias para definir el entorno de servicio del modelo. Los resultados del análisis dependen directamente de las cargas y restricciones especificadas.

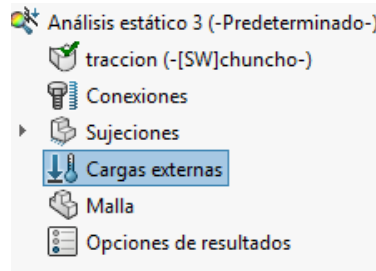


Figura 28. Aplicar cargas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 8) Para la simulación de compresión paralela a la fibra seleccionar la superficie superior en la cual actuara el valor de carga y llenar los parámetros fundamentales. La entrada direccional, de manera predeterminada, se refiere al sistema de coordenadas global que está basado en el plano1, este es el primer plano que aparece en el gestor y puede tener un nombre distinto. Se pueden utilizar otros planos o ejes de referencia para especificar las direcciones.

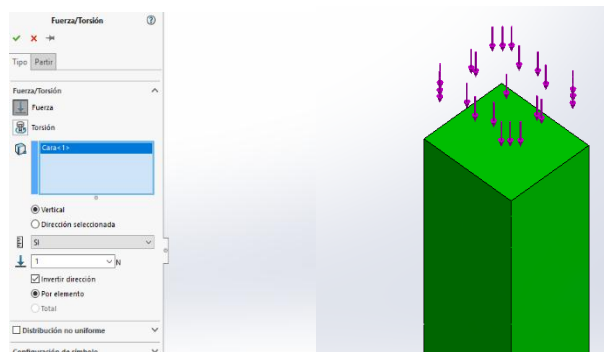


Figura 29. Colocar los parámetros de cargas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 9) El valor de la carga aplicada es el valor calculado durante los ensayos el cual es 7089 Kgf este valor para el ensayo de compresión paralela a la fibra de la especie de *C. cateniformis* y para la especie *M. guianensis* tenemos 15792,25Kgf.

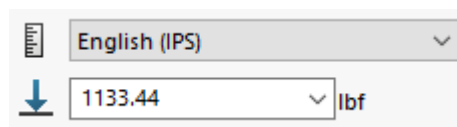


Figura 30. Asignar la carga aplicada.

- 10) Proceder a crear un mallado estándar en toda la probeta seleccionando la opción (MALLA) y seguidamente (CREAR MALLA). El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

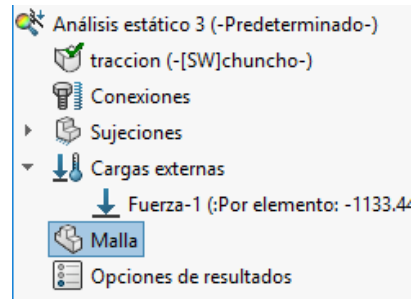


Figura 31. Crear malla estándar.
(Fuente: Autor, 2018)

- 11) Una vez creada la malla se obtiene una superficie con cuadrículas y si no existen errores el mallado se crea correctamente caso contrario el software genera un mensaje y se detiene, a menos que estén activas las pruebas automáticas.

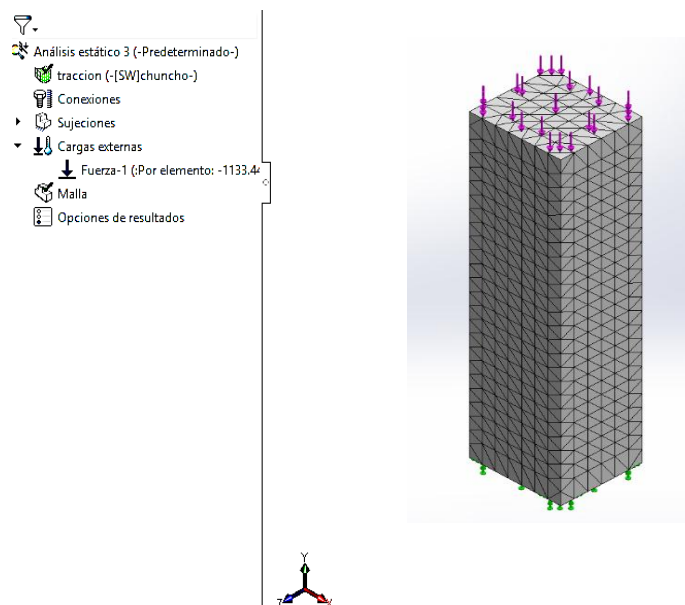
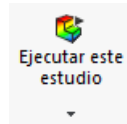


Figura 32. Malla estándar de la probeta de compresión paralela a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

12), Después de asignar los materiales, definir las cargas y restricciones y mallar el modelo (si el mallado fue correcto ejecutamos la simulación ejecute el estudio) para calcular los resultados. Para ejecutar un estudio, hacer clic con el botón derecho del ratón en el gestor de simulation y seleccionar Ejecutar, o bien hacer clic en ejecutar en la barra de herramientas de Simulation.



(Fuente: Autor, 2018)

13) Los resultados de la simulación por defecto permiten ver tensiones, deformaciones y deformaciones unitarias. El software genera una carpeta resultados en el gestor de simulation después de ejecutar un estudio correctamente. Los trazados predeterminados en la carpeta resultados dependen del tipo de estudio y de las opciones configuradas en la pestaña opciones predeterminadas del cuadro de diálogo opciones.

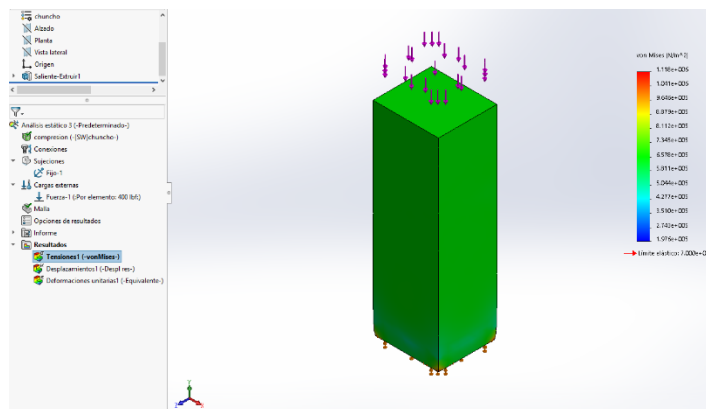


Figura 33. Resultados de la simulación del ensayo compresión paralela a la fibra.

(Fuente: Autor, 2018)

c. Procedimiento para realizar la simulación en SOLIDWORKS para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

1) Diseño de la probeta para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra de dimensiones 50 x 50 x 150 mm

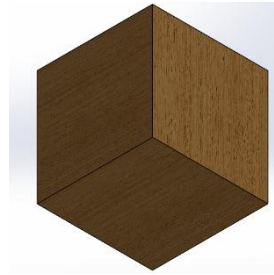


Figura 34. Probeta para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

(Fuente: Autor, 2018)

- 2) Seleccionar material; dar clic en madera y crear nueva biblioteca. Para ambos de casos de la madera de *C. cateniformis* y *M. guianensis* se debió crear un nuevo material y colocar nuevos valores en las propiedades, ya que así se obtuvieron valores similares con los resultados de los datos de laboratorio.

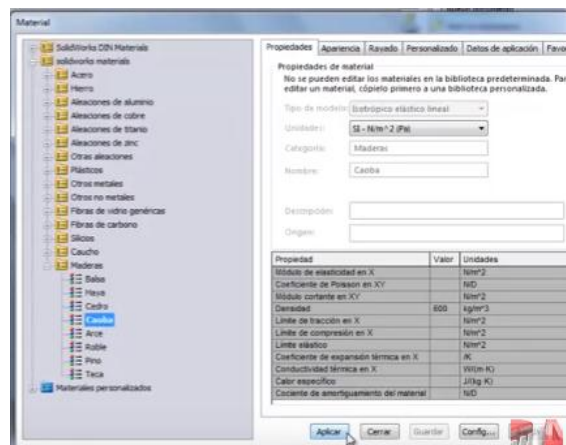


Figura 35. Seleccionar tipo de madera.

(Fuente: Autor, 2018)

- 3) Activar la opción SOLIDWORKS Simulation en la barra de tareas. SOLIDWORKS Simulation ofrece soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, de frecuencia, de pandeo, térmicos, de fatiga, de recipiente a presión, de caída, dinámicos lineales y no lineales, y de optimización. Además reduce el tiempo de salida al mercado ahorrando tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos.

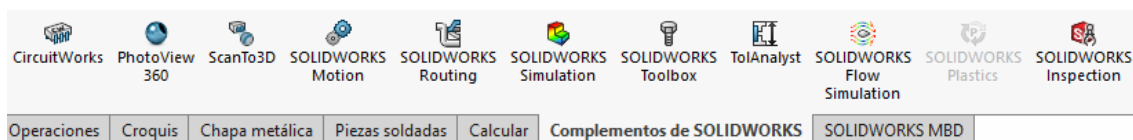


Figura 36. Barra de tareas de SolidWorks.

(Fuente: Autor, 2018)

- 4) En la ventanilla de asesor de estudios encontrar la opción nueva simulación. El Asesor de simulaciones ayuda a elegir el tipo de estudio, definir cargas, sujeciones y conexiones, e interpretar los resultados.

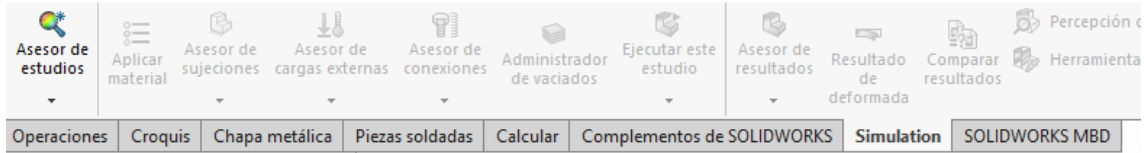


Figura 37. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.

(Fuente: Autor, 2018)

- 5) Configurar para realizar una simulación estática y aceptar la simulación. El nombre de la simulación puede cambiarse de acuerdo al usuario. Al crear un estudio, el programa crea una carpeta sujeciones y cargas externas en el gestor de simulation. El software agrega un elemento en la carpeta sujeciones o cargas externas para cada carga o restricción que se defina en una o más entidades.

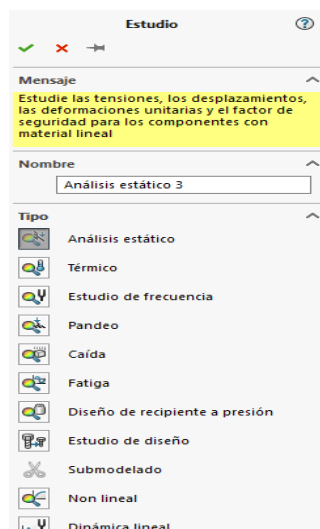


Figura 38. Configuración de la simulación estática.

(Fuente: Autor, 2018)

- 6) En sujeciones damos clic derecho y seleccionar (GEOMETRÍA FIJA); la parte inferior de la probeta se utiliza como superficie fija para la simulación (esta opción permite fijar a la probeta para el realizar la simulación) y aceptar la sujeción.

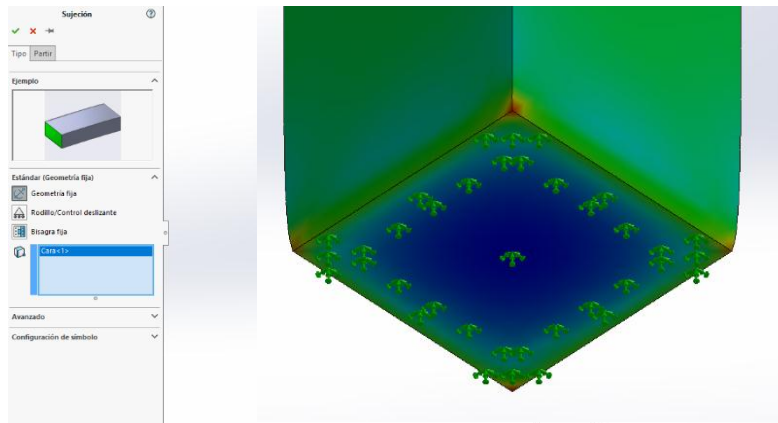


Figura 39. Seleccionar Geometría Fija
(Fuente: Autor, 2018)

- 7) Para finalizar el ensayo agregar una carga de compresión perpendicular a la fibra en la opción cargas externas, adicionar la opción (FUERZA). Las cargas y restricciones son necesarias para definir el entorno de servicio del modelo. Los resultados del análisis dependen directamente de las cargas y restricciones especificadas.

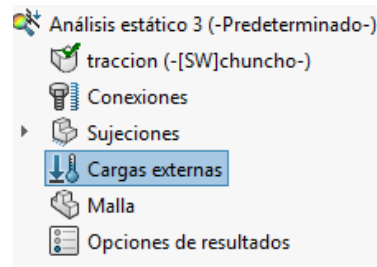


Figura 40. Aplicar cargas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 8) Para la simulación de compresión perpendicular a la fibra seleccionar la superficie superior en la cual actuara el valor de carga y llenar los parámetros fundamentales. La entrada direccional, de manera predeterminada, se refiere al sistema de coordenadas global que está basado en el plano 1, este es el primer plano que aparece en el gestor y puede tener un nombre distinto. Se pueden utilizar otros planos o ejes de referencia para especificar las direcciones.

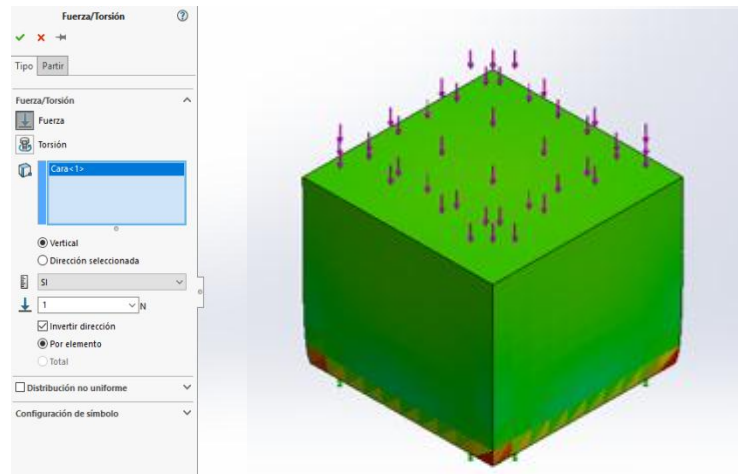


Figura 41. Colocar los parámetros de cargas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 9) El valor de la carga aplicada es el valor calculado durante los ensayos el cual es 2155,5 Kgf y con la transformación de unidades tenemos 4752.06 lbf, este valor para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra de la especie de *C. cateniformis* y para la especie *M. guianensis* tenemos 11533,75 Kgf transformación de unidades tenemos 25427.57 lbf.

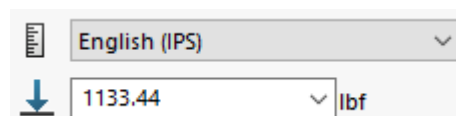


Figura 42. Asignar la carga aplicada.
(Fuente: Autor, 2018)

- 10) Proceder a crear un mallado estándar en toda la probeta seleccionando la opción (MALLA) y seguidamente (CREAR MALLA). El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

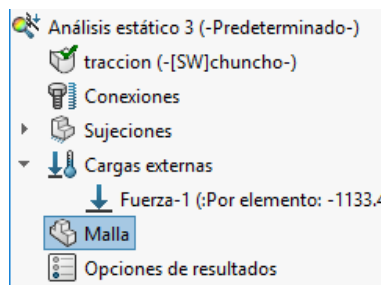


Figura 43. Crear malla estándar.
(Fuente: Autor, 2018)

- 11) Una vez creada la malla se obtiene una superficie con cuadrículas y si no existen errores el mallado se crea correctamente caso contrario el software genera un mensaje y se detiene, a menos que estén activas las pruebas automáticas. El mallado genera elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos de viga en 1D.

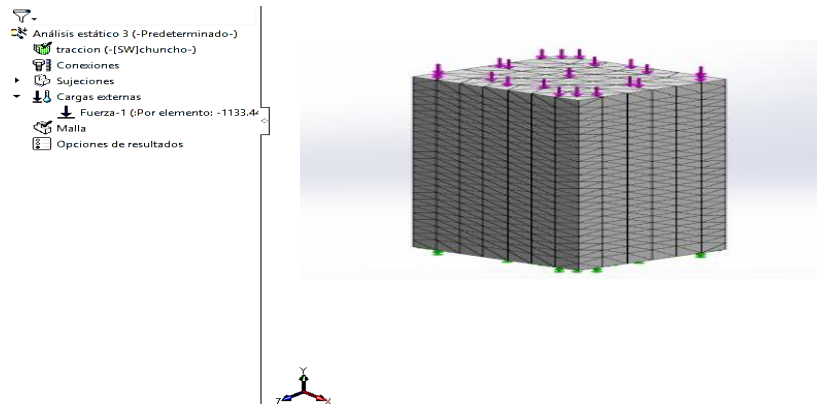
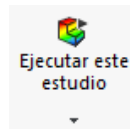


Figura 44. Malla estándar de la probeta de compresión perpendicular a la fibra
(Fuente: Autor, 2018)

- 12), Después de asignar los materiales, definir las cargas y restricciones y mallar el modelo (si el mallado fue correcto ejecutamos la simulación ejecute el estudio) para calcular los resultados. Para ejecutar un estudio, hacer clic con el botón derecho del ratón en el gestor de simulation y seleccionar ejecutar, o bien hacer clic en ejecutar en la barra de herramientas de simulation.



(Fuente: Autor, 2018)

- 13) Los resultados de la simulación por defecto permiten ver tensiones, deformaciones y deformaciones unitarias. El software genera una carpeta resultados en el gestor de Simulation después de ejecutar un estudio correctamente. Los trazados predeterminados en la carpeta resultados dependen del tipo de estudio y de las opciones configuradas en la pestaña opciones predeterminadas del cuadro de diálogo opciones.

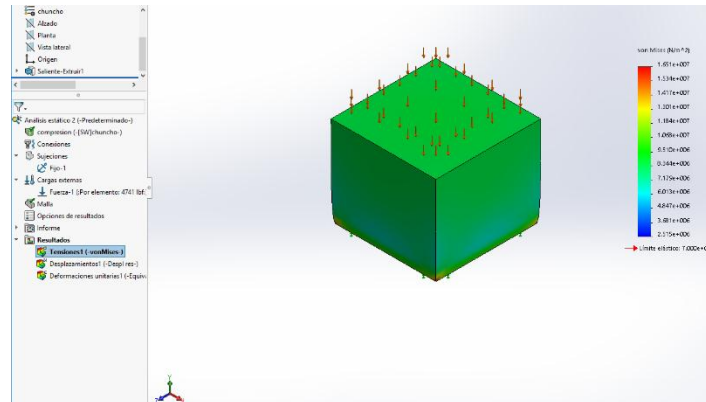


Figura 45. Resultados de la simulación del ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

(Fuente: Autor, 2018)

d. Procedimiento para realizar la simulación en SOLIDWORKS para el ensayo de flexión estática.

- 1) Diseño de la probeta para el ensayo de flexión estática, las dimensiones de esta probeta son de 0,025 x 0,025 x 410 mm.

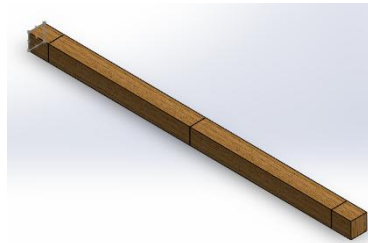


Figura 46. Probeta del ensayo de flexión estática

(Fuente: Autor, 2018)

- 2) Seleccionar material; dar clic en madera y crear nueva biblioteca. Para ambos de casos de la madera de *C. cateniformis* y *M. guianensis* se debió crear un nuevo material y colocar nuevos valores en las propiedades, ya que así se obtuvieron valores similares con los resultados de los datos de laboratorio.

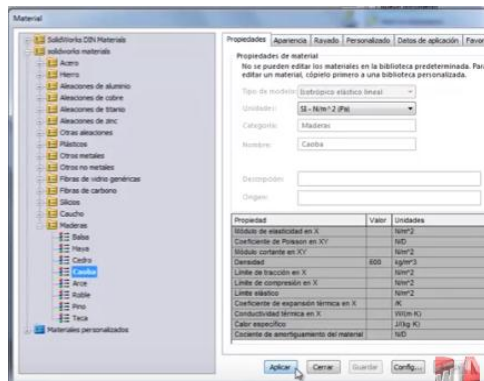


Figura 47. Seleccionar tipo de madera.
(Fuente: Autor, 2018)

- 3) Activar la opción SOLIDWORKS Simulation en la barra de tareas. SOLIDWORKS Simulation ofrece soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, de frecuencia, de pandeo, térmicos, de fatiga, de recipiente a presión, de caída, dinámicos lineales y no lineales, y de optimización. Además reduce el tiempo de salida al mercado ahorrando tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos.

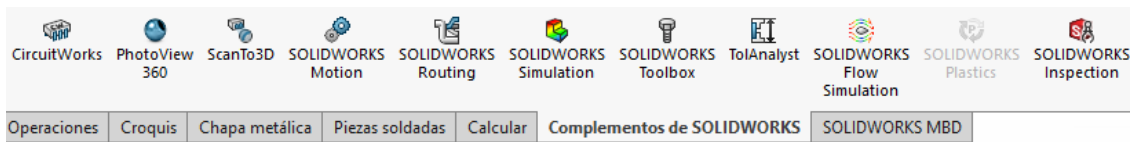


Figura 48. Barra de tareas de SolidWorks.
(Fuente: Autor, 2018)

- 4) En la ventanilla de asesor de estudios encontrar la opción nueva simulación. El asesor de simulaciones ayuda a elegir el tipo de estudio, definir cargas, sujeciones y conexiones, e interpretar los resultados.

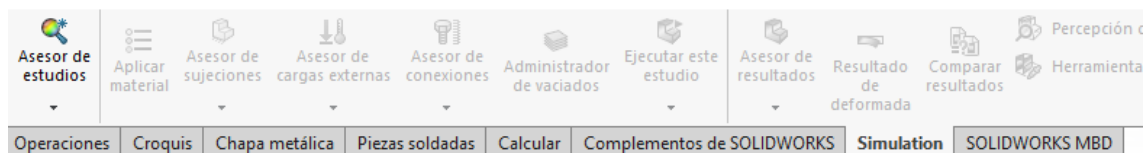


Figura 49. Seleccionar Simulation en la barra de tareas.
(Fuente: Autor, 2018)

- 5) Configurar para realizar una simulación estática y aceptar la simulación. El nombre de la simulación puede cambiarse de acuerdo al usuario. Al crear un estudio, el programa crea una carpeta sujeciones y cargas externas en el gestor de simulation. El software agrega un elemento en la carpeta sujeciones o cargas externas para cada carga o restricción que se defina en una o más entidades.

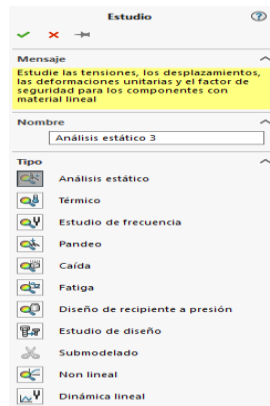


Figura 50. Configuración de la simulación estática.
(Fuente: Autor, 2018)

- 6) En sujeciones damos clic derecho y seleccionar (GEOMETRÍA FIJA); la parte inferior de la probeta se utiliza como superficie fija para la simulación (esta opción permite fijar

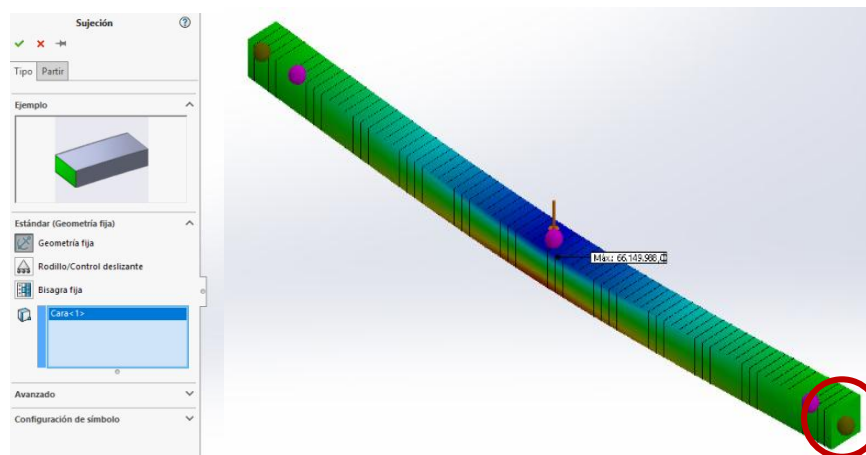


Figura 51. Seleccionar Geometría Fija a la probeta para el realizar la simulación) y aceptar la sujeción.

(Fuente: Autor, 2018)

- 7) Para finalizar el ensayo agregar una carga de flexión estática en la opción cargas externas, adicionar la opción (FUERZA). Las cargas y restricciones son necesarias para

definir el entorno de servicio del modelo. Los resultados del análisis dependen directamente de las cargas y restricciones especificadas.

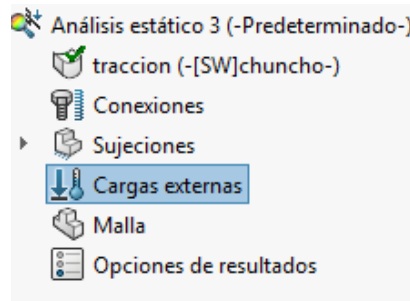


Figura 52. Aplicar cargas.

(Fuente: Autor, 2018)

- 8) Para la simulación de flexión estática seleccionar la superficie superior en la cual actuara el valor de carga y llenar los parámetros fundamentales. La entrada direccional, de manera predeterminada, se refiere al sistema de coordenadas global que está basado en el Plano1, este es el primer plano que aparece en el gestor y puede tener un nombre distinto. Se pueden utilizar otros planos o ejes de referencia para especificar las direcciones.

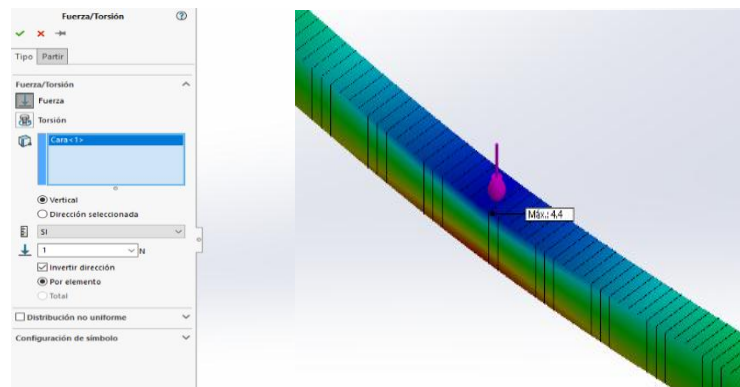


Figura 53. Colocar los parámetros de cargas.

(Fuente: Autor, 2018)

- 9) El valor de la carga aplicada es el valor calculado durante los ensayos el cual es 100,2 Kgf y con la transformación de unidades tenemos 220.9 lbf, este valor para el ensayo de flexión estática de la especie de *C. cateniformis* y para la especie *M.guianensis* tenemos 266,8 Kgf transformación de unidades tenemos 588.19 lbf.

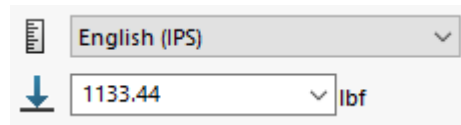


Figura 54. Asignar la carga aplicada.
(Fuente: Autor, 2018)

- 10) Proceder a crear un mallado estándar en toda la probeta seleccionando la opción (MALLA) y seguidamente (CREAR MALLA). El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

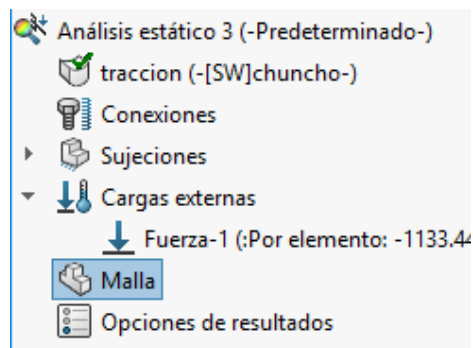


Figura 55. Crear malla estándar.
(Fuente: Autor, 2018)

- 11) Una vez creada la malla se obtiene una superficie con cuadrículas y si no existen errores el mallado se crea correctamente caso contrario el software genera un mensaje y se detiene, a menos que estén activas las pruebas automáticas. El mallado genera elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos de viga en 1D. El tipo de mallado que se utilizó para este ensayo fue una malla de viga, ya que el programa utiliza automáticamente esta malla e identifica juntas para miembros estructurales que se tocan o interfieren y miembros estructurales que no se tocan dentro de una cierta distancia (tolerancia). Un elemento de viga es un elemento de línea definido por dos puntos finales y una sección transversal, Si se usa con piezas soldadas, el software define las propiedades transversales y detecta las juntas.

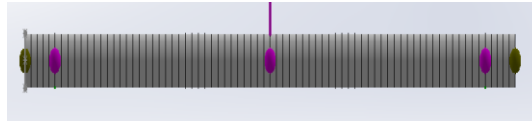
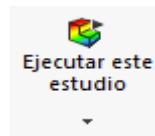


Figura 56. Malla de viga para el ensayo de flexión estática.

(Fuente: Autor, 2018)

- 12) Después de asignar los materiales, definir las cargas y restricciones y mallar el modelo (si el mallado fue correcto ejecutamos la simulación ejecute el estudio) para calcular los resultados. Para ejecutar un estudio, hacer clic con el botón derecho del ratón en el gestor de simulation y seleccionar ejecutar, o bien hacer clic en ejecutar en la barra de herramientas de simulation.



(Fuente: Autor, 2018)

- 13) Los resultados de la simulación por defecto permiten ver tensiones, deformaciones y deformaciones unitarias. El software genera una carpeta resultados en el gestor de Simulation después de ejecutar un estudio correctamente. Los trazados predeterminados en la carpeta resultados dependen del tipo de estudio y de las opciones configuradas en la pestaña opciones predeterminadas del cuadro de diálogo opciones.

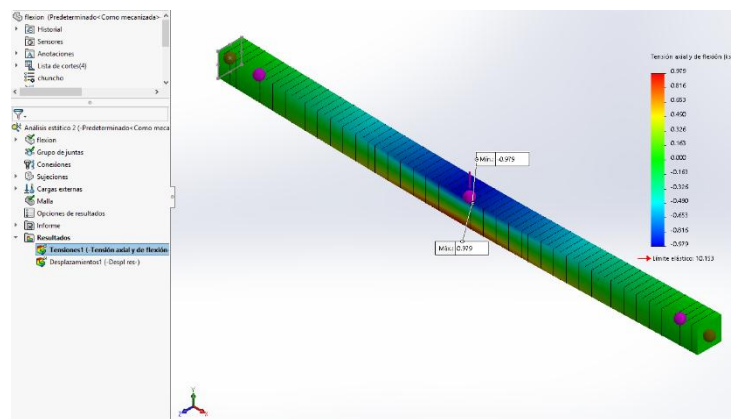


Figura 57. Resultados de la simulación del ensayo flexión estática

(Fuente: Autor, 2018)

e. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de las especies forestales en estudio se compararon los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos de laboratorio versus los resultados de la simulación del programa SOLIDWORKS, se seleccionó dos datos de las cargas reales intermedios y finales de los resultados de los ensayos mecánicos de cada probeta ensayada para luego hacer la simulación, creando un nuevo material personalizado, ingresando una nueva base de datos sobre cada material.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Identificar las propiedades físicas de la madera; características organolépticas de las especies en estudio.

a. *Cedrelinga cateniformis*

Presenta un olor agradable no distintivo, sabor ligeramente amargo o ausente, lustre medio-bajo, grano entrecruzado a ondulado, textura gruesa, vetado jaspeado; líneas vasculares pronunciadas y oscuras, y con un color rosado amarillento, según la tabla Munsell es 7.5YR 7/4 (Tabla 4), lo cual coincide con la investigación de Ecuador forestal 2012 que indica un color en la albura rosado-amarillento, con transición gradual a duramen rojizo claro, el vetado es en forma de jaspe, producido por líneas vasculares pronunciadas y oscuras, un grano recto a entrecruzado y a veces ondulado, y su textura es gruesa. Asimismo en la investigación de CAM (2009) mencionan que su color es; albura crema amarillento, duramen marrón rojizo muy pálido, olor y sabor; ausentes, o no distintivos, lustre; medio, grano: recto a entrecruzado, textura; media, vetado suave.

Como se muestra en la Tabla 4, las características organolépticas identificadas al observar las muestras de *C. cateniformis* se reportó las siguientes.

Tabla 4. Ficha de registro de características organolépticas de la especie *C. cateniformis*.

Características	Descripción
Color:	Según la tabla de Munsell el color es 7.5YR 7/4
Olor:	Agradable no distintivo
Sabor:	Ligeramente amargo o ausente
Lustre:	Medio - Bajo
Grano:	Entrecruzado, a veces ondulado
Textura:	Gruesa
Vetado:	Jaspeado, líneas vasculares pronunciadas y oscuras

(Fuente: Autor, 2018)

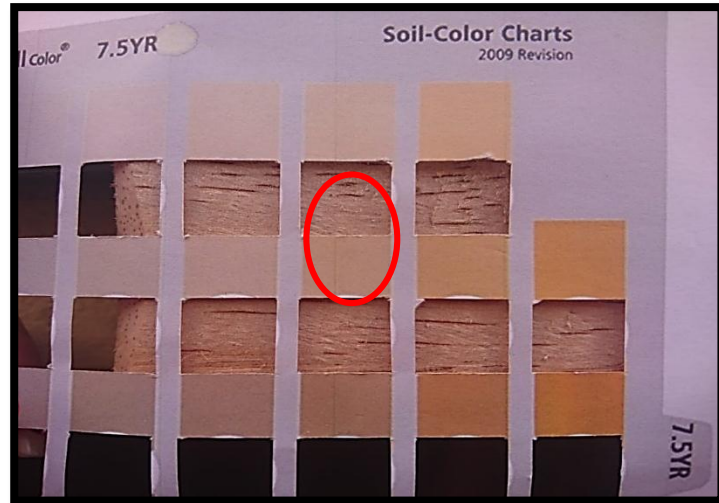


Figura 58. Color de la madera de *C. cateniformis*.
(Fuente: Autor, 2018)



Figura 59. Características organolépticas de la madera *C. cateniformis*.
(Fuente: Autor, 2018)

b. *Minquartia guianensis*

Esta especie no presenta sabor distintivo, un olor desagradable no distintivo, el lustre medio alto, grano recto, textura fina, vetado en arcos superpuestos y un color marrón pálido, según la tabla de Munsell 10YR 5/6; así también lo demuestra López *et al*, 2014 que mencionan que no presenta ni olor o sabor característicos, el grano es recto a ondulado, la durabilidad natural es alta y es resistente al ataque de hongos y termitas, puede resistir hasta 35 años en contacto con el suelo sin deteriorarse. Sin embargo, es difícil de tratar con preservantes.

Las características organolépticas identificadas al observar las muestras de *M. guianensis* se reportó las siguientes (Tabla 5).

Tabla 5. Ficha de registro de características organolépticas de la especie *Minquartia guianensis*.

Características	Descripción
Color:	Según la tabla de Munsell el color es 10YR 5/6
Olor:	Desagradable no distintivo
Sabor:	Ausente
Lustre:	Medio - alto
Grano:	Recto
Textura:	Fina
Veteado:	Arcos superpuestos

(Fuente: Autor, 2018)

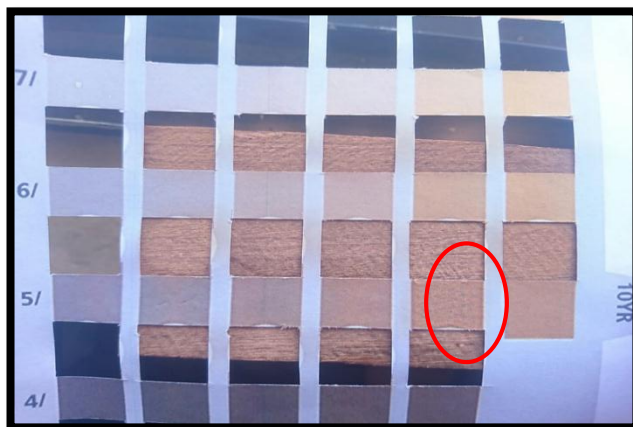


Figura 60. Color de la madera de *M. guianensis*.
(Fuente: Autor, 2018)

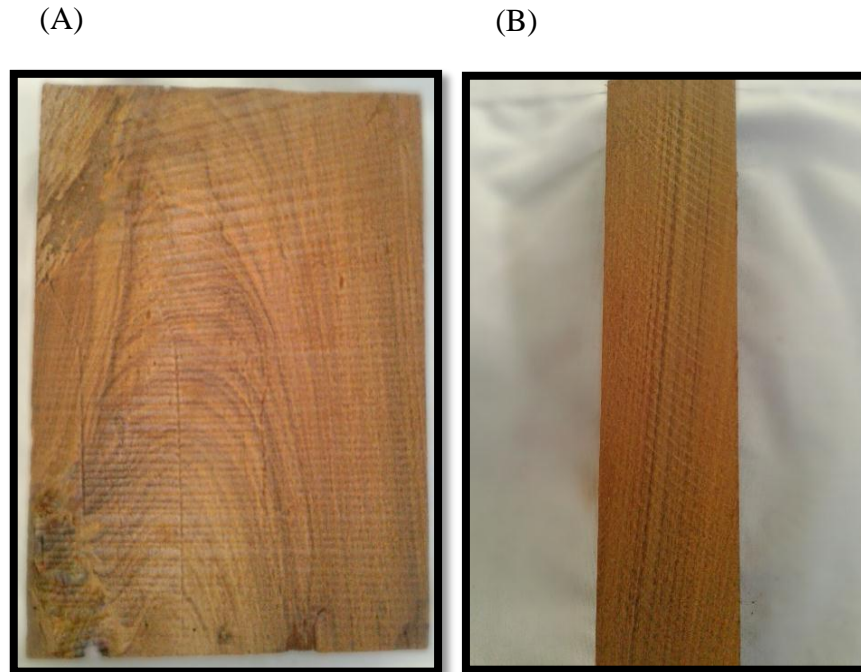


Figura 61. Características organolépticas de la madera *M. guianensis*; (A) se puede observar el veteado en arcos superpuestos, (B) se observa el grano recto.

(Fuente: Autor, 2018)

2. Conocer las propiedades químicas; porcentaje de humedad, pH, análisis de las características microscópicas de las especies en estudio.

a. Determinación del porcentaje de humedad

Para calcular el contenido de humedad (CH) se aplicó la siguiente fórmula:

$$C.H \% = \frac{P_i - P_o}{P_o} \times 100$$

Donde:

C.H% = porcentaje de humedad

P_i = peso inicial

P_o = peso seco al horno o peso final

Para la muestra de *C. cateniformis* se utilizó una probeta de dimensiones 4.85x4.80x4cm con un peso inicial de 39.81 y un peso final de 35.64 obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{C.H \%} = \frac{39.81 - 35.64}{35.64} \times 100$$

$$\text{C.H \%} = 11.7071$$

Para la muestra de *M. guianensis* se utilizó una probeta de dimensiones 4.90x4.80x4.1cm con un peso inicial de 98.40 y un peso final de 87.83 obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{C.H \%} = \frac{98.40 - 87.83}{87.83} \times 100$$

$$\text{C.H \%} = 12.0269$$

Además de determinar el contenido de humedad también se calculó la densidad de cada una de las especies en estudio ya que de ella depende el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a tratamientos y alteraciones, así como la posibilidad de utilización que se obtiene de la madera. Se utilizó los datos iniciales del contenido de humedad y se aplicó la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Obteniendo así los siguientes resultados para las especies forestales en estudio que son:

Cedrelinga cateniformis

$$\rho = \frac{39.81 \text{ gr}}{93.12 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 0.4276 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Minquartia guianensis

$$\rho = \frac{98.40 \text{ gr}}{96.43 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 1.0204 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Los valores de porcentaje de humedad de *C. cateniformis* es de 11.71% con un secado al aire y una densidad de 0.43gr/cm³ así como se manifiestan en los resultados de MAE, 2014 que obtuvo una densidad de 0.38 – 0.52 gr/cm³ en bosque y con secado al aire.

El porcentaje de humedad de *M. guianensis* es de 12.03% con un secado al aire y se clasifica como una madera muy pesada con una densidad de 1.02gr/cm³ coincidiendo con los resultados del MAE, 2014 con C.H% de 12 % y una densidad de 0,86 gr/cm³.

b. Determinación del pH

Tabla 6. Registro de lecturas del pH para las dos especies.

Especie	Tiempo					pH total
	Lectura inicial	5 minutos	4 horas	24 horas	48 horas	
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	4,795	4,799	4,861	4,871	4,816	4,8284
<i>Minquartia guianensis</i>	5,715	5,675	5,658	5,689	5,610	5,6694

(Fuente: Autor, 2018)

El valor del pH para las dos especies forestales; *C. cateniformis* y *M. guianensis* que se tomó lecturas a diferentes intervalos de tiempo (Tabla 6), reportando un valor de 4,83 y 5,67 respectivamente, el cual indica que fue moderadamente ácido. El pH moderadamente ácido puede afectar en su uso por ejemplo en el contacto de metales puede corroer, en la fijación de sustancias, preservantes el proceso de pulpeo, y el fraguado de los adhesivos.

A continuación las figuras 24 y 25 del pH de la madera de cada una de las especies en estudio, mostrando los diferentes valores en los distintos tiempos, observándose los aumentos o la disminución del pH.

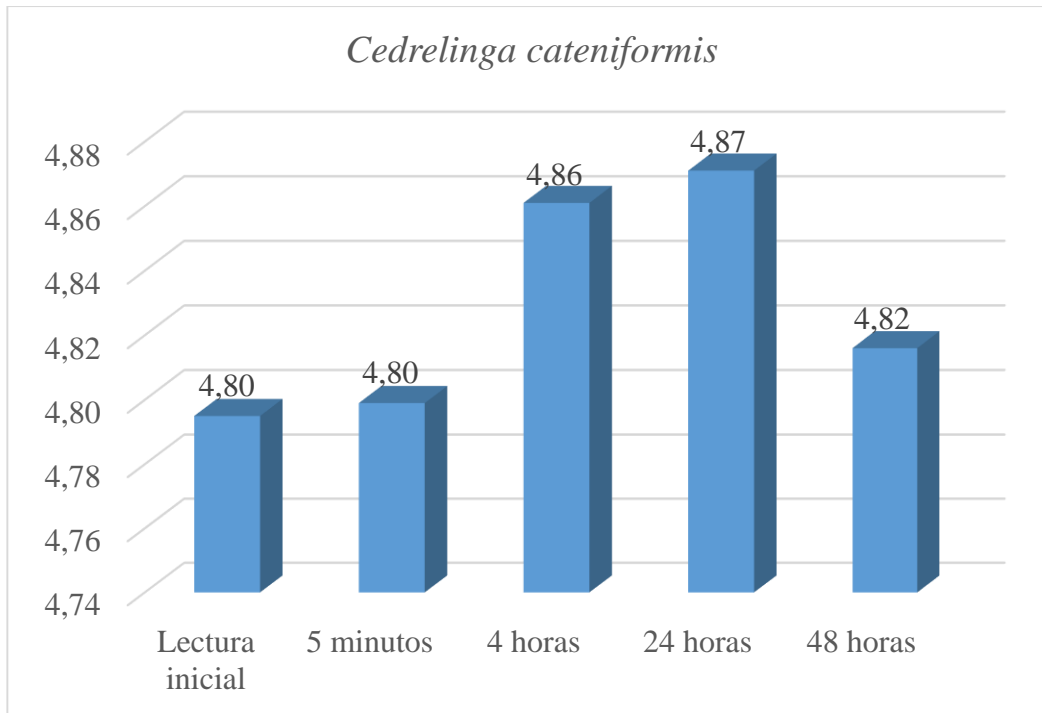


Figura 62. Determinación del pH de *C. cateniformis*
(Fuente: Autor, 2018)

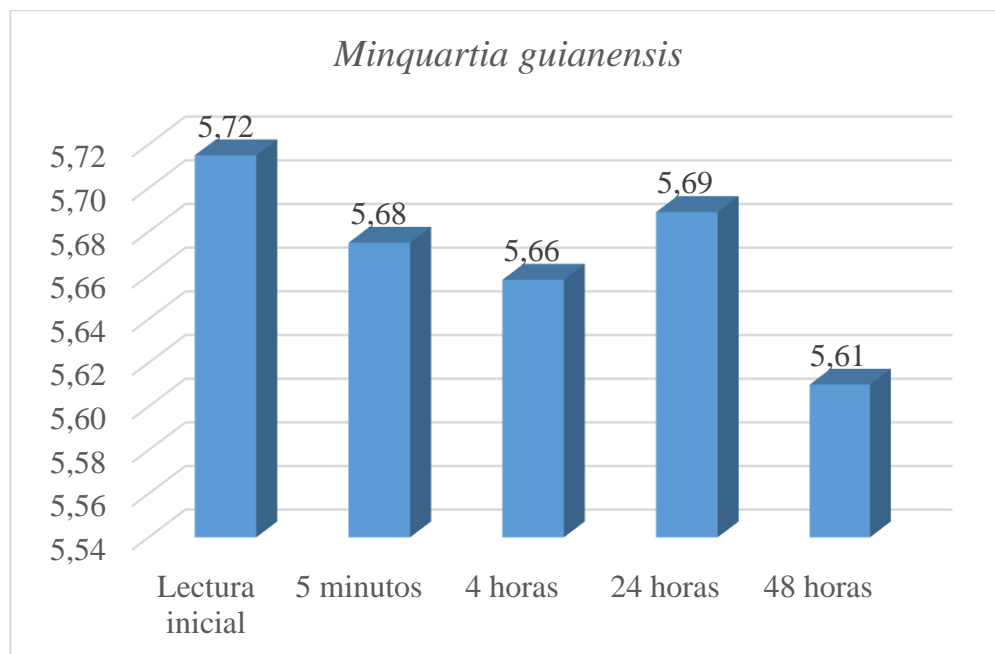


Figura 63. Determinación de pH de *M. guianensis*
(Fuente: Autor, 2018)

c. Análisis de las características microscópicas de las muestras

1) *Cedrelinga cateniformis*

Las características microscópicas que se pueden apreciar con el microscopio óptico del plano transversal de la madera son; la forma de los poros es oval a círculos irregulares, por su agrupación predominan los poros solitarios, continuamente se observa también poros múltiples de 2 o 3 en hileras, con una porosidad difusa y poros en hileras diagonales (Figura 64 y 65). Además presenta un parénquima paratraqueal vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa en el poro múltiple (Figura 66), bordeando parcialmente al poro, seguido de un parénquima paratraqueal vasicéntrico en el poro solitario, también se observa que el parénquima está distribuido de manera circular en bandas terminal o inicial. Los radios que presenta son estratificados, finos y continuos (Figura 67). Esto es corroborado por Campos (2009) quien da a conocer sus poros difusos predominantemente múltiples, ocurriendo también solitarios, un parénquima vasicéntrico, ocasionalmente aliforme y unilateral, visibles con la lupa de 10x.

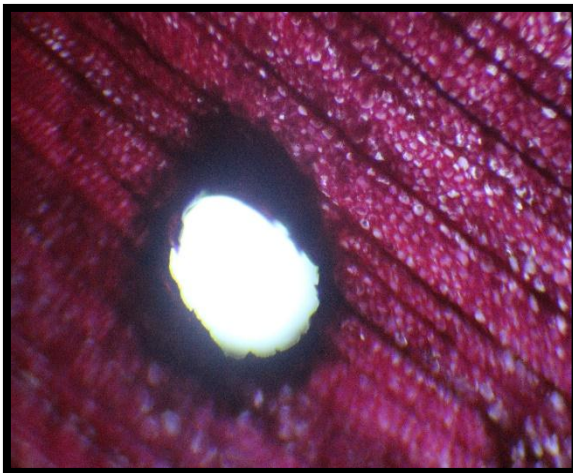


Figura 64. Solución de safranina al 10%, poro solitario, lente de 10x.

(Fuente: Autor, 2018)

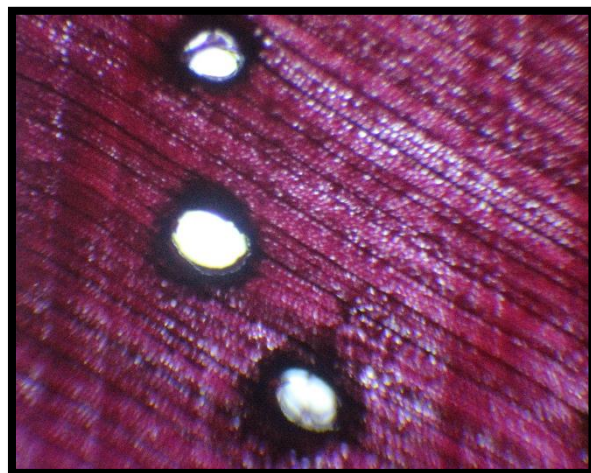


Figura 65. Poros solitarios, en hileras diagonales, y porosidad difusa, visibles con el lente de 10x.

(Fuente: Autor, 2018)

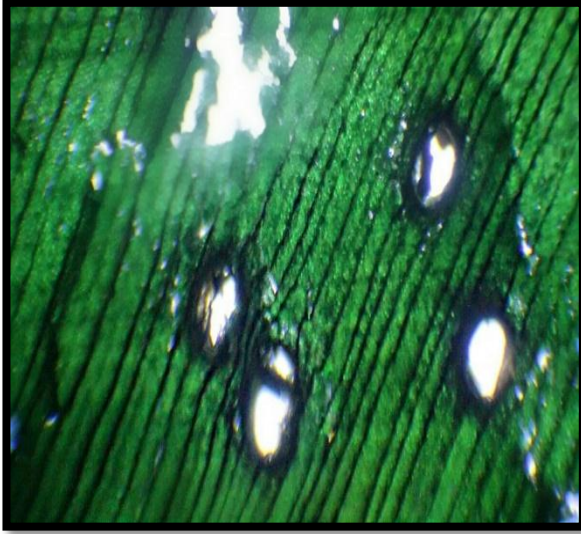


Figura 66. Tinción de verde brillante al 10%, parénquima vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa, visibles con el lente de 10x.

(Fuente: Autor, 2018)

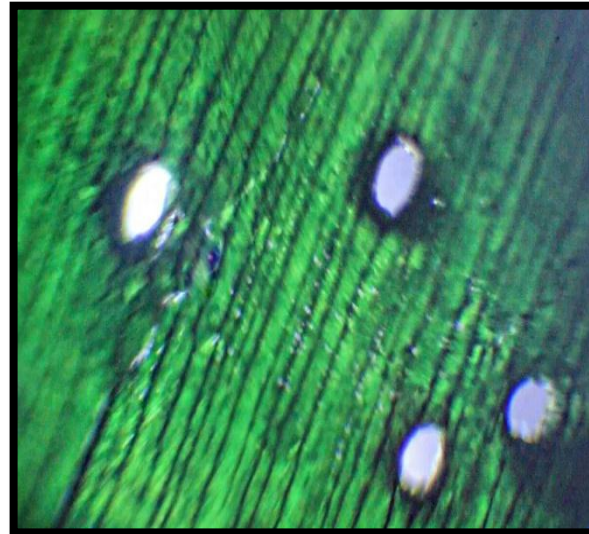


Figura 67. Radios visibles con el lente de 10x

(Fuente: Autor, 2018)

En cambio las características microscópicas que se pueden observar en el microscopio electrónico del plano transversal son; las dimensiones de cada uno de los poros ya sean solitarios o múltiples (Figura 68), se realizó un promedio de todas las mediciones que se obtuvieron para tener un total de 293,48 μm . En la (Figura 69) se observa la estructura del poro de la especie en estudio. En la (Figura 70) se observa claramente el parénquima paratraqueal vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa. Esto es ratificado por Campos (2009) quien da a conocer el diámetro próximo de los vasos que es de 273 a 287 μm .

Con la tinción de safranina al 10 % se observa notoriamente las características del parénquima de los poros de *C. cateniformis*. En cambio con la tinción de verde brillante al 10 % se observa de mejor manera los radios que presenta la madera en estudio.

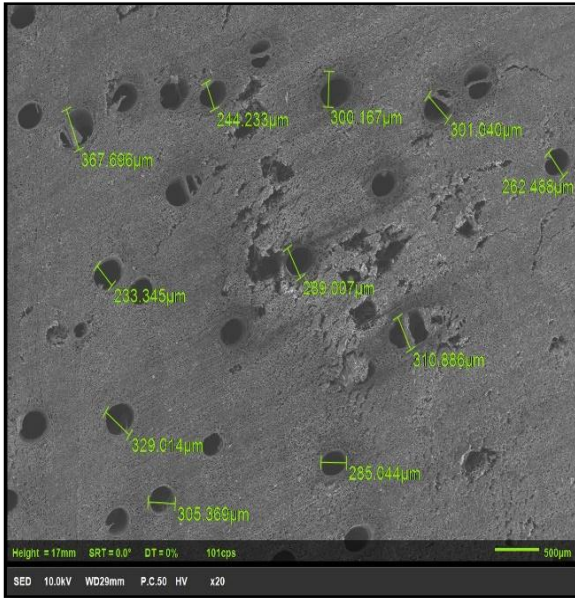


Figura 68. Medición de poros, 20x
(Fuente: Autor, 2018)

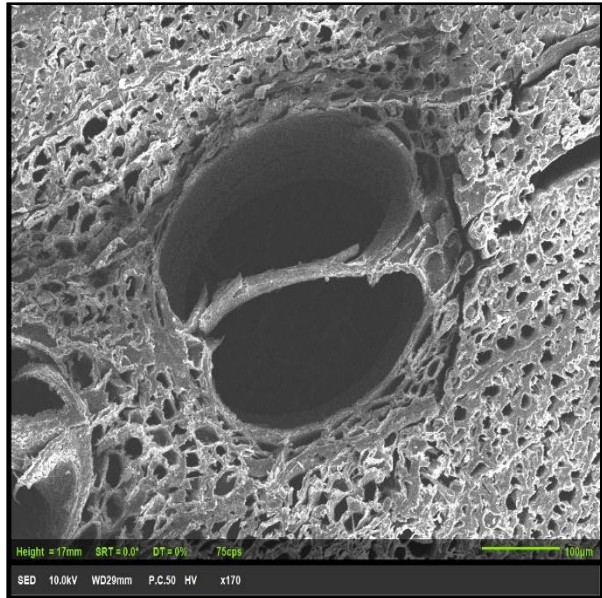


Figura 69. Poro de *Cedrelinga cateniformis*,
170x.
(Fuente: Autor, 2018)



Figura 70. Parénquima vasicéntrico unilateral de ala corta
y gruesa, 90x.
(Fuente: Autor, 2018)

Tabla 7. Resumen de características microscópicas de *C. cateniformis*

Poros:	Visibles a simple vista, poros solitarios y múltiples de 2 a 3 en hileras, porosidad difusa. Poros en hileras diagonales
Parénquima:	poros múltiples: parénquima paratraqueal vasicéntrico unilateral de ala corta y gruesa poros solitarios: parénquima paratraqueal vasicéntrico
Radios:	estratificados, finos y continuos

(Fuente: Autor, 2018)

b) *Minquartia guianensis*

Las características microscópicas que se pueden apreciar con el microscopio óptico del plano transversal de la madera *M. guianensis* son; la forma de los poros es en círculos irregulares, por su agrupación predominan poros solitarios seguidos de poros múltiples de 2 a 4 radiales, con una porosidad difusa (Figura 71 y 72). Además presenta un parénquima paratraqueal vasicéntrico. Radios muy finos y continuos. Esto se logró observar con la solución de safranina al 10% y con una lupa de 10x. Con la solución verde brillante al 10% no se pudo apreciar ninguna característica de los poros, parénquima o radio (Figura 73). Como se muestra en el estudio anatómico realizado por Lujan, y Chavesta (2008) quienes dan a conocer que los poros son múltiples radiales, con un parénquima vasicéntrico aliforme confluyente y en bandas marginales, y finalmente con radios y tilides visibles a simple vista. Del mismo modo se corrobora con la información de que indican que la forma de los poros es ovalada algunos ocluidos, el tipo de parénquima es longitudinal, vasicéntrico y con radios visibles a simple vista.

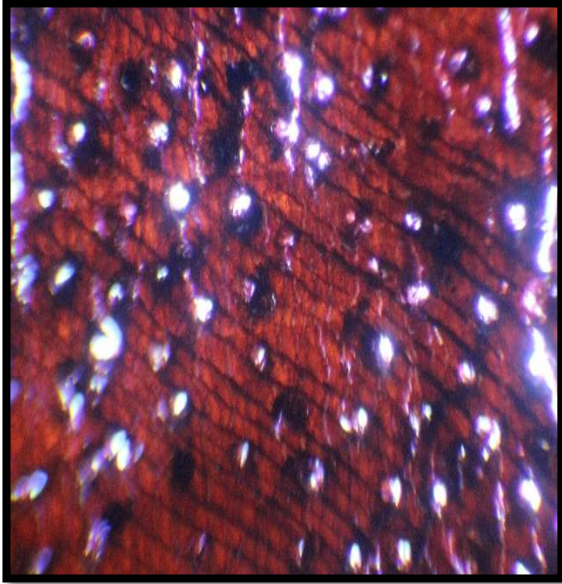


Figura 71. Solución de safranina, poros de *M. guianensis*, (10x).
(Fuente: Autor, 2018)

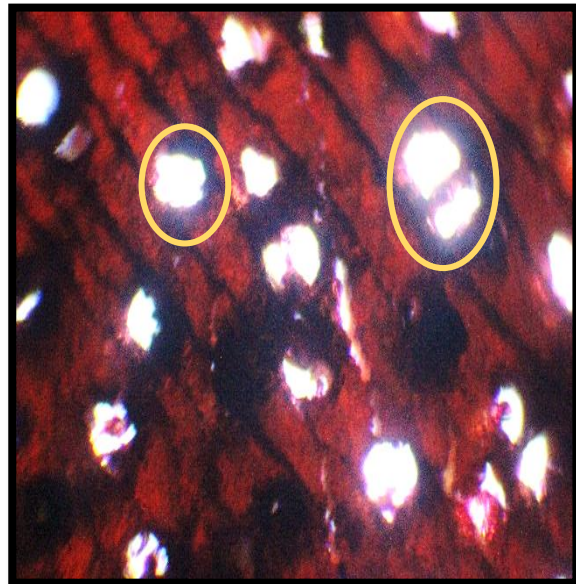


Figura 72. Poros solitarios y múltiples (10x).
(Fuente: Autor, 2018)

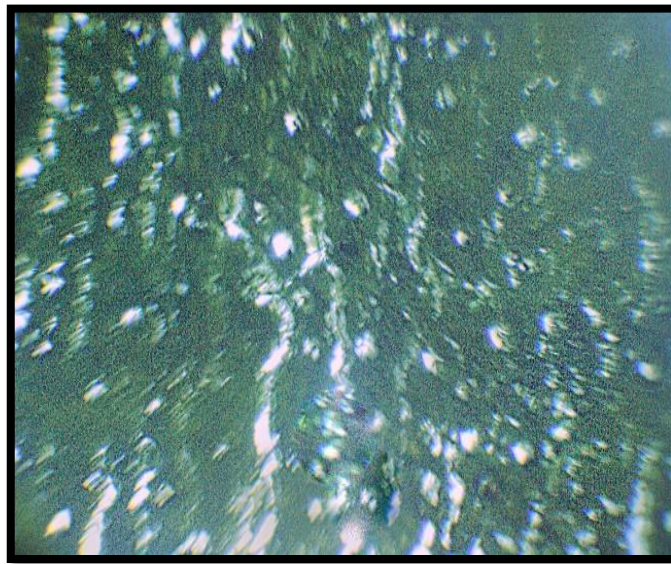


Figura 73. Tinción de verde brillante al 10% de *M. guianensis*, visibles con la lupa de 10x.
(Fuente: Autor, 2018)

Por el contrario las características microscópicas que se pueden observar en el microscopio electrónico del plano transversal son más claras y se logró tener mejores resultados los cuales son; observación de tilides en ciertos poros y las mediciones de cada uno de los poros ya sean solitarios o múltiples (Figura 74), se realizó un promedio de todas las dimensiones que se obtuvieron para tener un total de $107,26 \mu\text{m}$. En la (Figura 75) se muestra una pequeña grieta que se ha formado en la muestra de $21,82 \mu\text{m}$, lo que indica un defecto en la madera que puede ser una fenda. De igual forma se observa el parénquima paratraqueal vasicéntrico en los poros solitarios (Figura 76) y un parénquima paratraqueal vasicéntrico confluyente en los poros múltiples (Figura 77). También se aprecia que el parénquima está distribuido en bandas terminal o inicial.

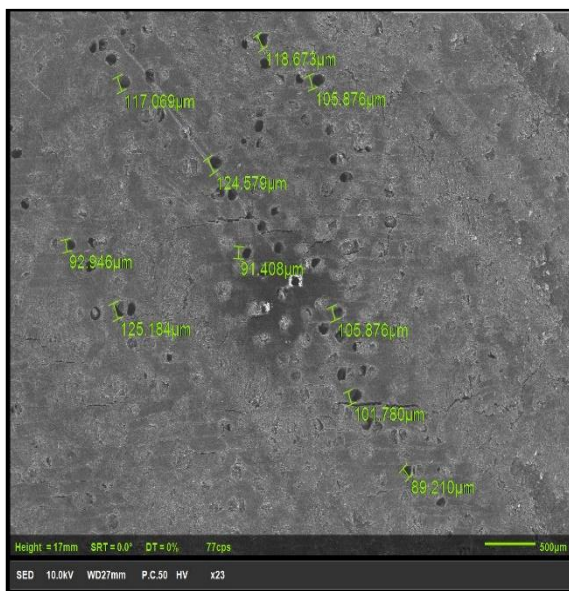


Figura 74. Medición de poros de *M. guianensis*, 23x.
(Fuente: Autor, 2018)

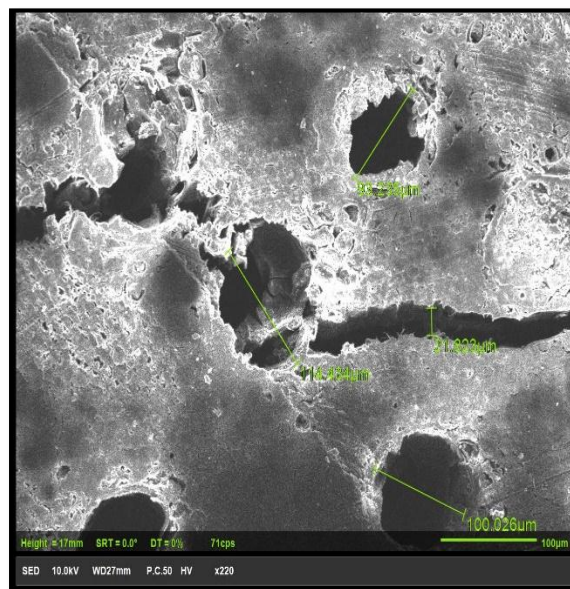


Figura 75. Medición de poros y grieta, 220x.
(Fuente: Autor, 2018)

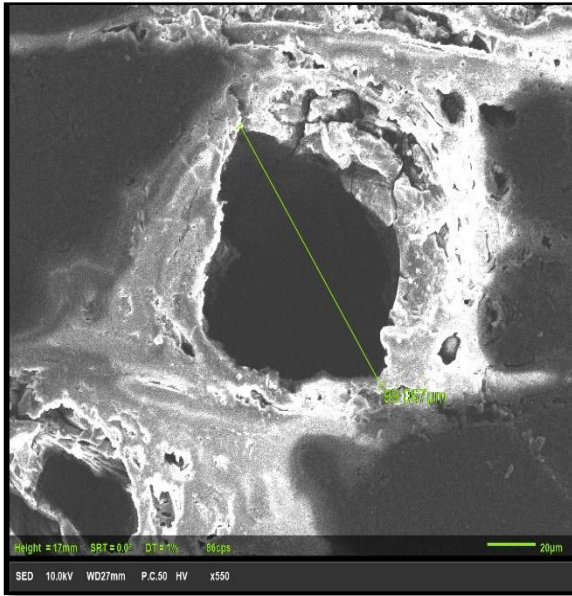


Figura 76. Poro solitario y parénquima paratraqueal vasicéntrico, 550x.
(Fuente: Autor, 2018)

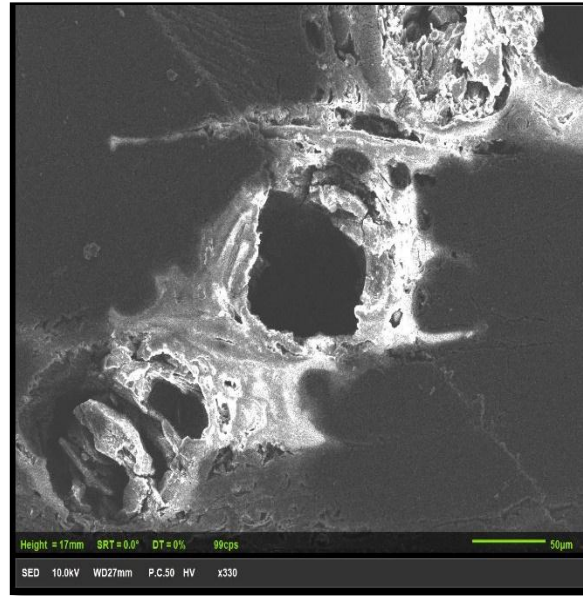


Figura 77. Parénquima paratraqueal vasicéntrico confluyente, 330x.
(Fuente: Autor, 2018)

Tabla 8. Resumen de características microscópicas de *M. guianensis*.

Poros:	No visibles a simple vista, poros solitarios seguidos de poros múltiples de 2 a 4 radiales, porosidad difusa. Presenta tilides en ciertos poros.
Parénquima:	poros solitarios: parénquima paratraqueal vasicéntrico poros múltiples: parénquima paratraqueal vasicéntrico confluyente
Radios:	muy finos y continuos

(Fuente: Autor, 2018)

3. Analizar las propiedades mecánicas mediante ensayos de compresión, tracción y flexión de las especies en estudio.

a. Compresión

1). Compresión paralela a la fibra

Los resultados de este ensayo de compresión paralela a la fibra para las dos especies forestales fueron los siguientes:

En la Tabla 9 se indica los resultados obtenidos de su resistencia a compresión paralela a la fibra de la especie *C. cateniformis*, presentando una resistencia de 262,98 kg/cm², obteniendo un valor casi similar en este caso con el yagual, en la investigación de Guzmán (2006) determinar la compresión paralela presenta valores 30—46 como se muestra en la tabla mencionada su módulo de Young es de 2,29 GPa.

Tabla 9. Valores de compresión paralela a la fibra de *C. cateniformis*.

DATOS OBTENIDOS A COMPRESIÓN:	
MODULO DE YOUNG(GPa):	2,29
% ESTRICCIÓN:	1,38
ESFUERZO FRACTURA(Mpa):	25,29
CARGA DE ROTURA(Kgf):	6754
ESFUERZO MÁXIMO(Mpa):	25,80
CARGA MÁXIMA(Kgf):	7089,00

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 78 se presenta su esfuerzo frente a la deformación unitaria de cada probeta de *C. cateniformis*, observando su resistencia a cargas hasta su punto de ruptura, con una deformación unitaria máxima de 0,014 y un esfuerzo máximo 300 kg/cm².

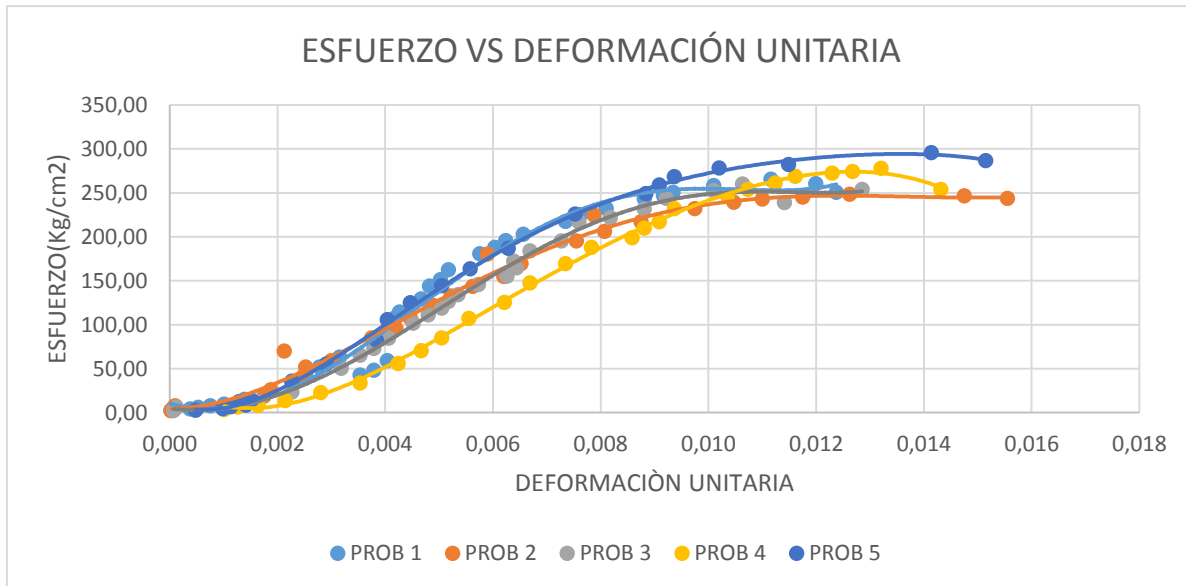


Figura 78. Datos de las probetas para la prueba de compresión paralela a la fibra de la especie *C. cateniformis*
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *C. cateniformis* presenta una falla por corte o cizalladura en la mayoría de las probetas de acuerdo a los tipos de fallas que se dan en el ensayo de compresión paralela. Según Nalvarte, et al., (2013) La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras, esta proviene del hecho de que las fibras están orientadas en su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. La resistencia a la compresión paralela es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tracción (Figura 79).



Figura 79. Probeta ensayada de *C. cateniformis* de compresión paralela a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *Minquartia guianensis* soporta mayores cargas por lo que tiene mayor resistencia Tabla 10, registrando un valor de 620,58 kg/cm². Según (Estrada, 2013) en sus resultados del moral fino 682 kg/cm² este valor presenta una diferencia notoria con la especie ensayada posiblemente debido al tipo de secado. Según el MAE y FAO (2014) mostraron un esfuerzo de rotura del 710 kg/cm² con un secado al 12 % y en esta investigación presento un valor de 676,26 kg/cm², el tipo de secado tiene influencia en la madera para los diferentes ensayos.

Tabla 10. Valores de compresión paralela a la fibra de *M. guianensis*

DATOS OBTENIDOS A COMPRESIÓN:

MODULO DE YOUNG(GPa):	7,98
% ESTRICCIÓN:	0,86
ESFUERZO FRACTURA(Mpa):	66,34
CARGA DE ROTURA(Kgf):	16817,25
ESFUERZO MÁXIMO(Mpa):	60,88
CARGA MÁXIMA(Kgf):	15792,25

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 80 se presenta su esfuerzo frente a la deformación unitaria de cada probeta de *M. guianensis* observando su resistencia a cargas hasta su punto de ruptura.

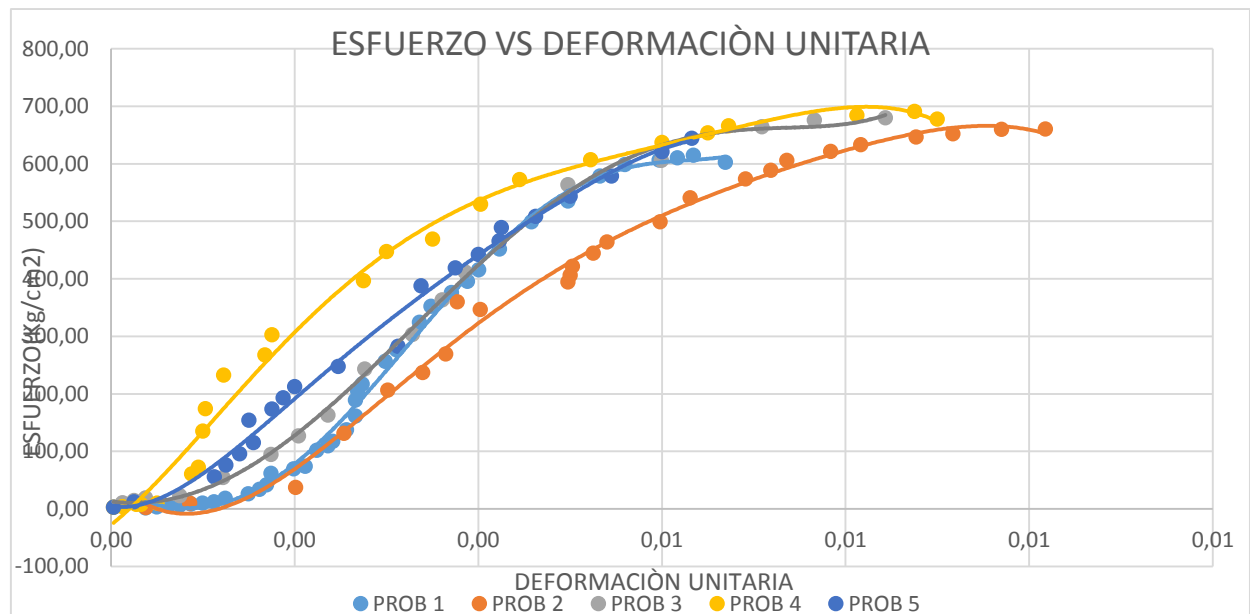


Figura 80. Datos de las probetas para la prueba de compresión paralela a la fibra de la especie *M. guianensis*

(Fuente: Autor, 2018)

M. guianensis en esta no es muy notoria su deformación sin embargo su falla predomina en forma de cuña dividida Figura 81, de acuerdo a los tipos de fallas que se dan en el ensayo de compresión paralela. Según Nalvarte, et al., (2013) la madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras, esta proviene del hecho de que las fibras están orientadas en su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. La resistencia a la compresión paralela es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tracción.



Figura 81. Probeta ensayada de *M. guianensis* de compresión paralela a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

2). Compresión perpendicular a la fibra

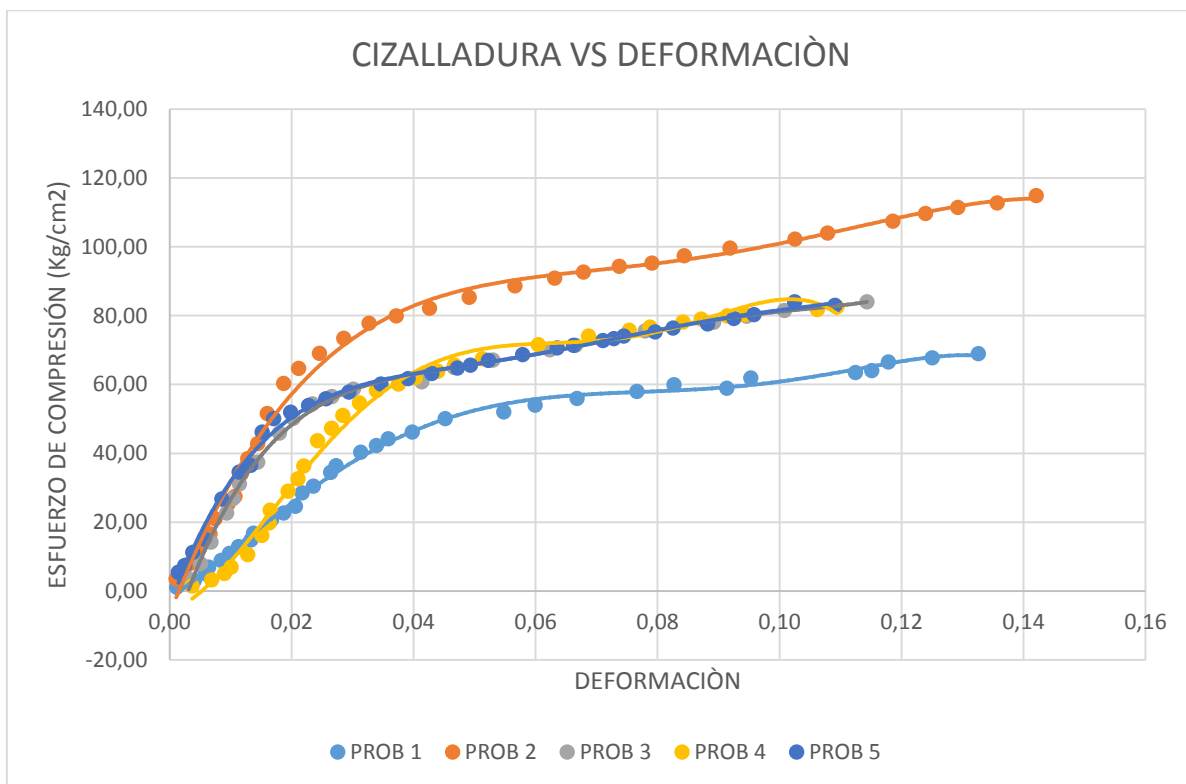
La especie *C. cateniformis*, es la que menos soporta cargas como se indica en los valores de la Tabla 11. Asimismo en la investigación de Arevalo & Londoño (2005) mencionan que su esfuerzo máximo es de 231 a 285 kg/cm² y en esta investigación se obtuvo 262,98 kg/cm². Según el MAE y FAO (2014) brindan un valor de porcentaje de estricción del 11,2 a 13,6 obteniendo un valor similar del 8,52.

Tabla 11. Valores obtenidos de compresión perpendicular a la fibra de *C. cateniformis*.

DATOS OBTENIDOS A COMPRESIÓN:	
MODULO DE CIZALLADURA(MPa):	150,63
% ESTRICCIÓN:	10,43
ESFUERZO DE COMPRESIÓN(Mpa):	8,52
CARGA DE ROTURA(Kgf):	2155,5

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 82 se muestra su cizalladura frente a la deformación unitaria de cada probeta ensayada para esta especie. Presentando un valor máximo de deformación unitaria de 0,142 y un esfuerzo de compresión de 8,52 Mpa.

**Figura 82.** Datos de las probetas para la prueba de compresión perpendicular a la fibra de la especie *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

La especie *C. cateniformis*, es la que menos soporta cargas ya que presenta un aplastamiento notorio como se observa en la Figura 83, debido a que la carga que actúa como durmiente y la que actúa como punzón, en la realidad se encuentra muy a menudo que actúa solamente en una parte del área, por lo que la resistencia de la madera es mayor, pues el área no afectada por la carga es capaz de absorber las tensiones.



Figura 83. Probetas ensayadas de *C. cateniformis* de compresión perpendicular a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *M. guianensis*, es la que más carga soporta sin presentar mucha variación en su forma, por lo tanto tiene buena resistencia a la carga y su deformación es poca como se muestra los valores de datos obtenidos en la Tabla 12. Según el MAE y FAO (2014) brindan un valor de porcentaje de estricción del 2, % a 8,2 % obteniendo un valor similar del 6,40%.

Tabla 12. Los valores de compresión perpendicular a la fibra de *M. guianensis*

DATOS OBTENIDOS A COMPRESIÓN:

MODULO DE CIZALLADURA (MPa):	1122,06
% ESTRICCIÓN:	6,40
ESFUERZO DE COMPRESIÓN (Mpa):	39,94
CARGA DE ROTURA(Kgf):	11533,75

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 84 se muestra su cizalladura frente a la deformación unitaria de cada probeta, en la probeta número 2 y 5 presentaron mayor resistencia que las demás probetas, tal vez debido a su anisotropía.

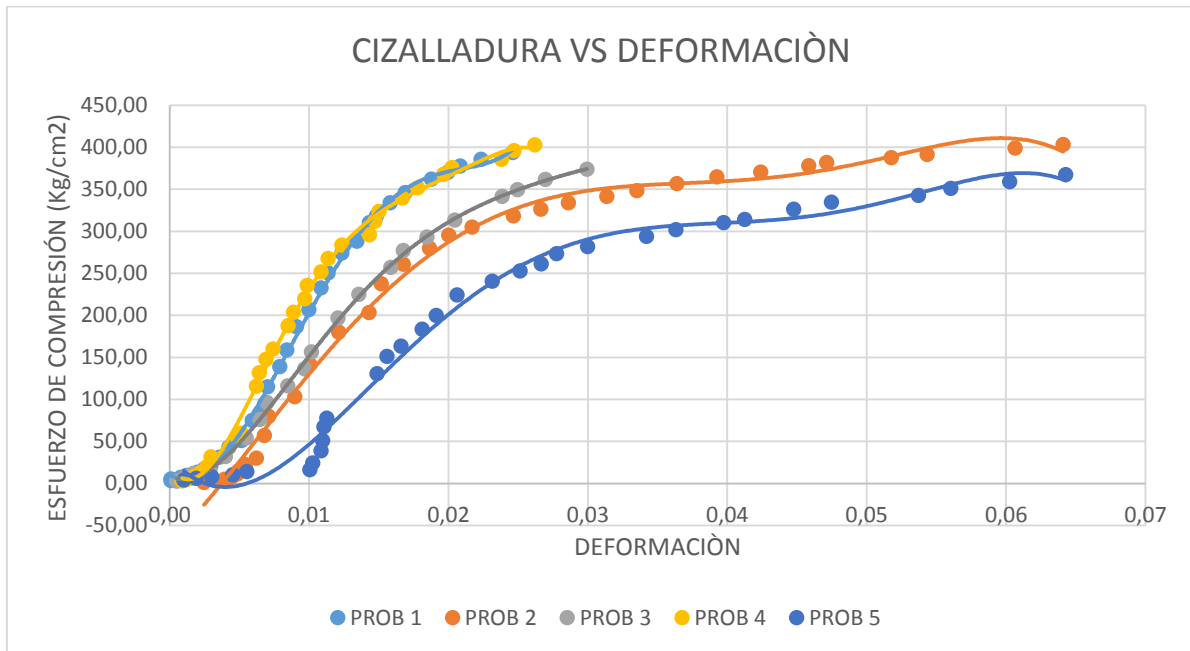


Figura 84. Datos de las probetas para la prueba de compresión perpendicular a la fibra de la especie *M. guianensis*.
(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 85 muestra la carga que actúa como durmiente y la que actúa como punzón, en la realidad se encuentra muy a menudo que actúa solamente en una parte del área, por lo que la resistencia de la madera es mayor, pues el área no afectada por la carga es capaz de absorber las tensiones.



Figura 85. Probetas ensayadas de *M. guianensis* de compresión perpendicular a la fibra.
(Fuente: Autor, 2018)

b. Tracción

Los resultados de este ensayo de tracción o tensión paralela a la fibra para las dos especies son los siguientes:

La especie *C. cateniformis*, en cuestión de carga aplicada es la más débil de los ensayos realizados en esta investigación, los resultados obtenidos de resistencia a tracción de se muestra en la Tabla 13, en donde su resistencia a tracción de 515,5 Kgf o 52,56 kg/cm², por otro lado en la investigación de (Rivas & Joachin, 2006) determinó que *Lonchocarpus castilloi* tiene una resistencia a tracción de 48,01 kg/cm², aunque ambas especies son de la misma zona muestran valores no tan diferentes.

Tabla 13. Los valores obtenidos de tracción de la especie *C. cateniformis*

DATOS OBTENIDOS A TRACCION:	
MODULO DE YOUNG(GPa):	1,88
% ALARGAMIENTO:	0,89
ESFUERZO FRACTURA(Mpa):	73,70
CARGA DE ROTURA(Kgf):	515,5

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 86 se gráfica el esfuerzo de fractura vs deformación unitaria de cada probeta ensayada para esta prueba de tracción. Cuando el esfuerzo es aplicado se iguala a la resistencia de tracción se inicia la estricción y luego la fractura del material.

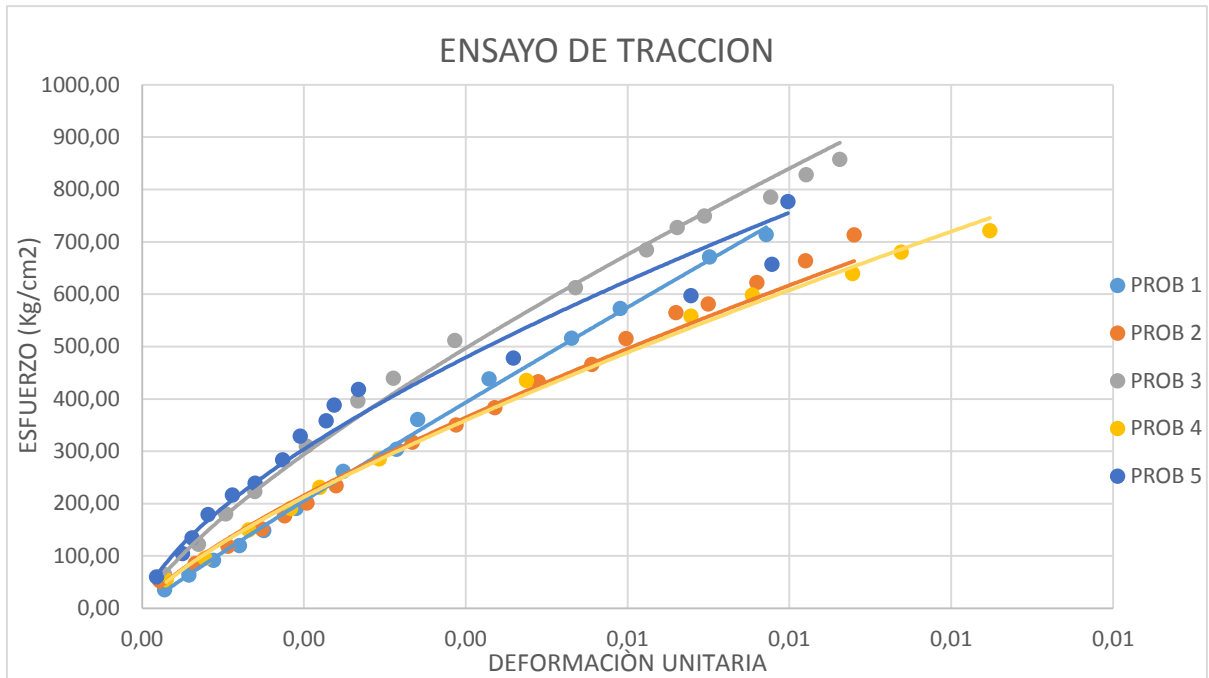


Figura 86. Datos de las probetas para la prueba de tracción de la especie *C. cateniformis*.
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *C. cateniformis*, en cuestión de carga aplicada es la más débil, aunque presenta poco astillamiento en la parte crítica de la probeta, esto se debe al tipo de fibra que presenta la madera como se observa en la Figura 87.



Figura 87. Probetas ensayadas de *C. cateniformis* de tracción
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *M. guianensis*, presenta bastante resistencia en presencia de carga, en la Tabla 14 tenemos un resumen de los valores obtenidos de resistencia a tracción de la madera de *M. guianensis*, en donde muestra una resistencia de 1369,2 Kgf o 139,61 kg/cm² y según (Estrada, 2013) en su trabajo de investigación de resistencia a la tracción en estado seco al aire obtuvo que el laurel tiene un valor de 264 kg/cm².

Tabla 14. Valores obtenidos de tracción de la especie *M. guianensis*

DATOS OBTENIDOS A TRACCION:	
MODULO DE YOUNG(GPa):	8,59
% ALARGAMIENTO:	0,67
ESFUERZO FRACTURA(Mpa):	179,39
CARGA DE ROTURA(Kgf):	1369,2

(Fuente: Autor, 2018)

En la Figura 88 se aprecia el diagrama esfuerzo-deformación en donde la resistencia de las probetas ensayadas de *M. guianensis* fue mayor a la probeta de *C. cateniformis*. Cuando el esfuerzo es aplicado se iguala a la resistencia de tracción se inicia la estricción y luego la fractura del material. Obteniendo un valor en deformación unitaria máxima de 0,008.

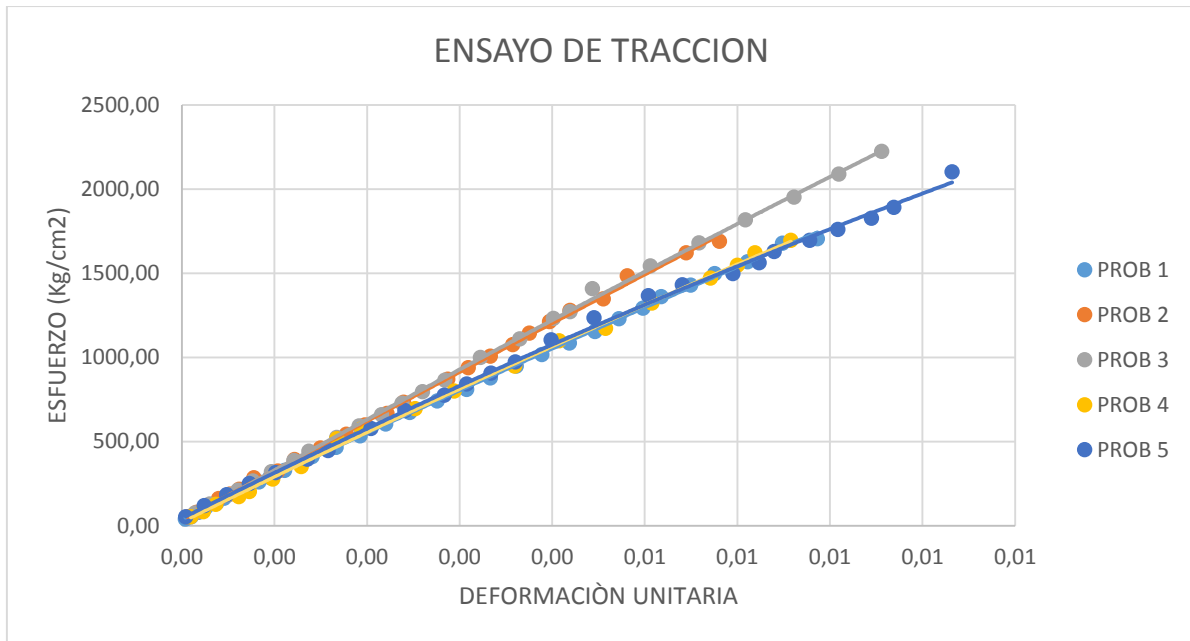


Figura 88. Diagrama esfuerzo-deformación de la prueba de tracción de la especie *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

La especie *M. guianensis*, presenta un astillamiento muy notorio largo y pronunciado en la parte crítica de la probeta, partiendo del centro hacia los extremos como se muestra en la (Figura 89).



Figura 89. Probetas ensayadas de *M. guianensis* de tracción

(Fuente: Autor, 2018)

c. Flexión estática

En este ensayo de flexión estática los resultados para las dos especies forestales fueron los siguientes:

La especie *C. cateniformis*, presenta fisuras rápidamente y se deforma antes de llegar a su ruptura total, su peso es liviano pero tiende a deshilarse en el sentido de su fibra. Esta especie es la que menos soporta cargas a flexión estática, como se indica en la Tabla 15, según la investigación de Arevalo y Londoño (2005) mencionan que su esfuerzo de flexión máximo es de 876 kg/cm² y en esta investigación se obtuvo 901,8 kg/cm². Asimismo en la investigación Guzmán (2006) presenta valores 57 a 83 como se muestra en la tabla mencionada su carga de flexión es de 100,2 kgf.

Tabla 15. Valores obtenidos de flexión estática de la especie *C. cateniformis*

DATOS OBTENIDOS	
CARGA MÁXIMA FLEXIÓN(kgf):	100,2
ESFUERZO FLEXIÓN MÁXIMO(Kg/cm ²)	901,8
FLECHA MÁXIMA(mm)	-12,55

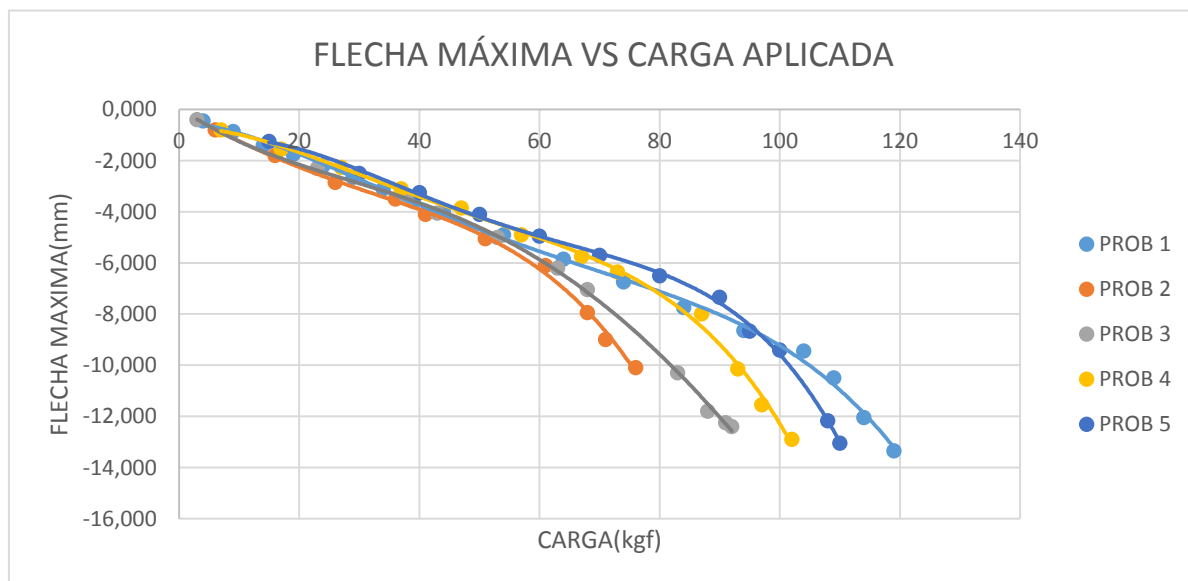


Figura 90. Datos de las probetas para la prueba de flexión estática de la especie *C. cateniformis*

(Fuente: Autor, 2018)

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior en compresión, la inferior convexa en tracción y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas en cizalle como se observa en la Figura 91.



Figura 91. Probetas ensayadas de *C. cateniformis* de flexión estática
(Fuente: Autor, 2018)

La especie *M. guianensis*, casi no presenta fisuras y es poca su deformación al llegar a su ruptura total, casi no se defleca por la forma de su fibra, esta especie presenta la mayor resistencia a flexión estática de las especies estudiadas con un valor de 2401,2 Kg/cm² (Tabla 16). Según (Estrada, 2013) en sus ensayos obtuvo que la resistencia a la flexión en el moral fino fue de 2414 kg/cm². Los resultados de moral fino en este caso son similares posiblemente debido a que son especies que se desarrollan en climas cálidos. Según el MAE y FAO (2014) mostraron una carga real de flexión del 171 kg/cm² con un secado al 12 % y en esta investigación presento un valor de 226,8 kg/cm², el tipo de secado tiene influencia en la madera para los diferentes ensayos.

Tabla 16. Valores obtenidos de flexión estática de la especie *M. guianensis*

DATOS OBTENIDOS	
CARGA MAXIMA FLEXIÓN(kgf):	266,8
ESFUERZO FLEXIÓN MÁXIMO(Kg/cm2)	2401,2

FLECHA MÁXIMA(mm)

-7,964

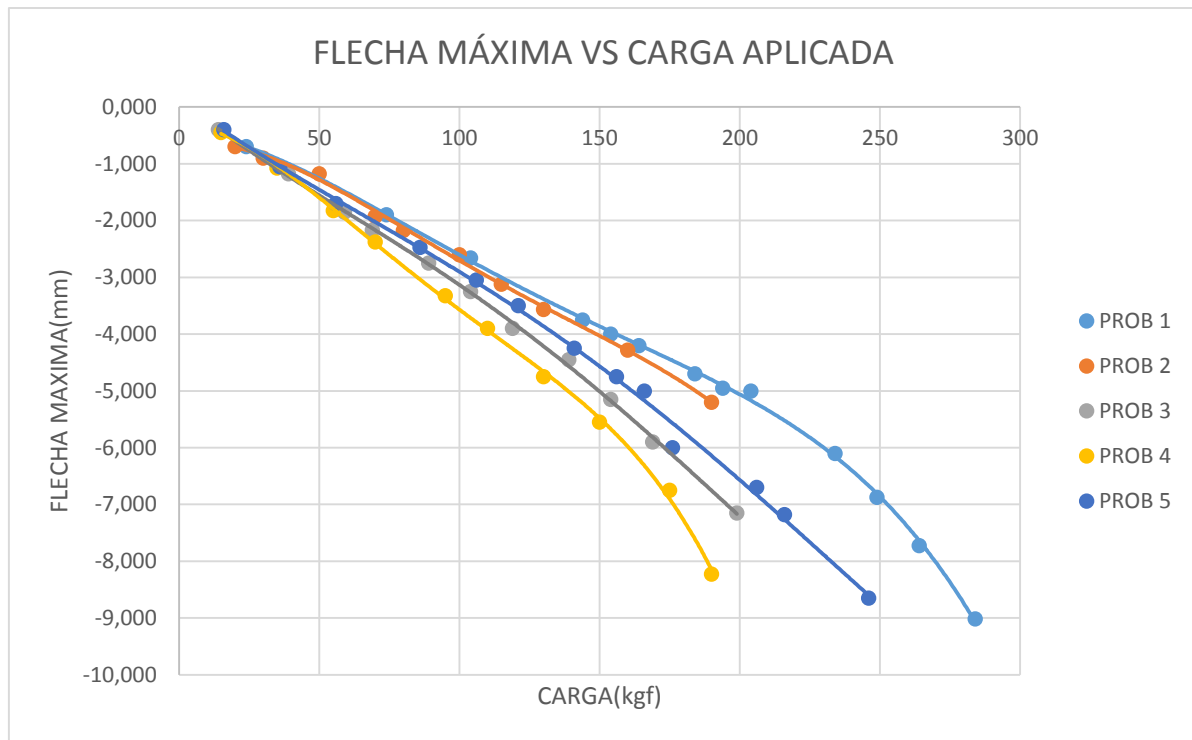
(Fuente: Autor, 2018)


Figura 92. Datos de las probetas para la prueba de flexión estática de la especie *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior en compresión, la inferior convexa en tracción y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas en cizalle como se observa en la Figura 93.



Figura 93. Probetas ensayadas de *M. guianensis* de flexión estática.
(Fuente: Autor, 2018)

Cálculo de flexión estática para *C. cateniformis*

Una barra o viga esta solicitada a flexión cuando en sus secciones rectas transversales actúan únicamente los momentos flectores (MF), Figura 92.

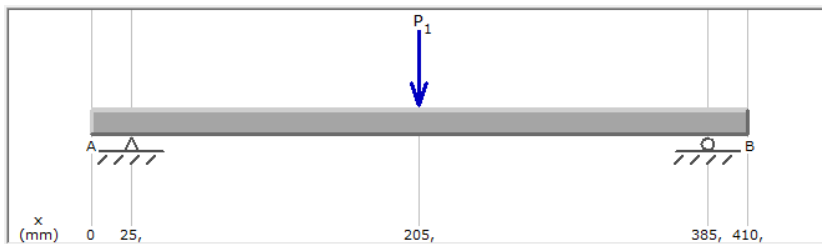
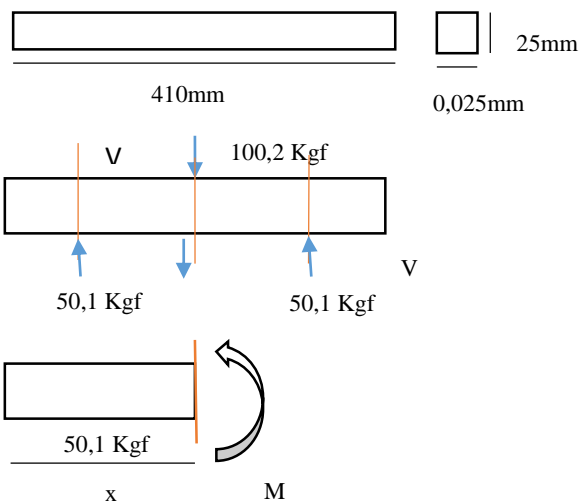


Figura 94. Barra de flexión

(Fuente: Autor, 2018)



Tramo 1

$$V = 0$$

$$M = 0$$

Tramo 2

$$50,1 - V = 0$$

$$V = 50,1$$

$$\sum M$$

$$50,1(x-25) - M = 0$$

$$M = 50,1x - 1225,5$$

$$x = 200$$

$$M = 8767,5 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 3

$$\sum F_y = 0$$

$$50,1 - 100,2 - V = 0$$

$$V = -50,1 \text{ Kgf}$$

$$V = 50,1 \text{ Kgf}$$

$$\sum M_E = 0$$

$$M + 100,2(x-205) - 50,1(x-25) = 0$$

$$M = 50,1x - 1252,5 - 100,2x + 20541$$

$$M = -50,1x + 19288,5$$

$$M = 9018 \text{ kgf-mm}$$

$$EI \int \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = \int (50,1x + 9018) dx$$

$$EI \frac{\partial M}{\partial x} = 25,05x^2 + 9018x + C_1$$

$$EI y = -25,05 \frac{x^3}{3} + 9018 \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

$$x = 25 \text{ mm}$$

$$y = 0$$

$$0 = -25,05 \frac{25^3}{3} + 9018 \frac{25^2}{2} + C_1 (25) + C_2$$

$$130468,75 - 2818125 = 25 C_1 + C_2$$

$$25 C_1 + C_2 = -2687656,25$$

$$x = 205$$

$$\Theta = 0$$

$$0 = -25,05 (205)^2 + 9018 (205) + C_1$$

$$C_1 = -795963,75$$

$$C_2 = -2687656,25 - 25 C_1$$

$$C_2 = -697746,5$$

$$I = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I = 32552,08$$

$$E = 195,69 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

$$y = \frac{-25,05 \frac{205^3}{3} + 9018 \frac{205^2}{2} + C_1(205) + C_2}{195,69 * 32552,08}$$

$$y = -15,22$$

Cálculo de flexión estática para *M. guianensis*

Tramo 1

$$V = 0$$

$$M = 0$$

Tramo 2

$$133,4 - V = 0$$

$$V = 133,4$$

$$\sum M$$

$$133,4 (x-25) - M = 0$$

$$M = 133,4 x - 3335$$

$$M = 23345 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 3

$$\sum Fy = 0$$

$$133,4 - 266,8 - V = 0$$

$$V = -133,4 \text{ Kgf}$$

$$V = 133,4 \text{ Kgf}$$

$$\sum M_E = 0$$

$$M + 266,8 (x - 205) - 133,4 (x - 25) = 0$$

$$M = 133,4 x - 3335 - 266,8x + 54694$$

$$M = -133,4 x + 51359$$

$$M = 24012 \text{ kgf}\cdot\text{mm}$$

$$EI \int \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = \int (-133,4 x + 24012) dx$$

$$EI \frac{\partial M}{\partial x} = -66,7 x^2 + 24012 x + C_1$$

$$EI y = -66,7 \frac{x^3}{3} + 24012 \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

$$x = 25 \text{ mm}$$

$$y = 0$$

$$0 = -66,7 \frac{25^3}{3} + 24012 \frac{25^2}{2} + C_1 (25) + C_2$$

$$347395,83 - 7503750 = 25 C_1 + C_2$$

$$25 C_1 + C_2 = -7156354,17$$

$$x = 205$$

$$\Theta = 0$$

$$0 = -66,7 (205)^2 + 24012 (205) + C_1$$

$$C_1 = -2119392,5$$

$$C_2 = -7156354,17 - 25 C_1$$

$$C_2 = -45828458,33$$

$$I = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I = 32552,08 \text{ mm}^4$$

$$E = 876,18 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

$$y = \frac{-66,7 \frac{205^3}{3} + 24012 \frac{205^2}{2} + C_1 (205) + C_2}{876,18 * 32552,08}$$

$$y = -7,51$$

4. Realizar una simulación con el programa SOLIDWORKS para determinar las propiedades mecánicas y realizar un análisis estadístico de resultados.

a. Compresión paralela a la fibra

1) *Cedrelinga cateniformis*

Como se observa en la Figura 99 de la especie *C. cateniformis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material. El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. En la Figura 100 de su deformación unitaria de resistencia a compresión paralela a la fibra presento fallas en las esquinas de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes. Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga (Figura 101), los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado.

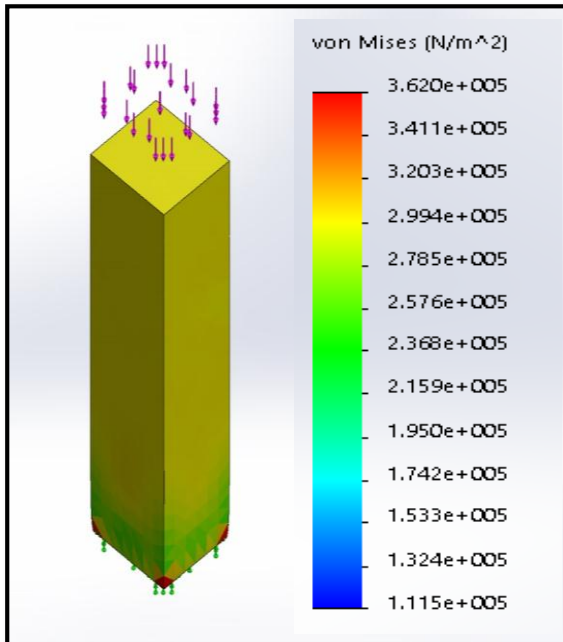


Figura 95. Simulación de sus tensión de Von Mises de resistencia a compresión paralela a la fibra de *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

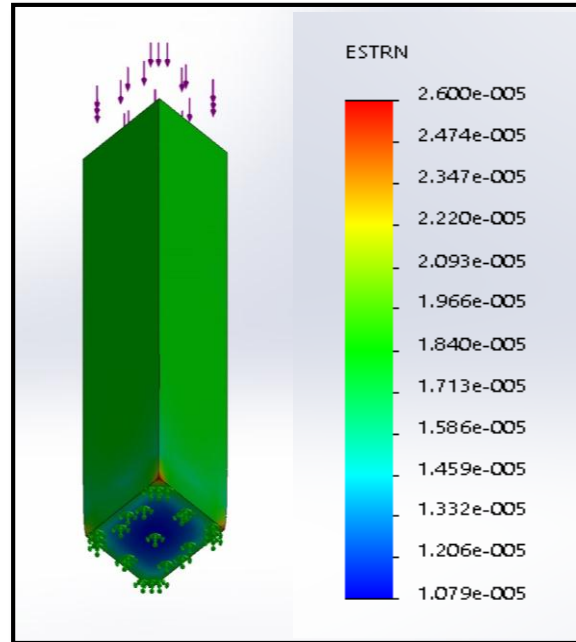


Figura 96. Simulación de sus deformación unitaria resistencia a compresión paralela a la fibra de *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

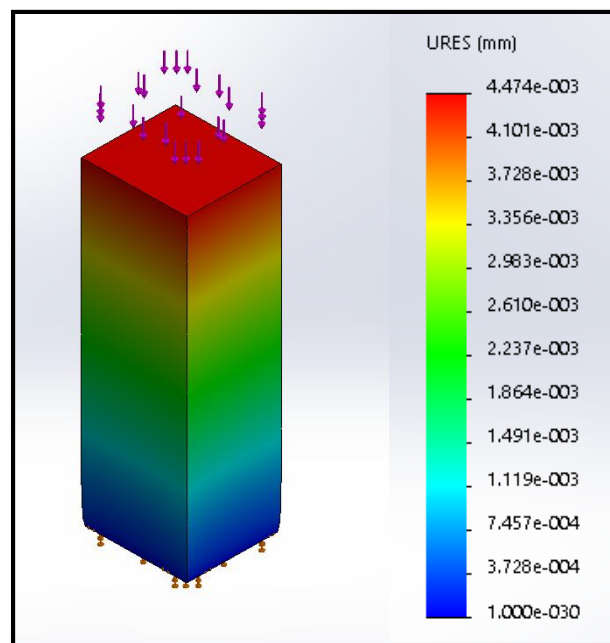


Figura 97. Simulación de sus deformaciones de resistencia a compresión paralela a la fibra de *C. cateniformis*

(Fuente: Autor, 2018)

2) *Minquartia guianensis*

Como se observa en la Figura 102 de la especie *M. guianensis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material. El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. En la Figura 103 de su deformación unitaria de resistencia a compresión paralela a la fibra presento fallas en las esquinas de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes. Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga (Figura 104), los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado.

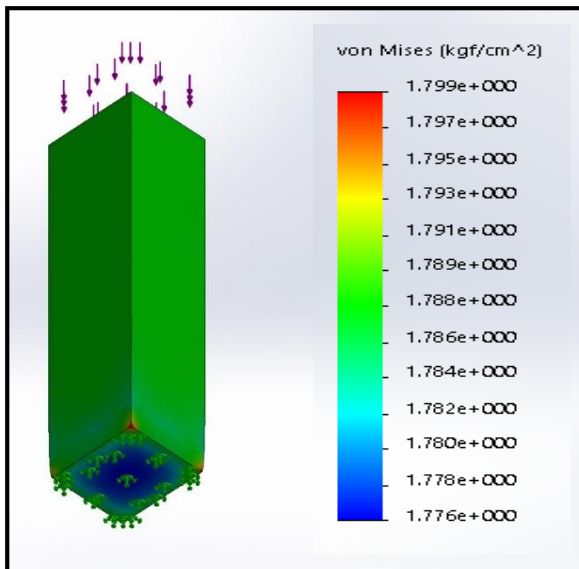


Figura 98. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión paralela a la fibra de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

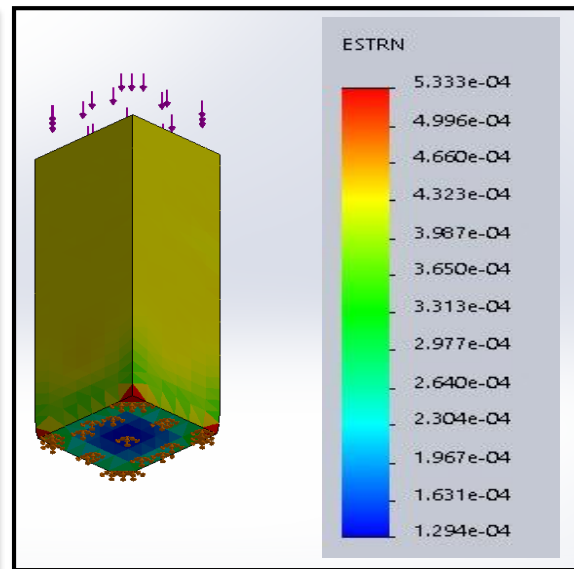


Figura 99. Simulación de su deformación de resistencia a compresión paralela a la fibra de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

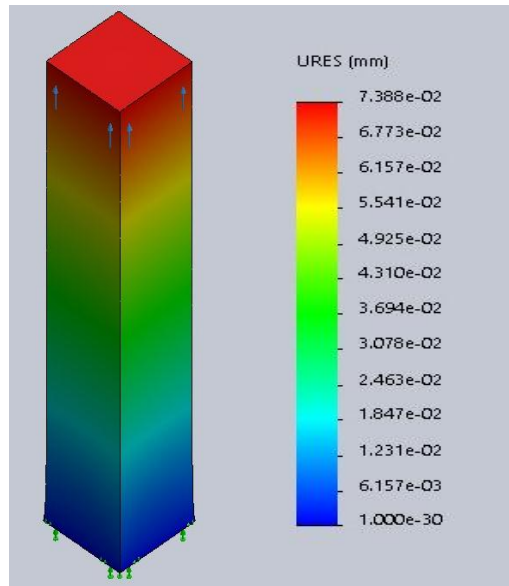


Figura 100. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión paralela a la fibra de *M.*

guianensis

(Fuente: Autor, 2018)

b. Compresión perpendicular a la fibra

1) *Cedrelinga cateniformis*

Como se observa en la Figura 105 de la especie *C. cateniformis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material. El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. La deformación unitaria de resistencia a compresión perpendicular a la fibra presento fallas en las esquinas de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes (Figura 106). Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga, los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado y en la parte central donde aplico la carga (Figura 107).

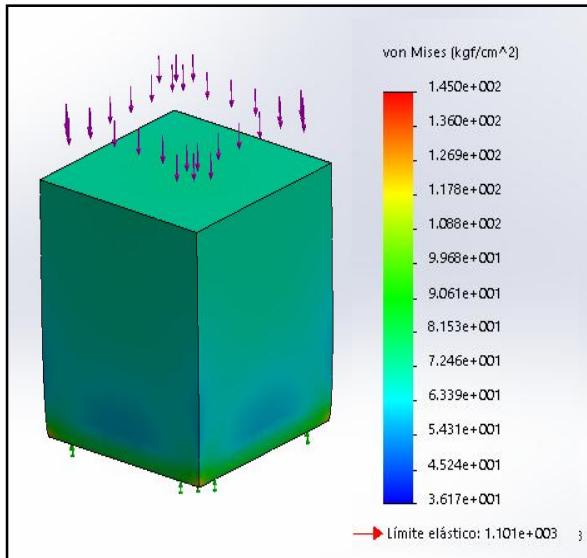


Figura 101. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

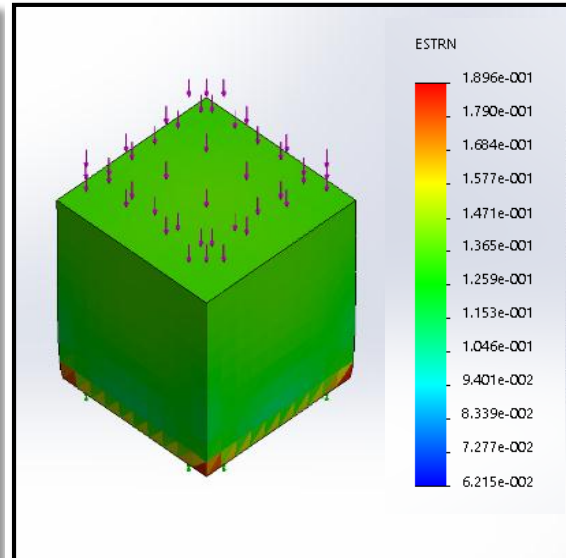


Figura 102. Simulación de su deformación y tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

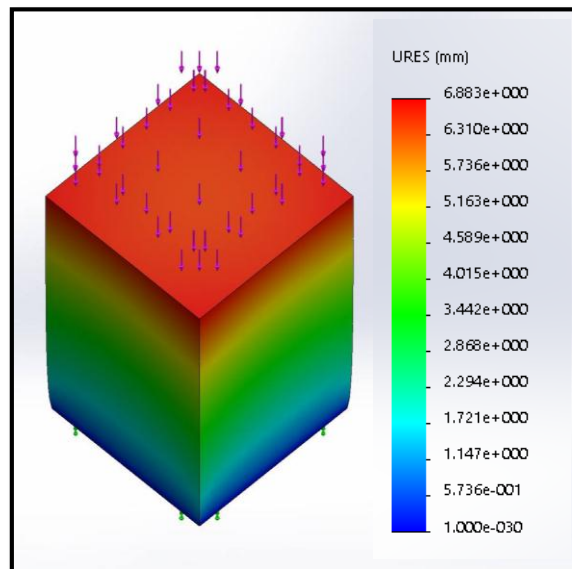


Figura 103. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

2) *Minquartia guianensis*

Como se observa en la Figura 108 de la especie *M. guianensis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material. El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. La deformación unitaria de resistencia a compresión perpendicular a la fibra presento fallas en las esquinas de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes (Figura 109). Los desplazamientos provocados son lo suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez que es causada por la carga (Figura 110), los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado y en la parte central donde aplico la carga.

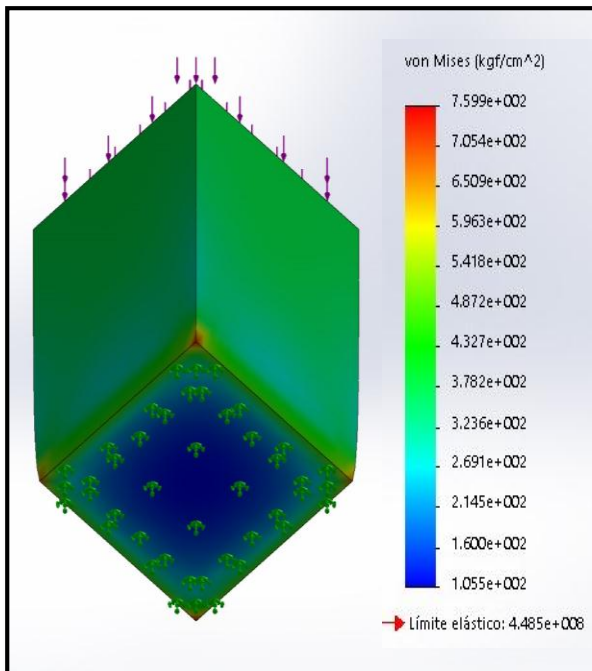


Figura 104. Simulación de sus tensiones de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

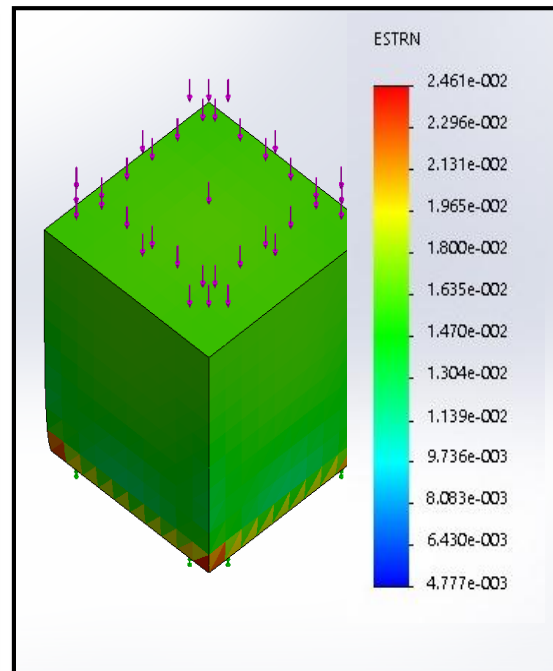


Figura 105. Simulación de su deformación unitaria estática de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

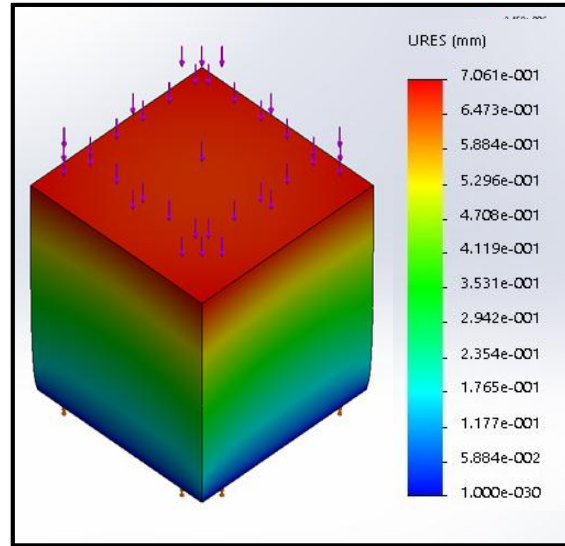


Figura 106. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a compresión perpendicular a la fibra de *M. guianensis*
(Fuente: Autor, 2018)

c. Tracción

1) *Cedrelinga cateniformis*

En la especie de *C. cateniformis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material (Figura 111). El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. La deformación unitaria de resistencia a tracción presento fallas en la parte central de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes (Figura 104). Los desplazamientos provocados son lo suficientemente grandes por lo que puede darse una fractura de la probeta (Figura 105), los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado.

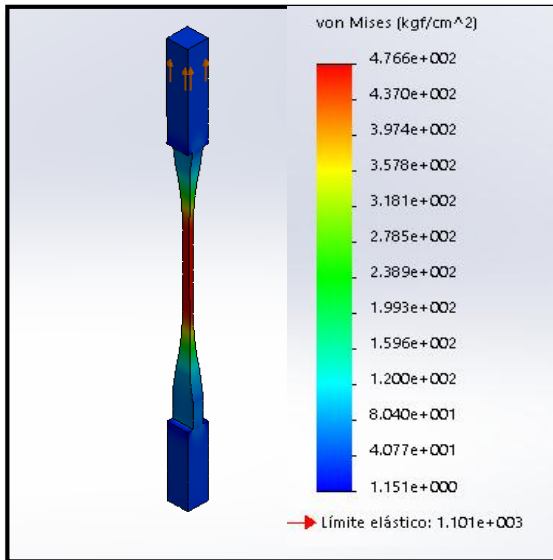


Figura 107. Simulación de sus tensiones de resistencia a tracción de *C. cateniformis*
(Fuente: Autor, 2018)

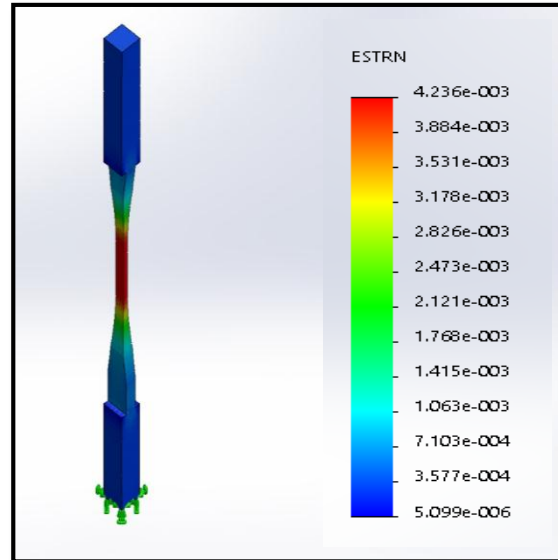


Figura 108. Simulación de su deformación unitaria estática de resistencia a tracción de *C. cateniformis*.
(Fuente: Autor, 2018)

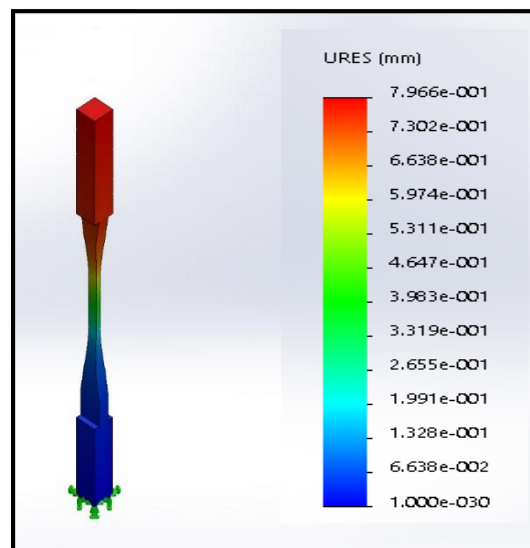


Figura 109. Simulación de su desplazamiento estático de resistencia a tracción de *C. cateniformis*
(Fuente: Autor, 2018)

2) *Minquartia guianensis*

En la especie de *Minquartia guianensis* se aprecia su tensión de Von Mises muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material (Figura 114). El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. La deformación unitaria de resistencia a tracción presento fallas en la parte central de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes (Figura 115). Los desplazamientos provocados son lo suficientemente grandes por lo que puede darse una fractura de la probeta Figura 116, los mayores desplazamientos están en las zonas rojas; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado.

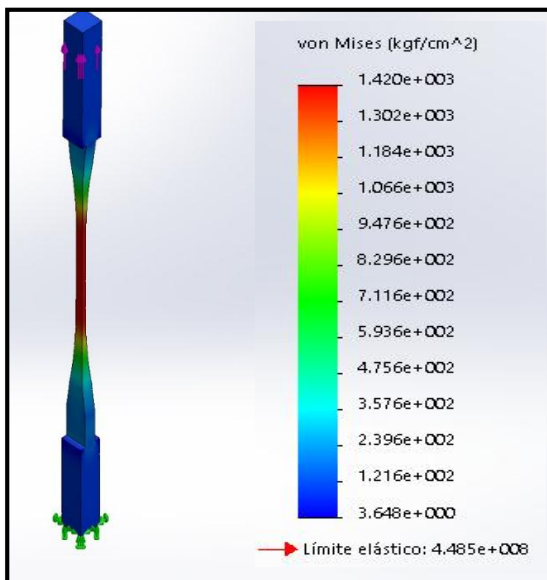


Figura 110. Simulación de su esfuerzo estático de resistencia a tracción de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

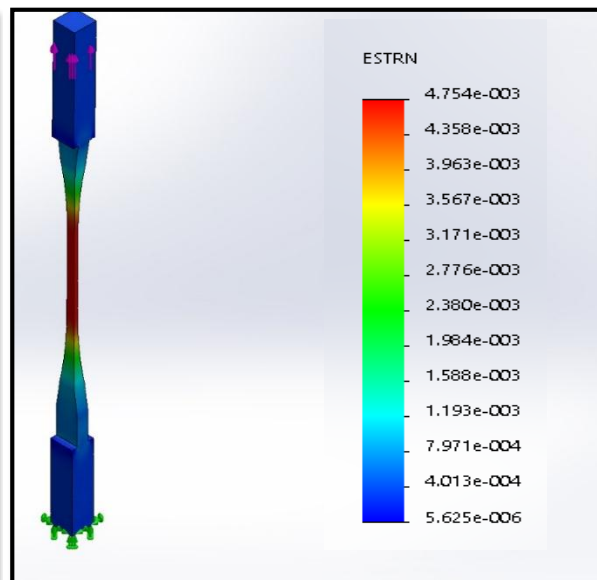


Figura 111. Simulación de su deformación unitaria de resistencia a tracción de *M. guianensis*.

(Fuente: Autor, 2018)

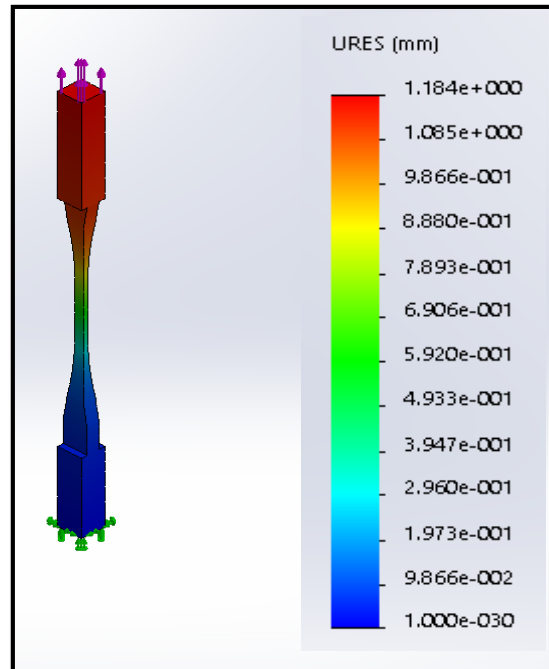


Figura 112. Simulación de su desplazamiento estática de resistencia a tracción de *M. guianensis*.
(Fuente: Autor, 2018)

d. Flexión estática

1) *Cedrelinga cateniformis*

En *C. cateniformis* se aprecia su tensión axial muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material (Figura 117). El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. La desplazamientos a resistencia a flexión estática presento fallas en la parte central de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes. Los desplazamientos provocados son considerables por lo que provoca una fractura de la probeta, los mayores desplazamientos están en las zonas rojas indicadas en la figura; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado y en la parte central donde aplico la carga ((Figura 118).

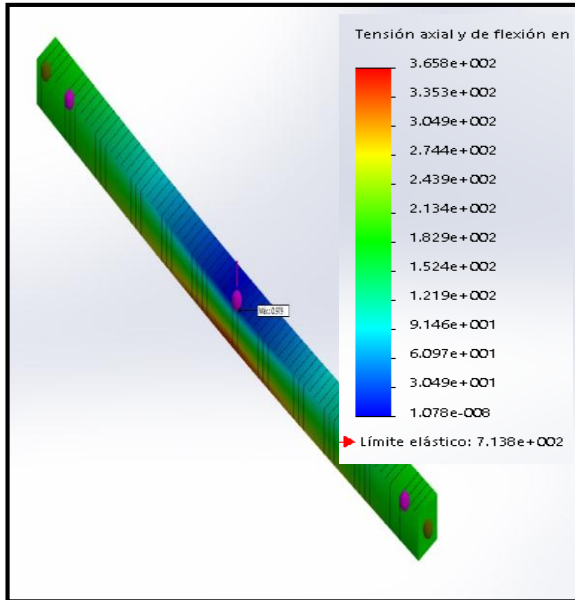


Figura 113. Simulación de Tensión axial de flexión de la especie *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

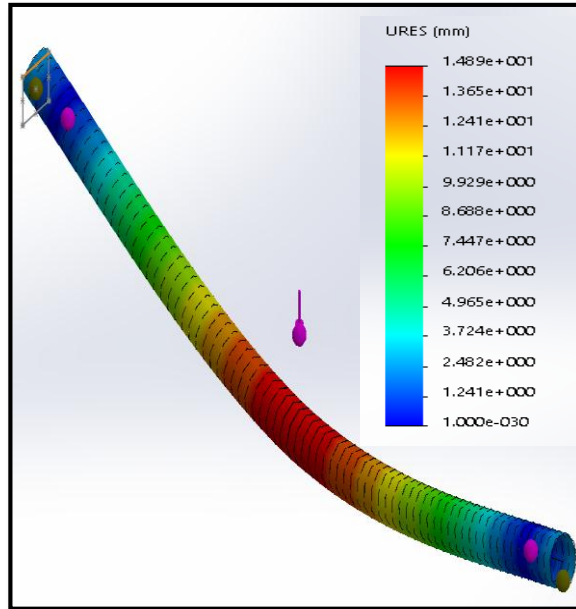


Figura 114. Simulación de desplazamiento de flexión de la especie *C. cateniformis*.

(Fuente: Autor, 2018)

2) *Minquartia guianensis*

En *M. guianensis* se aprecia su tensión axial muestra que hay un fallo elástico, esto debido a que las tensiones principales alcanza la resistencia uniaxial del material (Figura 119). El programa calcula las tensiones en los nodos para cada elemento extrapolando los resultados disponibles en los puntos gaussianos. Los desplazamientos a resistencia a flexión estática presento fallas en la parte central de las probetas por la carga aplicada, dichas cargas o fuerzas que actúan de forma normal al plano de sección son insignificantes. Los desplazamientos provocados son considerables por lo que provoca una fractura de la probeta, los mayores desplazamientos están en las zonas rojas indicadas en la figura; las zonas exteriores de la probeta sufren menores desplazamientos. El esfuerzo está en el máximo en el extremo sujetado y en la parte central donde aplico la carga (Figura 120).

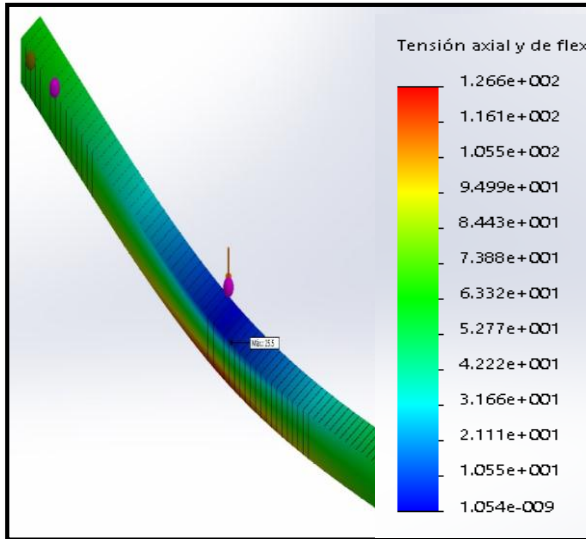


Figura 115. Simulación de Tensión axial y de flexión de la especie *M. guianensis*.
(Fuente: Autor, 2018)

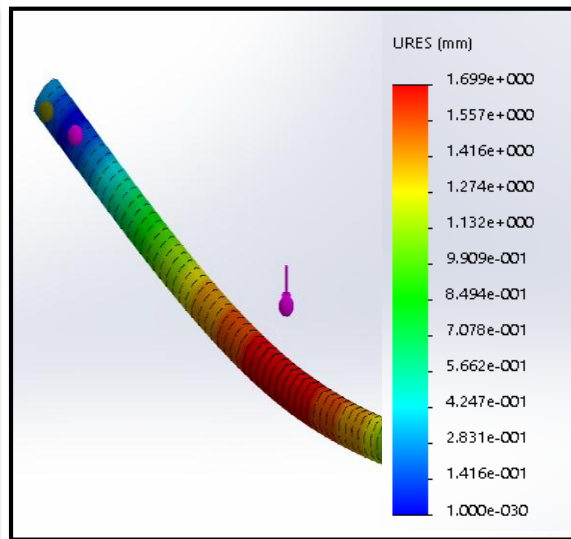


Figura 116. Simulación desplazamiento de flexión de la especie *M. guianensis*.
(Fuente: Autor, 2018)

e. Análisis estadístico

Tabla 17. Análisis estadístico de compresión paralela a la fibra *C. cateniformis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)			Deformación unitaria			Desplazamientos (mm)		
	Datos lab.	Simulación	% Error	Datos lab.	Simulación	% Error	Datos lab.	Simulación	% Error
Probeta 1	2,209	2,368	7,185	0,000	0,000	4,650	0,005	0,005	4,444
	280,751	308,700	9,955	0,012	0,013	3,072	2,450	2,570	4,898
Probeta 2	132,684	146,100	10,112	0,005	0,005	1,531	1,045	1,039	0,574
	243,682	247,700	1,649	0,016	0,014	8,810	3,110	3,090	0,643
Probeta 3	134,195	141,000	5,071	0,005	0,005	4,736	1,060	1,124	6,038
	254,040	266,900	5,062	0,013	0,013	1,661	2,545	2,659	4,479
Probeta 4	169,570	178,900	5,502	0,007	0,007	1,721	1,455	1,447	0,550
	253,988	248,200	2,279	0,014	0,013	7,810	2,835	2,818	0,600
Probeta 5	124,950	137,000	9,644	0,004	0,004	7,376	0,885	0,880	0,576
	286,609	305,600	6,626	0,015	0,014	5,224	3,000	2,893	3,567

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de compresión paralela a la fibra de la especie forestal *C. cateniformis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o

deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 17).

Tabla 18. Análisis estadístico de compresión paralela a la fibra de *M. guianensis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)			Deformación unitaria			Desplazamientos (mm)		
	Datos lab.	Simulación n	% Error	Datos lab.	Simulación n	% Error	Datos lab.	Simulación n	% Error
Probeta 1	1,789	1,788	0,075	0,000	0,000	6,852	0,075	0,074	1,627
1	602,608	605,273	0,442	0,007	0,007	4,584	1,345	1,329	1,197
Probeta 2	444,626	423,700	4,706	0,005	0,005	0,662	1,045	1,037	0,766
2	660,325	657,500	0,428	0,010	0,010	1,524	2,025	2,030	-0,247
Probeta 3	243,141	239,500	1,497	0,003	0,003	2,071	0,555	0,541	2,468
3	679,712	680,010	0,044	0,008	0,009	2,362	1,695	1,691	0,236
Probeta 4	302,917	287,400	5,122	0,002	0,002	1,543	0,350	0,343	1,971
4	690,791	687,900	0,418	0,009	0,009	1,257	1,750	1,740	0,571
Probeta 5	488,886	465,600	4,763	0,004	0,004	1,129	0,850	0,836	1,600
5	705,529	707,400	0,265	0,013	0,013	0,919	2,655	2,647	0,309

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de compresión paralela a la fibra de la especie forestal *M. guianensis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 18).

Tabla 19. Análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de *C. cateniformis*.

	Cortante (kg/cm ²)			Deformación unitaria			Desplazamientos (mm)		
	Datos lab.	Simulación n	% Error	Datos lab.	Simulación n	% Error	Datos lab.	Simulación n	% Error
Probeta 1	40,312	41,750	3,566	0,031	0,032	1,066	1,595	1,626	1,944
1	68,939	72,460	5,108	0,133	0,137	2,931	6,750	6,883	1,970
Probeta 2	77,780	85,390	9,785	0,033	0,033	0,588	1,530	1,443	5,686
2	114,921	111,500	2,977	0,142	0,145	1,764	6,650	6,254	5,955
Probeta 3	58,644	61,960	5,655	0,030	0,031	2,702	1,450	1,402	3,310
3	84,049	88,800	5,652	0,114	0,117	2,672	5,500	5,319	3,291
Probeta 4	58,322	61,170	4,884	0,034	0,034	0,156	1,850	1,818	1,730
4	82,546	87,250	5,699	0,109	0,109	0,852	5,975	5,873	1,707
Probeta 5	63,251	62,250	1,583	0,043	0,046	6,098	2,265	2,351	3,797
5	83,041	84,530	1,793	0,109	0,101	7,248	5,750	6,055	5,304

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de la especie forestal *C. cateniformis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 19).

Tabla 20. Análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de *M. guianensis*.

	Cortante (kg/cm ²)		% Error	Deformación unitaria			Desplazamientos (mm)		
	Datos lab.	Simulación n		Datos lab.	Simulación n	Error	Datos lab.	Simulación n	Error
Probeta 1	309,990	323,600	4,391	0,014	0,015	2,596	0,725	0,707	2,469
	489,290	490,043	0,154	0,065	0,065	0,487	3,300	3,218	2,485
Probeta 2	279,864	289,100	3,300	0,019	0,018	4,716	0,945	0,979	3,598
	402,897	403,190	0,073	0,064	0,065	0,885	3,250	3,281	0,954
Probeta 3	224,792	234,900	4,496	0,014	0,014	4,179	0,680	0,668	1,735
	421,979	426,400	1,048	0,045	0,046	2,977	2,255	2,266	0,475
Probeta 4	295,643	310,700	5,093	0,014	0,015	4,829	0,725	0,710	2,124
	515,674	518,300	0,509	0,068	0,068	0,639	3,425	3,424	0,029
Probeta 5	252,835	269,500	6,591	0,025	0,026	3,734	1,250	1,245	0,400
	393,640	394,100	0,117	0,078	0,077	0,664	3,870	3,868	0,052

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de compresión perpendicular a la fibra de la especie forestal *M. guianensis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 20).

Tabla 21. Análisis estadístico del ensayo de tracción de *C. cateniformis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)		% Error	Deformación unitaria			Desplazamientos (mm)		
	Datos lab.	Simulación n		Datos lab.	Simulación n	Error	Datos lab.	Simulación n	Error
Probeta 1	303,865	318,100	4,684	0,003	0,003	1,008	0,157	0,150	4,331
	713,730	719,100	0,752	0,008	0,008	3,688	0,385	0,391	1,558
Probeta 2	349,965	343,500	1,847	0,004	0,004	0,670	0,194	0,184	5,088
	713,136	722,300	1,285	0,009	0,009	5,807	0,440	0,448	1,818
Probeta 3	511,439	525,300	2,710	0,004	0,004	4,799	0,194	0,196	0,979
	857,200	860,700	0,408	0,009	0,009	4,237	0,433	0,439	1,409
Probeta	285,714	272,000	4,800	0,003	0,003	0,984	0,147	0,147	0,068

4	721,088	729,500	1,167	0,010	0,011	3,301	0,525	0,517	1,543
Probeta	328,554	326,200	0,717	0,002	0,002	4,503	0,098	0,099	0,612
5	776,583	779,800	0,414	0,008	0,008	1,867	0,400	0,406	1,550

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de tracción de la especie forestal *C. cateniformis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 21).

Tabla 22. Análisis estadístico del ensayo de tracción de *M. guianensis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)		% Error	Deformación unitaria		% Error	Desplazamientos (mm)		% Error
	Datos lab.	Simulación		Datos lab.	Simulación		Datos lab.	Simulación	
	Probeta 1	672,084		711,600	5,880		0,002	0,002	
1	1704,999	1709,400	0,258	0,007	0,007	1,749	0,346	0,350	1,156
Probeta 2	665,871	636,900	4,351	0,002	0,002	0,974	0,111	0,114	2,703
2	1689,238	1692,000	0,164	0,006	0,006	0,958	0,291	0,296	1,718
Probeta 3	795,918	794,900	0,128	0,003	0,003	4,160	0,129	0,130	0,775
3	2224,490	2228,100	0,162	0,008	0,008	0,311	0,375	0,361	3,680
Probeta 4	694,756	688,500	0,900	0,003	0,003	1,896	0,131	0,136	3,817
4	1695,802	1694,810	0,058	0,007	0,007	0,351	0,342	0,348	1,754
Probeta 5	840,722	841,010	0,034	0,003	0,003	0,452	0,152	0,153	0,658
5	2101,806	2102,000	0,009	0,008	0,008	0,026	0,411	0,414	0,730

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de tracción de la especie forestal *M. guianensis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 22).

Tabla 23. Análisis estadístico del ensayo de flexión estática de *C. cateniformis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)		% Error	Flecha real (mm)		% Error
	Datos lab.	Simulación		Datos lab.	Simulación	
Probeta 1	17,764	18,290	2,964	1,920	1,890	1,563
	26,110	26,180	0,267	13,350	13,270	0,599
Probeta 2	11,033	11,070	0,333	5,050	5,310	5,149
	16,874	16,880	0,033	11,050	11,030	0,181
Probeta 3	13,196	13,220	0,182	6,200	6,193	0,113

	19,270	19,290	0,103	12,400	12,360	0,323
Probeta 4	12,052	12,030	0,185	4,900	4,984	1,714
	21,567	21,550	0,080	12,900	12,870	0,233
Probeta 5	14,934	14,910	0,163	5,700	5,789	1,561
	23,468	23,430	0,163	13,050	13,046	0,031

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de flexión estática de la especie forestal *C. cateniformis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos o deformación de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 23).

Tabla 24. Análisis estadístico del ensayo de flexión estática de *M. guianensis*.

	Esfuerzo (kg/cm ²)			Flecha real (mm)		
	Datos lab.	Simulación	% Error	Datos lab.	Simulación	% Error
Probeta 1	39,819	42,220	6,030	1,710	1,700	0,585
	61,460	61,590	0,212	9,015	8,016	0,011
Probeta 2	1710,000	1711,000	0,058	5,200	5,001	3,827
	2835,000	2835,100	0,004	10,500	10,030	4,087
Probeta 3	1071,000	1072,800	0,168	3,900	3,891	0,231
	2061,000	2060,340	0,032	8,950	8,939	0,123
Probeta 4	990,000	989,900	0,010	3,900	3,902	0,051
	1710,000	1713,000	0,175	8,225	8,223	0,024
Probeta 5	1404,000	1402,300	0,121	4,750	4,746	0,086
	2844,000	2841,900	0,074	9,950	9,946	0,037

(Fuente: Autor, 2018)

En el análisis estadístico de flexión estática de la especie forestal *M. guianensis* se analizó el esfuerzo, deformación unitaria y sus desplazamientos de los datos obtenidos de cada probeta ensayada en el laboratorio y la simulación, presentan un error menor al 10 % para los dos casos (Tabla 24).

5. Comprobación de hipótesis

a. Hipótesis nula – H0

Cedrelinga cateniformis, *Minquartia guianensis* estas especies forestales poseen características organolépticas, anatómicas, y mecánicas similares.

b. Hipótesis alternante –H1

Cedrelinga cateniformis, *Minquartia guianensis* estas especies forestales poseen por lo menos una característica diferente.

c. Nivel de significancia

Al aplicar el análisis de varianza (ANAVA) a las variables mecánicas; cortante de rotura, módulos de cizalladura, estricción, y carga de rotura de las especies en estudio mostraron diferencias altamente significativas ($\pi < 0,0001$; 0,0022, Tabla 25).

Tabla 25. Resumen del nivel de significancia y valores promedio (\pm erro estándar) de las propiedades mecánicas calculadas para las especies en estudio y comparación de medias usando la prueba de Tukey.

Especies	Cortante de rotura	Módulos cizalladura	Estricción	Carga de rotura
p-valor	($p < 0.0001$)	($p < 0.0001$)	($p < 0.0001$)	($p < 0.0022$)
Chuncho	86,89 \pm 82,14 b	1535,44 \pm 6316,51 b	10,43 \pm 0,89 a	2157,4 \pm 125,92 a
Guayacán	1883,27 \pm 82,14 a	323453,22 \pm 6316,51 a	0,7 \pm 0,89 b	1369,2 \pm 125,92 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En el análisis de varianza (ANAVA) que se realizó no se detectaron relaciones entre los parámetros; cortante de rotura, módulos de cizalladura, estricción, y carga de rotura.

VIII. CONCLUSIONES

1. Las especies en estudio *C. cateniformis* y *M. guianensis* presentaron características y propiedades físicas, químicas, y mecánicas diferentes entre ellas, clasificándolas como madera liviana y muy pesada respectivamente.
2. La especie *C. cateniformis* presenta características organolépticas de la madera como color, olor, sabor, veteado, lustre, grano, y textura diferentes a la especie *M. guianensis*, estas características se observó con las distintas probetas de madera.
3. Las propiedades químicas que presentaron las dos especies forestales en estudio son; el porcentaje de humedad para *C. cateniformis* es de 11.71% y para *M. guianensis* 12.03% con un secado al aire, se obtuvo también la densidad de estas especies por lo que se determinó que la madera de *C. cateniformis* es liviana con una densidad de 0.43gr/cm³ y la madera de *M. guianensis* es muy pesada con una densidad de 1.02gr/cm³. En cuanto al pH para las dos especies forestales fue moderadamente ácido, el cual puede afectar en su uso, ya sea en el contacto de metales que puede corroer, en la fijación de sustancias, preservantes, el proceso de pulpeo, y el fraguado de los adhesivos. Finalmente en esta propiedad se observó las características microscópicas de cada una de las especies con un microscopio óptico y un microscopio electrónico dando mejores resultados con el microscopio electrónico ya que se observa claramente dichas características y las dimensiones de cada uno de los poros ya sean solitarios o múltiples dan un valor preciso.
4. En cuanto las propiedades mecánicas de las dos especies en estudio presentaron resistencia diferente, para *C. cateniformis* se clasifica como una madera liviana, su resistencia mecánica es aceptable, tiene buena respuesta a cargas axiales de tracción muy alta, padece de deformación rápida ante la presencia de carga, sin embargo es la menor con resistencia a los ensayos mecánicos. Por otro lado la especie *M. guianensis* es clasificada como madera muy pesada, su resistencia es bastante alta y superior a la otra especie analizada en esta investigación, en relación con este último presenta poca

deformación en la madera ante la presencia de carga cuando es sometida a pruebas de compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, y flexión estática.

5. Finalmente en la simulación que se realizó con el programa SOLIDWORKS proyectaron resultados estadísticos menores al 10% similar a los datos obtenidos en cada uno de los ensayos de compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, tracción, y flexión estática. Además de proyectarnos imágenes de cómo se produce la deformación unitaria y su ruptura total luego cada uno de los ensayos.

IX. RECOMENDACIONES

1. Ampliar con el estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la presente investigación, debido a que un estudio preliminar no basta para recaudar la información necesaria, sobre las especies, considerando las condiciones de sitio, factores edafoclimáticos, y su manejo.
2. En el análisis de las características microscópicas de la madera con el microscopio óptico utilizar una solución de verde brillante en menor concentración para mejorar la observación de sus características, y en el análisis con el microscopio electrónico realizar un corte preciso que se pueda observar de manera clara dichas características para determinar sus dimensiones.
3. En las propiedades mecánicas ampliar los parámetros de evaluación a nivel de laboratorio con la madera de estas especies para un mejor análisis de comportamiento frente a otros materiales utilizados en estructuras como el acero y el hormigón.
4. Al realizar la simulación para el análisis y comparación de datos de resultados del laboratorio es recomendable la utilización de otro programa de simulación como ANSYS ya que ofrece una completa gama de soluciones de simulación de ingeniería estableciendo un acceso a cualquier campo de la simulación que requiere un proceso de diseño.
5. Dar seguimiento a esta investigación y continuar con el estudio de otras especies forestales nativas con el fin de conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas y así disminuir la explotación de especies en condicionamiento.

X. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las especies *Cedrelinga cateniformis* (chuncho), *Minuartia guianensis* (guayacán pechiche), en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; que fueron recolectadas en la provincia Francisco de Orellana. Para estas evaluaciones se analizó con un secado natural. Las propiedades físicas identificadas fueron características organolépticas presentando diferencias debido a la calidad de sitio, silvicultura, el manejo, entre otros factores. En las propiedades químicas se obtuvo un porcentaje de humedad de 11.71% para *C. cateniformis* y 12.03 % para *M. guianensis*; en la densidad se determinó que la madera de *C. cateniformis* es liviana con un valor de 0.42 gr/cm³ y *M. guianensis* es muy pesada con un valor de 1.02 gr/cm³, el pH para las dos especies fue moderadamente ácido, las características anatómicas se observaron con un microscopio óptico y electrónico dando mejores resultados con el microscopio electrónico pues se observa claramente dichas características y las dimensiones de los poros brindando un valor preciso de su tamaño. Por otra parte en las características mecánicas se realizaron ensayos de flexión estática, tracción, compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra. Las probetas utilizadas tuvieron dimensiones normalizadas según el tipo de ensayo, por la norma ASTM D143. Presentando resistencia diferente; *C. cateniformis* su resistencia mecánica es aceptable, tiene buena respuesta a cargas axiales de tracción muy alta, padece de alteración rápida ante la presencia de carga, sin embargo es la menor con resistencia a los ensayos mecánicos, y en *M. guianensis* su resistencia es alta y superior a la otra especie analizada, en relación con este último presenta una alteración menor ante la presencia de carga cuando es sometida a las pruebas mecánicas. Finalmente se realizó una simulación con SOLIDWORKS proyectando resultados estadísticos similares a los valores obtenidos en las pruebas mecánicas.

Palabras claves: propiedades físicas - propiedades químicas - propiedades mecánicas - características organolépticas.

Por: Karla Ocaña



XI. SUMMARY

ABSTRACT

This research proposes: to determine the physical, chemical and mechanical properties of the species *Cedrelinga Cateniformis* (Chuncho), *Minquartia guianensis* (Guayacán pechiche), at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; That were collected in Francisco de Orellana Province. For these evaluations it was analyzed with a natural drying.

The physical properties identified were organoleptic characteristics presenting differences due to site quality, forestry, management, among other factors. In the chemical properties, a moisture percentage of 11.71% was obtained for *C. Cateniformis* and 12.03% for *M. guianensis*; In the density it was determined that the wood of *C. Cateniformis* is light with a value of 0.42 gr/cm³ and *M. Guianensis* is very heavy with a value of 1.02 gr/cm³, the PH for the two species was moderately acid, the anatomical characteristics were observed with a Optical microscope and electronic giving better results with the electron microscope it is clearly observed these characteristics and the dimensions of the pores providing an accurate value of their size. On the other hand in the mechanical characteristics were performed tests of static flexion, traction, parallel comprehension and understanding perpendicular to the fiber. The specimens used had standard dimensions according to the type of test, by the ASTM D143 standard. Presenting different resistance; *C. Cateniformis* its mechanical resistance is acceptable, it has good response to very high tensile axial loads, it suffers from rapid alteration in the presence of load, however it is the minor with resistance to the mechanical tests, and in *M. Guianensis* its resistance is High and higher than the other species analyzed, in relation to the latter has a minor alteration in the presence of load when subjected to mechanical tests.

Finally, a simulation was made with SOLIDWORKS projecting statistical results similar to the values obtained in the mechanical tests.

Key words: Physical properties, chemical properties, mechanical properties, organoleptic characteristics.



XII. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, L., & Casado, M. (2005). *Material de apoyo del curso tecnología de la madera*. Universidad de Valladolid. España. 35. Recuperado en 10 ago. 2018. Disponible en: http://www.uva.es/consultas/guia.php?menu=ficheros&ano_academico=0506&codigo_plan=279&codigo_asignatura=22265&grupo=1
- Aguirre-Mendoza, Z. (2014). *Dendrología del sur del Ecuador*. Loja – Ecuador: Universidad Nacional de Loja. p.77.
- Aguirre-Mendoza, Z., Loja A., Solano, M., & Aguirre N. (2015). *Especies forestales más aprovechadas del sur del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja. Loja - Ecuador. EDILOJA.
- Ministerio de Agricultura. (s.f.). *La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonía : una Bibliografía Anotada*. Perú.
- Albin, R. (1975). *Determinacion del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia. Bosque, 1(1), 3–5*.
- Amáez, E., & Flores, E. (1988). *Características de la madera*. *Revista de Biología Tropical*, 36(1), 67–73.
- Arraiga, F., & Blasco, J. R. (2015). *Estructuras*: In *Estructuras de madera*. Medellín - Colombia. pp. 1–112.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. AITIM. (2014). *Madera Generalidades*. Recuperado el 25 de julio del 2018. Disponible en: http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Madera_Generalidades_06.06.2011.pdf
- Calle, R. (2014). *Madera tornillo*. Recuperado el 24 de marzo del 2018. Disponible en: <http://ciencias.pe/madera-tornillo-de-per%C3%BA>.
- Callejas, M. (2015). *Reforestación con fines comerciales : situación del sector forestal*

industrial ecuatoriano e impacto de las políticas públicas, período 2000-2013. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito -Ecuador.

Campos, A., Cubillos, G., Morales, F., & Pastene, A. (1990). *Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación*. Santiago - Chile: Corporación de Fomento de la Producción. p. 87.

Creemers, J., & Lemckert, D. (1981). *Clave para la identificación de las principales especies forestales mediante el uso de la lupa*. Documento de trabajo #7. DGF, UNA, PNUD, FAO. p. 228

Cuevas, E. (2003). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas*. Talca, Chile. Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. p. 68 (No Publicado).

Dassault Systèmes (2017). *Funciones de SOLIDWORKS Simulation*. Recuperado el 22 de agosto del 2018. Disponible en: <https://www.solidworks.es/sw/products/simulation/capabilities.htm>.

Delgado, G. (1975). *Propiedades de la madera*. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida - Venezuela.

Díaz Méndez, P. (2005). *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de Nothofagus Glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes*. (Tesis de grado. Ingeniero de Industrias de la Madera). Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería de Industrias de la Madera. Universidad de Talca. Chile. 5-22.

Ecuadorforestal. (2012). *Características del seique. Ficha Técnica No. 4 SEIQUE*. Recuperado el 28 de julio del 2018. Disponible en: <http://www.ecuatorforestal.org/download/contenido/seique.pdf>

Fallis, A. (2013). *Propiedades mecánicas de la madera estructural*. In *Climate Change 2013.- The Physical Science Basis* (Vol. 53, pp. 1–30). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. (2009). *Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper FP/44E*. Roma. Recuperado el 28 de julio del 2018. Disponible en: <http://www.fao.org>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. (2009a). *Situación de los bosques en el mundo*. Roma. Recuperado el 28 de julio del 2018. Disponible en: <http://www.fao.org>.
- Flórez, J. B., Trugilho, P. F., Lima, J. T., Hein, P. R. G., & Silva, J. R. M. (2014). *Caracterización de la madera joven de Tectona grandis L. f. plantada en Brasil*. *Madera y Bosques*, 20(1), 11–20. Recuperado el 28 de julio del 2018. Disponible en: <http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/172/223>
- Gálvez, B. (2011). *Madera estructural. Tipología y cálculo de uniones*. Proyecto Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. España.
- Gimenez, M., Moglia, G., Hernandez, P., & Gerez, R. (2005). *Anatomía de la madera*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Francisco de Orellana. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Francisco de Orellana*. Recuperado el 21 de julio del 2018, de http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/%23recycle/PDyOTs%202014/1560000780001/PDyOT/07022013_085114_PDYOT-GADMFO-2012-2022.pdf
- Gómez E., & Ramírez, M. (2006). *Análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera*. *Revista Ingeniería Industrial*. 5(1), 23-31.
- Hunter, J. R. 1991. *Observations on the growth, ecology and uses of Minquartia guianensis, a humid tropical tree*. *The International Tree Crops Journal*, 6: 221 - 238.
- Irvine (2018). Tipos de simulación en Solidworks. Recuperado el 28 de julio del 2018. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>.

- Jiménez, Q. (2013). *Maderas sudamericanas-Oficina De Comercio Internacional Minquartia Guianensis-Guayacan Pechiche-Black Manwood*. Recuperado el 23 de marzo del 2018. Disponible en: <http://maderasulamerica.galeon.com/productos1516580.html>
- Jørgensen, P. M., & León-Yáñez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden. Saint Louis. USA. p. 1181
- Karsulovic, J. (1982). *Propiedades mecánicas de la madera*. Santiago - Chile: Editorial Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. p.101
- López, R., Neill, D., Torres, B., Guerra, D., & Muñoz, J. (2014). *El Guayacán negro en Napo Napopi Huambula*. Recuperado el 24 de julio del 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/314245088_El_Guayacan_negro_en_Napo_Napopi_Huambula [accessed Jul 24 2018].
- Martínez, J., Borja de la Rosa, A. (2005). *Características tecnológicas de la madera de palo morado (Peltogyne mexicana Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1):78-82.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. MAGAP. (2015). *Programa de Incentivos para la reforestación con fines comerciales*. Guayas, Ecuador. p. 69.
- Ministerio del Ambiente. (2008). *Características climáticas*. Estación Científica San Carlos. Recuperado el 5 de agosto del 2018. Disponible en: <http://web.ambiente.gob.ec/?q=node/1267>
- Monteoliva, S. (2009). *La madera: propiedades y productos forestales*. Argentina.
- Naden, C. (2015). *Se está desarrollando una nueva norma para la trazabilidad de la madera de fuentes sostenibles*. Colombia.
- Nájera Luna, J., Vargas, A., Méndez González, J., & Graciano Luna, J. (2005). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera en Quercus laeta Liemb. de El Salto, Durango*. Ra Ximhai, 1(3), 559–576.

- Nebel, G. (2000). *Minquartia guianensis* Aubl.: uso, ecología y manejo en forestería y agroforestería. *Folia Amazónica*, 10(1–2), 201–223.
- Pérez, V. (1983). *Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas*. Santiago - Chile: Corporación Nacional Forestal. p. 451.
- Posada, C. C., Pineda, C. M., & Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. CAM. (2009). *Guía de Identificación de maderas aserradas del Departamento de Huila*. Huila- Colombia.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). *Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector clave forestal en el Ecuador*. Recuperado el 25 de julio del 2018. Disponible en: [http://www.undpcc.org/docs/National issues papers/Forestry \(adaptation\)/Ecuador_Sector_Forestry_MitAdapt_final.pdf](http://www.undpcc.org/docs/National_issues_papers/Forestry_(adaptation)/Ecuador_Sector_Forestry_MitAdapt_final.pdf)
- Rodríguez, A., Ramírez, A., Palacios, J., Fuentes, T., Silva G, & Saucedo, C. (2015). *Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (Prosopis velutina Wooton)*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28):156-173.
- Sleumer, H. O. (1984). *Flora neotropica, monograph Number 38, Olacaceae*. The New York Botanical Garden. New York.
- SolidWorks Corporation. (2009). *Introducción a las aplicaciones de análisis de movimiento con SolidWorks Motion*. Guía del instructor. EE.UU.
- Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). *Propiedades mecánicas de la madera*. Curso de Xilotecnología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Unasylva. (2000). *La Teca. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*. FAO. Roma, Italia. 51(201).
- Vásquez, Á., & Ramírez, A. (2011). *Anatomía e identificación de maderas. in anatomía e*

identificación de maderas. Loja -Ecuador. p. 70.

Vásquez, R. (1997). *Flórula de las reservas biológicas de Iquitos* - Perú. Missouri Botanical Garden Press/Volumen 63/Herbario Reinaldo Espinoza de la Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. p. 1046.

Vinueza, M. (2012). *Característcias delchuncho. Ficha Técnica N° 9: chuncho*. Recuperado el 23 de marzo del 2018. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/noticias-y-eventos/ficha-tecnica-no-9-chuncho/>

Winandy, J. (1994). *Wood properties*. USDA-Forest Service, Forest Products Laboratory. Encyclopédia of Agricultural. Science. Orlando, FL: Academic Press: 4;549-561.

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Resumen de resultados de propiedades químicas de las especies en estudio.

	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Masa (gr)	Volumen (cm)	CH %	Densidad gr/cm ³
<i>C. cateniformis</i>	39. 8187	35. 6456	39. 8187	93.12	11.7071	0.4276
<i>M. guianensis</i>	98. 4004	87. 8364	98. 4004	96.432	12.0269	1.0204

Anexo 2. Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra de las probetas de la especie *C. cateniformis*.

PROBETAS	ESFUERZOS ROTURA(kg/cm ²)	MODULOS DE YOUNG(Kg/cm ²)	ESTRICCION (%)	CARGA ROTURA(Kg f)	ESFUERZO MAXIMO(Kg/cm ²)	CARGA MAXIMA(Kg f)
P 1	250,751	24755,514	1,237	6810	265,480	7210
P 2	243,682	29710,922	1,555	6630	248,460	6760
P 3	254,040	24260,696	1,285	6656	260,147	6816
P 4	253,988	17804,804	1,432	6920	277,845	7570
P 5	286,609	20281,471	1,515	7386	295,689	7620,00
PROMEDIO	257,814	23362,681	1,377	6754,00	262,98	7089,00

Anexo 3. Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra de las probetas de la especie *M. guianensis*.

PROBETA	ESFUERZOS ROTURA(kg/cm ²)	MODULOS DE YOUNG(Kg/cm ²)	ESTRICCION (%)	CARGA ROTURA(Kgf)	ESFUERZO MAXIMO(Kg/cm ²)	CARGA MAXIMA(Kgf)
P1	614,537	61288,616	0,669	15455	451,509	11355
P2	660,325	69945,116	1,018	17174	660,325	17174
P 3	679,712	80775,732	0,843	16955	679,712	16955
P 4	690,791	105387,296	0,900	17685	690,791	17685
P 5	735,955	89473,125	1,328	18915	644,520	16565,00
PROMEDIO	676,264	81373,977	0,858	16817,25	620,58	15792,25

Anexo 4. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a la fibra de las probetas de la especie *C. cateniformis*

PROBETAS	CORTANTE	MODULOS DE	ESTRICCION	CARGA
	ROTURA(kg/cm ²)	CIZALLADURA(Kg/cm ²)	(%)	ROTURA(Kgf)
P 1	68,939	982,288	13,261	1758
P 2	114,921	2026,080	12,393	2630
P 3	84,049	1678,613	11,435	1985
P 4	82,546	1188,435	8,416	2249
P 5	84,011	1801,768	6,622	2165
PROMEDIO	86,893	1535,437	10,425	2155,50

Anexo 5. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a la fibra de las probetas de la especie *M. guianensis*.

PROBETAS	CORTANTE	MODULOS DE	ESTRICCION	CARGA
	ROTURA(kg/cm ²)	CIZALLADURA(Kg/cm ²)	(%)	ROTURA(Kgf)
P 1	489,290	15261,990	6,522	12280
P 2	402,897	9007,593	6,410	10479
P 3	373,688	11564,580	4,501	10486
P 4	402,858	14669,128	6,769	12890
P 5	367,111	6686,357	7,787	9645
PROMEDIO	407,169	11437,930	6,398	11533,75

Anexo 6. Resultados del ensayo de tracción de las probetas de la especie *C. cateniformis*

PROBETA	ESFUERZOS	MODULOS DE	ALARGAMIE	CARGA
	ROTURA(kg/cm ²)	YOUNG(Kg/cm ²)	NTO (%)	MÀXIMA(Kgf)
P 1	713,730	104817,087	0,772	505
P 2	713,136	115460,422	0,880	432
P 3	857,200	107296,849	0,863	595
P 4	721,088	105673,980	1,048	530
P 5	388,292	163089,550	0,238	260
PROMEDIO	751,289	119267,578	0,890	515,5

Anexo 7. Resultados del ensayo de tracción de las probetas de la especie *M. guianensis*.

PROBETA	ESFUERZOS ROTURA(kg/cm ²)	MODULOS DE YOUNG(Kg/cm ²)	ALARGAMIENTO (%)	CARGA MÀXIMA(Kgf)
P 1	1704,999	320499,179	0,687	1238
P 2	1689,238	350462,136	0,581	1238
P3	2224,490	326556,189	0,756	1635
P4	1695,802	294405,542	0,658	1135
P5	2101,806	325343,052	0,832	1600
PROMEDIO	1828,632	323453,220	0,670	1311,5

Anexo 8. Resultados del ensayo de flexión estática de las probetas de la especie *C. cateniformis*

PROBETAS	CARGA REAL FLEXION(Kgf)	ESFUERZO FLEXION(Kg/cm ²)	FLECHA REAL FLEXION(mm)
P 1	119	1071	-13,350
P 2	78	702	-11,050
P 3	92	828	-12,400
P 4	102	918	-12,900
P 5	110	990	-13,050
PROMEDIOS	100,2	901,8	-12,55

Anexo 9. Resultados del ensayo de flexión estática de las probetas de la especie *M. guianensis*.

PROBETAS	CARGA REAL FLEXION(Kgf)	ESFUERZO FLEXION(Kg/cm ²)	FLECHA REAL FLEXION(mm)
P 1	284	2556	-9,015
P 2	315	2835	-11,500
P 3	229	2061	-8,950
P 4	190	1710	-8,225
P 5	316	2844	-10,950
PROMEDIOS	266,8	2401,2	-9,728

Anexo 10. Análisis de varianza del parámetro cortante de rotura.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CORTANTE ROTURA	10	0,97	0,96	18,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8067394,54	1	8067394,54	239,12	<0,0001
Especie	8067394,54	1	8067394,54	239,12	<0,0001
Error	269905,69	8	33738,21		
Total	8337300,24	9			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=267,88667

Error: 33738,2116 gl: 8

Especie Medias n E.E.

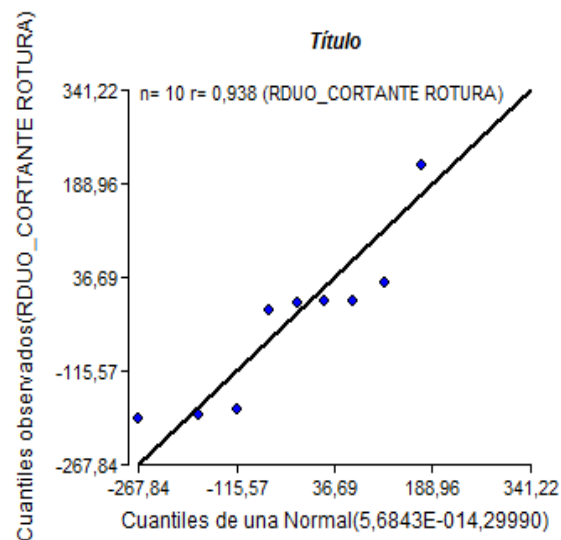
Chuncho 86,89 5 82,14 A

Guayacán 1883,27 5 82,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO CORTANTE ROTURA	10	0,00	173,17	0,87	0,1490



Las hipótesis que se someten a prueba son:

H0: los residuos tienen distribución normal versus H1: los residuos no tienen distribución normal.

En este caso no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p=0.1490$).

Anexo 11. Análisis de varianza del parámetro del módulo de cizalladura.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MODULOS DE CIZALLADURA	10	0,99	0,99	8,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	259077647106,60	1	259077647106,60	1298,69	<0,0001
Especie	259077647106,60	1	259077647106,60	1298,69	<0,0001
Error	1595933939,52	8	199491742,44		
Total	260673581046,12	9			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=20599,30370

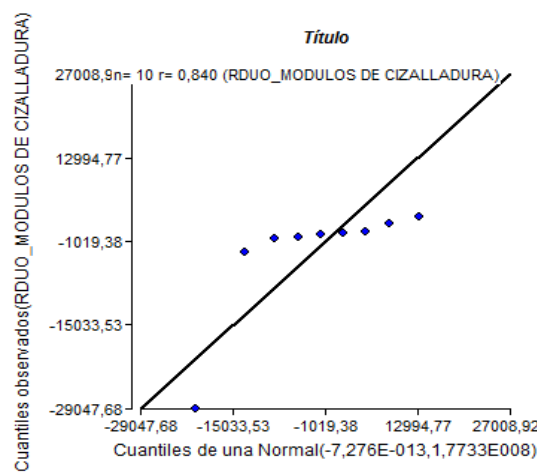
Error: 199491742,4400 gl: 8

Especie Medias n E.E.

Chuncho 1535,44 5 6316,51 A

Guayacán 323453,22 5 6316,51 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO MODULOS DE CIZALLADUR..	10	0,00	13316,38	0,81	0,0293

Las hipótesis que se someten a prueba son:

H0: los residuos tienen distribución normal versus H1: los residuos no tienen distribución normal.

En este caso no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p=0,0293$).

Anexo 12. Análisis de varianza del parámetro estricción.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ESTRICCION(%)	10	0,88	0,87	35,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	236,33	1	236,33	60,08	0,0001
Especie	236,33	1	236,33	60,08	0,0001
Error	31,47	8	3,93		
Total	267,80	9			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,89268

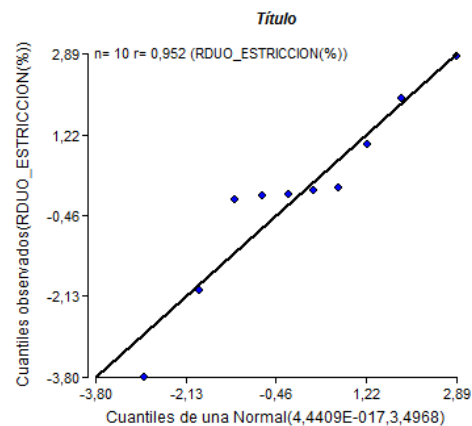
Error: 3,9339 gl: 8

Especie Medias n E.E.

Guayacán 0,70 5 0,89 A

Chuncho 10,43 5 0,89 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
ESTRICCION(%)	10	5,56	5,45	0,76	0,0030

Las hipótesis que se someten a prueba son:

H0: los residuos tienen distribución normal versus H1: los residuos no tienen distribución normal.

En este caso no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p=0,0030$).

Anexo 13. Análisis de varianza de carga de rotura.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CARGA ROTURA(Kgf)	10	0,71	0,67	15,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1553148,10	1	1553148,10	19,59	0,0022
Especie	1553148,10	1	1553148,10	19,59	0,0022
Error	634236,00	8	79279,50		
Total	2187384,10	9			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=410,64877

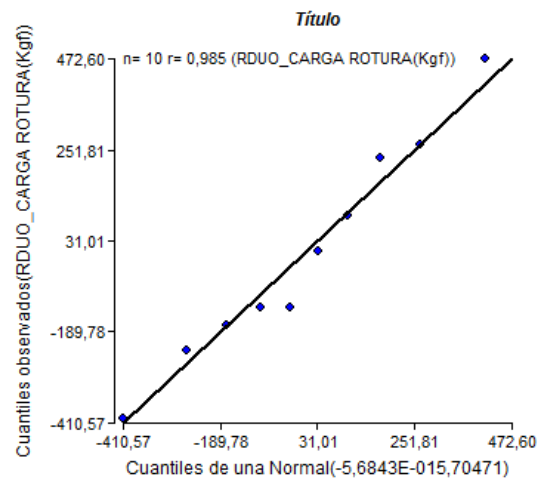
Error: 79279,5000 gl: 8

Especie Medias n E.E.

Guayacán 1369,20 5 125,92 A

Chuncho 2157,40 5 125,92 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Las hipótesis que se someten a prueba son:

H0: los residuos tienen distribución normal versus H1: los residuos no tienen distribución normal. En este caso no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p=0,8398$).

El p-valor de todas las variables analizadas muestra valores menores a 0,05 por lo que se acepta la hipótesis alternativa (H1) en la que señala que las especies forestales en estudio poseen por lo menos una característica diferente.



Anexo 14. Recolección de datos geográficos.



Anexo 15. Árbol de *Minquartia guianensis*



Anexo 16. Árbol de *Cedrelinga cateniformis*



Anexo 17. Seleccionando las piezas de madera.



Anexo 18. Elaboración de las probetas de madera de cada una de las especies en estudio



Anexo 19. Probetas de madera de *Cedrelinga cateniformis* y *Minquartia guianensis*.



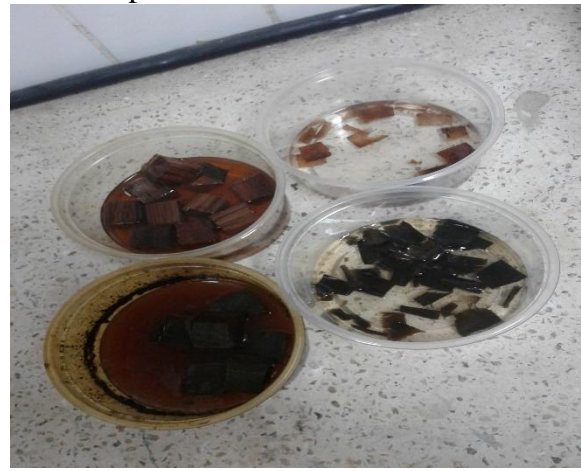
Anexo 20. Observación de características organolépticas



Anexo 21. Autoclavado de las prismas de madera para ablandamiento



Anexo 22. Corte de los prismas de madera con el micrótopo.



Anexo 23. Corte transversal de los cubos de madera.



Anexo 24. . Tinturación de las láminas de madera en estudio.



Anexo 25. Observación de las características microscópicas.



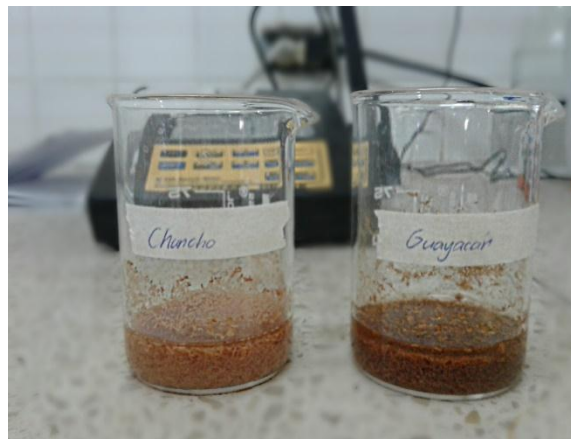
Anexo 26. Secado de la madera con la mufla.



Anexo 27. Medición del peso para porcentaje de humedad.



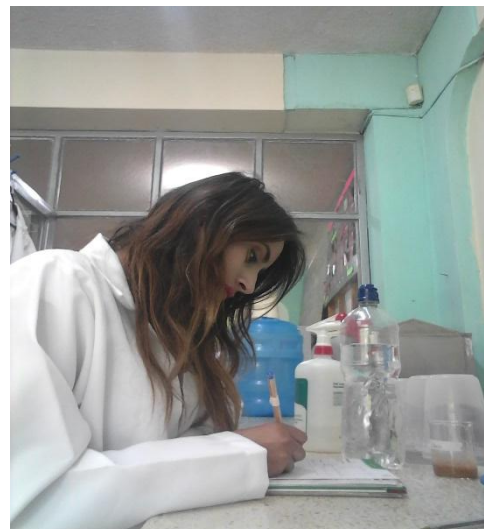
Anexo 28. Muestras para determinar el pH de la madera.



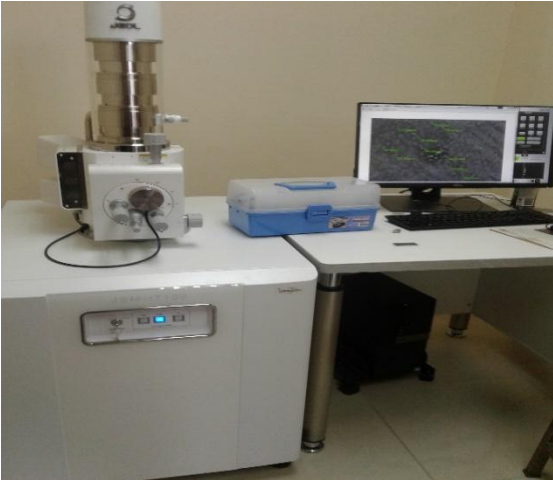
Anexo 29. Muestras para determinar el pH.



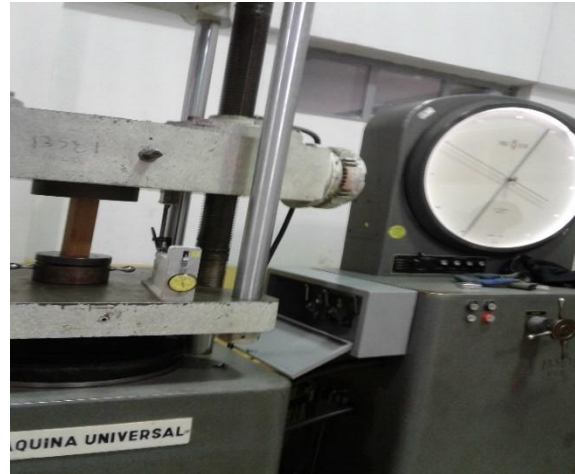
Anexo 30. Determinación del pH de las especies en estudio.



Anexo 31. Toma de datos para determinación del pH



Anexo 32. Microscópio electrónico



Anexo 33. Máquina universal.



Anexo 34. Medición de las probetas antes de realizar los ensayos mecánicos.



Anexo 35. Datos que brinda la maquina universal.



Anexo 36. Probetas para el ensayo de tracción.

Glosario

Altura comercial: distancia en el tronco de un árbol, desde el suelo hasta la primera bifurcación o hasta el lugar en el tronco donde se efectuará un corte para eliminar la parte superior del árbol que quedará en el bosque.

Altura de corte: distancia en el tronco de un árbol, desde el suelo hasta el punto en el cual se efectuará el corte para la tumba del árbol.

Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

Aprovechamiento forestal de madera: actividades antrópicas realizadas en un bosque nativo con el objetivo de cosechar los árboles y aprovechar su madera, en el marco de los principios generales del manejo forestal sustentable.

A.S.T.M.: Sociedad Americana de Prueba de Materiales –American Society of Testing and Materials.

Bosque nativo: ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. Para fines de las presentes normas, no se considera como bosque nativo a formaciones pioneras, y a aquellas formaciones boscosas cuya área basal, a la altura de 1,30 metros del suelo, es inferior al 40% del área basal de la formación boscosa nativa primaria correspondiente.

Bosque Nativo Severamente Intervenido: bosque nativo en el cual, por el efecto de intervenciones antrópicas o fenómenos naturales, se ha perdido entre el 40% y el 60% del área basal por hectárea, de la correspondiente formación boscosa nativa primaria.

Carga muerta: es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio.

Cobertura vegetal: elementos de la flora que se encuentran sobre un determinado sitio.

Diámetro a la altura del pecho (DAP): medida del diámetro de la circunferencia del tronco de un árbol a la altura de 1,30 metros del suelo.

Especie nativa: especie que se origina y crece naturalmente en un ecosistema.

Especies nativas introducidas a la región.- especies nativas del país que no existen en forma natural en la región geográfica en la cual están siendo cultivadas y por lo tanto no provienen de sus bosques nativos, por ejemplo, especies de la región amazónica cultivadas en el litoral o viceversa.

Intensidad de intervención: relación porcentual entre el área basal de los árboles a aprovechar más el área basal de los árboles a eliminar por corta, más el área basal de los árboles a eliminar por anillamiento, y el área basal de todos los árboles con DAP igual o superior a 30 centímetros, en una determinada superficie.

Manejo Forestal Sustentable: conjunto de acciones antrópicas y naturales, que conducen a un aprovechamiento económico de productos madereros y no madereros, fundamentado en la tasa de crecimiento y/o reposición anual de esos productos, que garantiza entre otros: la sostenibilidad de la producción, el mantenimiento de la cobertura boscosa, la conservación de la biodiversidad, y reducción de impactos ambientales y sociales negativos.

Módulo de Young: el módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. En muchos casos el módulo de elasticidad es constante durante la zona elástica del material, indicando un comportamiento lineal del mismo (ley de Hooke).

Momento de inercia: el momento de inercia de una masa puntual con respecto a un eje se define como el producto de la masa por la distancia perpendicular al eje elevada al cuadrado. Refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación.

Período de aprovechamiento: es el tiempo, en años, en el que se desarrollan las actividades de aprovechamiento maderero de un programa.

Propietario: persona que ostenta la tenencia, uso, goce y disposición de un bien, basándose

Rastrojo: áreas que habiendo estado bajo uso agropecuario y luego que han sido abandonas, se encuentran en rehabilitación y recuperación de la cobertura vegetal. Se caracteriza por la presencia de hierbas, arbustos y árboles, en cualquier grado de madurez. En todos los casos, el área basal, a 1,30 metros del suelo, es inferior al 40% del área basal de una formación boscosa nativa primaria correspondiente.

Resistencia a la rotura: Tensión soportada por la probeta en el momento de la rotura. Siempre que la probeta no sufra estricción, su valor es próximo al de la resistencia a la tracción. Una vez superada la resistencia a la tracción, la probeta se considera rota.

Sistema de aprovechamiento: actividades realizadas, en el marco de un programa de aprovechamiento o programa de corta, con el objetivo de cosechar los árboles, efectuar el arrastre y el transporte de la misma.