



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECANICAS DE LA MADERA DE *Hevea brasiliensis* PROCEDENTE DE LA HACIENDA SANTA RITA, PROVINCIA LOS RIOS.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR: JUAN MANUEL NUGSHI PILCO

DIRECTOR: Ing. EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTAÑEDA

RIOBAMBA – ECUADOR

2021

© 2021, **Juan Manuel Nugshi Pilco**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Juan Manuel Nugshi Pilco, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 11 de julio del 2021



Juan Manuel Nugshi Pilco
060582222-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **CHARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS, FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA DE *Hevea brasiliensis* PROCEDENTE DE LA HACIENDA SANTA RITA, PROVINCIA LOS RIOS.** , realizado por el señor: **JUAN MANUEL NUGSHI PILCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Miguel Ángel Gallpa Calva
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MIGUEL ANGEL
GUALLPA
CALVA



Firmado digitalmente
por MIGUEL ANGEL
GUALLPA CALVA
Fecha: 2021.07.14
20:51:35 -05'00'

8 de junio del 2021

Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda
DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN



Firmado electrónicamente por:
EDUARDO PATRICIO
SALAZAR CASTAÑEDA

8 de junio del 2021

Ing. Norma Ximena Lara Vásquez
MIEMBRO DE TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
NORMA XIMENA
LARA VASCONEZ

8 de junio del 2021

DEDICATORIA

A mis padres Antonio Nugshi e Isabel Pilco por estar siempre como pilar fundamental en el proceso de crianza, guía y enseñanza, por la paciencia y el tiempo dedicado hacia a mí, a mis hermanas por ser un gran apoyo moral. En general a toda mi familia los cuales se preocuparon siempre del bienestar de mi persona y formaron parte de este sueño hecho realidad. A los ingenieros Eduardo Salazar, Norma Lara y Demian Guerra , por la predisposición de su tiempo y los conocimientos impartidos de manera incondicional, por formar parte del proceso de mi trabajo de titulación.

Juan

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y protegerme a cada segundo de mi vida , a mis padres por ser el pilar fundamental en todo mi proceso de formación, por todo apoyo incondicional y sincero. A mis hermanas por sus sanos consejos y reflexiones, a mi familia por ser el motor de la lucha diaria.

Al Ingeniero Eduardo Salazar por presto a su ayuda incondicional e impartir sus conocimientos para que se haga realidad el sueño de culminar una etapa de formación académica, por estar en todo el proceso de la realización del trabajo de titulación.

A la Ingeniera Norma Lara por su aporte en proceso de revisión, de igual manera por impartir su conocimiento incondicional para la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Damián Guerra por la predisposición y abrirme las puertas de su empresa , siendo así la persona que hizo realidad el sueño de desarrollar el presente trabajo, por su impartir su conocimiento de manera incondicional y ser el guía en la primera fase de mi trabajo de titulación.

A todos mis amigos y compañeros de clase, los cuales fueros una guía durante toda mi carrera universitaria, así como también el tiempo compartido y los recuerdos y anécdotas vividas.

Juan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
IMPORTANCIA	2
PROBLEMATICA	3
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
General	4
Específicos	4
HIPÓTESIS	5
Hipótesis nula	5
Hipótesis alternante	5
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1. Madera	6
1.1.1. <i>Recurso forestal maderero</i>	6
1.2. La especie <i>Hevea brasiliensis</i> en el Ecuador	7
1.3. Características de la madera de	8
1.4. Taxonomía.	10
1.5. Propiedades químicas de la madera	10

1.5.1.	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	11
1.6.	Propiedades físicas de la madera	12
1.6.1.	<i>Contenido de Humedad</i>	12
1.6.2.	<i>Densidad</i>	13
1.6.3.	<i>Peso Específico</i>	14
1.7.	Propiedades mecánicas de la madera	16
1.7.1.	<i>Flexión Estática</i>	16
1.7.2.	<i>Compresión</i>	18

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	22
2.1.	Caracterización del lugar	22
2.1.1.	<i>Localización y área de estudio</i>	22
2.1.2.	<i>Condiciones climáticas</i>	22
2.2.	Materiales y equipos	23
2.2.1.	<i>Materiales de campo</i>	23
2.2.2.	<i>Materiales para el herbario</i>	23
2.2.3.	<i>Materiales y equipos del laboratorio de Ciencias Biológicas</i>	24
2.2.4.	<i>Materiales y equipos del laboratorio de Ciencias Químicas</i>	24
2.2.5.	<i>Materiales y equipos del laboratorio de Resistencia de Materiales</i>	24
2.3.	Metodología	25
2.3.1.	<i>Georreferenciación del lugar de investigación</i>	25
2.3.2.	<i>Selección y georreferenciación de la especie <i>Hevea brasiliensis</i>.</i>	25
2.3.3.	<i>Apeo de los árboles</i>	26
2.3.4.	<i>Recolección de las muestras dendrológicas.</i>	26
2.3.5.	<i>Preparación de las trozas y transporte</i>	27
2.3.6.	<i>Identificación de la especie</i>	28

2.3.7.	<i>Preparación de probetas.</i>	29
2.4.	Propiedades químicas de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i>.	31
2.4.1.	<i>Determinación de pH</i>	31
2.5.	Propiedades físicas de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i>.	32
2.5.1.	<i>Contenido de Humedad:</i>	32
2.5.2.	<i>Densidad</i>	33
2.5.3.	<i>Peso Específico:</i>	33
2.6.	Propiedades mecánicas de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i>	34
2.6.1.	<i>Pruebas de flexión estática</i>	34
2.6.2.	<i>Pruebas de compresión paralela y perpendicular</i>	35

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADO Y DISCUSIÓN	37
3.1.	Para el cumplimiento del primer objetivo: Determinar el pH de madera de <i>Hevea brasiliensis</i> de diferentes muestras recolectadas de la hacienda Santa Rita	37
3.2.	Para el cumplimiento del segundo objetivo: Evaluar el contenido de humedad, densidad y peso específico de las muestras de <i>Hevea brasilienses</i> de la hacienda Santa Rita	38
3.2.1.	<i>Contenido de Humedad</i>	38
3.2.2.	<i>Densidad</i>	40
3.2.2.1.	<i>Densidad en estado verde</i>	40
3.2.2.2.	<i>Densidad seca al horno</i>	41
3.2.2.3.	<i>Densidad básica</i>	43
3.2.3.	<i>Peso específico</i>	45
3.2.3.1.	<i>Peso especificó en estado verde</i>	45
3.2.3.2.	<i>Peso específico seco al horno</i>	46
3.2.3.3.	<i>Peso específico básico</i>	48

3.3. Para el cumplimiento de tercer objetivo: Analizar el comportamiento de la madera de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> frente a los esfuerzos de compresión y flexión.	50
3.3.1. Flexión estática.	50
3.3.2. Compresión paralela a la fibra	57
3.3.3. Compresión perpendicular a la fibra.	63
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación según los valores de dureza de la madera. -----	19
Tabla 2-1:	Clasificación según los valores de esfuerzo a la compresión paralela.-----	20
Tabla 3-1:	Clasificación según los valores de esfuerzo a la compresión perpendicular-----	21
Tabla 1-2:	Características de los árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> -----	26
Tabla 2-2:	Codificación de las trozas y rodelas de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	27
Tabla 3-2:	Codificación de las secciones con sus respectivas probetas -----	30
Tabla 4-2:	Dimensiones de las probetas de acuerdo al tipo de propiedades a utilizar -----	30
Tabla 1-3:	pH de la madera en estado verde-----	37
Tabla 2-3:	Porcentaje de humedad dadas por secciones y números de árboles -----	38
Tabla 3-3:	Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	40
Tabla 4-3:	Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> -----	41
Tabla 5-3:	Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> -----	43
Tabla 6-3:	Representación del promedio del peso específico en estado verde para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	45
Tabla 7-3:	Representación del promedio del peso específico seco al horno para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	47
Tabla 8-3:	Representación del promedio del peso específico básico para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> -----	48
Tabla 9-3:	Valores promedios obtenidos de la flexión estática del árbol 1.-----	51
Tabla 10-3:	Promedios totales obtenidos de la flexión estática del árbol 2.-----	53
Tabla 11-3:	Promedios totales obtenidos de la flexión estática del árbol 3.-----	56
Tabla 12-3:	Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 1. ----	58
Tabla 13-3:	Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 2. ----	60
Tabla 14-3:	Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 3. ----	63

Tabla 15-3: Promedios obtenidos de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 1.-----	65
Tabla 16-3: Promedios totales de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 2. -----	67
Tabla 17-3: Promedios totales de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 3. -----	69
Tabla 18-3: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de las diferentes especies comerciales y de mayor utilidad con respecto a la madera de la especie <i>Hevea brasiliensis</i> en Ecuador-----	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Promedio total del contenido de humedad para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> . -----	39
Gráfico 2-3: Promedio total de la densidad en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> . -----	41
Gráfico 3-3: Promedio total de la densidad seca al horno representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	42
Gráfico 4-3: Promedio total de la densidad seca al horno representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	44
Gráfico 5-3: Promedio total del peso específico en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> .-----	46
Gráfico 6-3: Promedio total del peso específico en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> . -----	47
Gráfico 7-3: Promedio total del peso específico básico representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de <i>Hevea brasiliensis</i> . -----	49
Gráfico 8-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática de las diferentes secciones del árbol 1.-----	50
Gráfico 9-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 1.-----	51
Gráfico 10-3: Representación de la Fuerza vs Deformación de las secciones del árbol 2.-----	52
Gráfico 11-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 2.-----	53
Gráfico 12-3: Representación de la Fuerza vs Deformación de las secciones del árbol 3-----	54
Gráfico 13-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 3.-----	55
Gráfico 14-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 1.-----	57
Gráfico 15-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 1. -----	58

Gráfico 16-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 2.-----	59
Gráfico 17-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 2. -----	60
Gráfico 18-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 3.-----	61
Gráfico 19-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 3. -----	62
Gráfico 20-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 1. -----	64
Gráfico 21-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 1.-----	65
Gráfico 22-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 2. -----	66
Gráfico 23-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 2.-----	60
Gráfico 24-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 3. -----	68
Gráfico 25-3: Representación de los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 3.-----	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Escala de pH -----	11
Figura 2-1:	Dinámica del esfuerzo a compresión de un cuerpo -----	18
Figura 3-1:	Dinámica de la compresión paralela.-----	19
Figura 4-1:	Dinámica de la compresión perpendicular.-----	21
Figura 1-2:	Mapa de la hacienda Santa Rita-----	22
Figura 2-2:	Esquema de trozados tomado de las (Normas ISO 4471-1982)-----	29

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Plano del lote 1 y lote 2 de la hacienda Santa Rita.
- ANEXO B.** Identificación de la especie *Hebea brasiliensis*
- ANEXO C.** Selección de los árboles y apeo de la misma de la especie *Hevea brasiliensis*.
- ANEXO D.** Toma de datos, altura, diámetro y recolección de muestras
- ANEXO E.** Etiquetado de trozas
- ANEXO F.** Preparación de trozas y codificación.
- ANEXO G.** Determinación de pH
- ANEXO H.** Determinación de propiedades físicas
- ANEXO I.** Determinación de la flexión estática
- ANEXO J.** Determinación de la compresión perpendicular a la fibra.
- ANEXO K.** Determinación de la compresión paralela a la fibra.

RESUMEN

La investigación propone caracterizar las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Hevea brasiliensis* procedente de la hacienda Santa Rita, provincia de los Ríos, de tres árboles y nueve secciones a estudiar. Los ensayos se realizaron bajo procedimientos técnicos, con la aplicación de diversas normas y la utilización de varios laboratorios perteneciente a la escuela superior politécnica de Chimborazo. Una vez evaluada un total de setenta y dos probetas para las diferentes propiedades se pudo comprobar mediante el uso de una estadística descriptiva que la diferencia entre secciones es visible para las pruebas, en cuanto al número de árboles no se encontraron diferencias. Para las propiedades químicas se determinó el pH de la madera en estado verde obteniendo un pH de 6,89 considerándolo ligeramente ácido. Para las propiedades físicas de la madera, se determinó el contenido de humedad presentando valores de 48,6 % y una densidad básica de 457,82 Kg/m³, en cuanto al peso específico la especie presentó valores similares a la densidad con la diferencia del cambio en las unidades de medida. En cuanto a las propiedades mecánicas presentó una flexibilidad media, por otra parte la compresión paralela y perpendicular presentó una resistencia a compresión media tanto de manera paralela como perpendicular a la fibra, relacionando de esta manera con las siguientes especies *Virola spp.*, *Jacaranda spp.* y *Pinus sylvestris*, las cuales presentan propiedades mecánicas similares, en cuanto a las especies con un mayor valor comerciales se asemeja a la *Cordia alliodora* tanto en su flexibilidad como en su resistencia a compresión. De esta manera se concluye que la información generada contribuye de gran manera a las industrias para mejorar la utilización de la especie estudiada

Palabras claves : <RECURSO FORESTAL>, <CAUCHO (*Hevea brasiliensis*)>, <PROPIEDADES QUÍMICAS>, <PROPIEDADES FÍSICAS>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, o=ROGABAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.07.14 21:14:37
-05'00'



1381-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

This research aimed to characterize the chemical, physical and mechanical properties of *Hevea brasiliensis* wood from the Santa Rita farm, Los Ríos province, from three trees and nine studied sections. The tests were carried out under technical procedures, with the application of various standards and the use of several laboratories belonging to the Higher Polytechnic School of Chimborazo. Once a total of seventy-two probes had been verified for the different properties, it was possible to verify the use of descriptive statistics by means of which the difference between sections was visible for the tests, in terms of the number of trees, no differences were found. For the chemical properties, the pH of the wood was determined in the green state, obtaining a pH of 6.89 considered slightly acidic. For the physical properties of the wood, the moisture content was determined presenting values of 48.6% and a basic density of 457.82 Kg/m³. In terms of the specific weight, the species presented values similar to the density with the difference of the change in the units of measure. Regarding the mechanical properties. It presented a medium flexibility, on the other hand, the parallel and perpendicular compression presented a medium compression resistance both parallel and perpendicular to the fiber, thus relating to the following species *Virola spp.*, *Jacaranda spp.*, and *Pinus sylvestris*, which have similar mechanical properties. In terms of species with a higher commercial value, it resembled *Cordia alliodora* both in its flexibility and in its resistance to compression. In this way, it was concluded that the information generated contributed greatly to the industries to improve the use of the species studied.

Keywords: <FOREST RESOURCE>, <RUBBER (*Hevea brasiliensis*)>, <CHEMICAL PROPERTIES>, <PHYSICAL PROPERTIES>, <MECHANICAL PROPERTIES>

Riobamba, July 20, 2021

Translated by:



Firmado digitalmente por
DENNY V. LOPEZ
TENELANDA LOPEZ
Fecha: 2021.07.20 23:45:10
+02'00'

Mgs. Dennys Tenelanda López

PROFESSOR OF EFL

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la economía mundial atraviesa una de las etapas de cambio más notorio en las últimas décadas y en donde las empresas e industrias deben ser más competitivas y presentar nuevas innovaciones de manera constante, es por ello que la industria forestal como tal, también ha presentado estos nuevos cambios y por este motivo busca constantemente investigaciones e información acerca de nuevos productos, las en un futuro serán la base para su desarrollo.

Por otra parte, se dice que las plantaciones forestales constituyen un porcentaje activo de recursos maderables en diferentes países, sean esta nativa o exóticas, que engloba una amplia gama de fines o usos, lo que genera un vacío de información en cuanto a posibilidades de suplir la demanda de producto forestal en el País.

En la caracterización de las diferentes propiedades tanto químicas físicas como mecánicas de una especie de madera se puede obtener información apreciada para la industria primaria y secundaria en donde permita definir sus mercados más potenciales. Del mismo modo en lo que respecta a la madera de distintas especies forestales se menciona que deben presentar características distintas de acuerdo con la calidad de sitio , así como también la silvicultura aplicada y el buen manejo que se le brinde a la plantación forestal. Por otra parte, se dice que dentro de una misma especie de árbol las propiedades de su madera pueden cambiar de manera significativa las diferentes secciones que presente dicha especie.

En este sentido, la situación para la industria forestal de Ecuador es muy compleja, ya que los precios de explotación, transporte y aserrío están muy sobre el límite de los estándares internacionales y para ello se busca solucionar y aportar de varias formas en el campo de la investigación con relación a este tema.

La especie *Hevea brasiliensis* o comúnmente llamado caucho en varias regiones, es originario de América y durante muchos años no paso de ser un material que presenta usos limitados y a la misma vez apetecida por las industrias de la transformación del caucho. Sin embargo, varias colonias a finales del siglo pasado extrajeron sinnúmero de muestras botánicas para su estudio

sobre la fisiología y la anatomía de la madera de dicha especie, aportando de esta forma la utilización de la madera en otros usos y dándole un plus al valor de esta especie.

Según Chuquimamani et al., (2018), menciona que actualmente Asia es el mayor proveedor y productor de caucho natural a la misma vez satisface la demanda del mercado local como el mercado externo de esta forma el consumo y utilización tanto de la madera como el látex de *Hevea brasiliensis* se ha incrementado en gran medida.

Una vez conocida su limitada utilización, se ha planteado varias soluciones para satisfacer las deficiencias de madera y una de las más relevantes es la creación de plantaciones comerciales, por lo que se propone en esta investigación, el empleo y transformación de una madera proveniente de plantaciones forestales comerciales de *Hevea brasiliensis*, ya que una vez que cumple su ciclo de producción de látex, en muchas plantaciones también termina su ingreso económico con respecto a este rubro, es así que una vez analizada varias de sus propiedades se puede mencionar que la madera de esta especie es de características aceptables y del mismo modo su bajo costo en lo que respecta a la madera aserrada.

Así también se menciona que su madera presenta diversas alternativas de utilización para producir productos secundarios, como pisos, cajas, molduras, y en muchas veces hasta pallets de la misma forma contribuye con un aumento en la economía del propietario y a su vez del país.

IMPORTANCIA

Para el Ecuador, hoy en día el estudio dendrológico y anatómico de la madera es de suma importancia, para lograr una industrialización y comercialización a nivel nacional e internacional de las especies forestales comerciales que posee nuestro país. Además, una vez adquirido el conocimiento de las características dendrológicas y anatómicas de la madera nos permite saber aspectos generales sobre las especies forestales como la taxonomía, nicho ecológico y lo más importante la tecnología de la madera.

La producción, aprovechamiento e industrialización forestal es el núcleo básico de la profesión forestal, que pese al avance en la formación de recursos humanos, no es suficiente y requiere del impulso del Estado, así también de los sectores productivos para desarrollar la forestación como una actividad productiva a través de los programas de forestación y reforestación, pero con objetivos claros, cultivos tecnificados y un óptimo aprovechamiento, sin embargo dicha actividad a perdido relatividad en la aplicación profesional debido a factores externos como: cambio en la política estatal, la falta de apoyo de parte del gobierno central y el poco interés de parte de las industrias en permitir que se realicen convenio mutuo de trabajo con la academia para el sector forestal, la eliminación de los programas estatales de reforestación, así como el fomento del manejo y aprovechamiento adecuado de bosques y plantaciones forestales en general.

PROBLEMATICA

En los últimos años el desarrollo de la industria forestal en nuestro país se encuentra en un gran auge por ello múltiples empresas han optado por implementar nuevas líneas de producción, incrementando así la utilización de diferentes especies.

Uno de los problemas más notorios dentro del campo forestal y para ser más preciso dentro del campo del manejo, aprovechamiento y usos de las especies forestales y sus derivados es la falta de investigaciones acerca de ciertas características tanto dendrológicas, físicas, químicas y mecánicas los cuales son muy útiles a la hora de trabajar con las diferentes especies. En este aspecto se ha tomado en cuenta a la especie *Hevea brasiliensis* en la cual se pretende realizar un estudio a las propiedades que presenta y permitir de esta manera reducir el desperdicio de la materia prima que se extrae de dicha especie que podría ser utilizada en diferentes transformaciones tanto en la carpintería como en la industrialización de la misma.

JUSTIFICACIÓN

Ecuador presenta una deficiencia de información y estudios acerca de la caracterización de la madera, por este motivo muchas empresas e industrias forestales no pueden darle el valor agregado al producto y sus derivados de la misma manera en ocasiones no pueden realizar un correcto aprovechamiento de la variedad de especies forestales que existe dentro de nuestro país.

Por otra parte, la aplicación de la madera en la industria forestal actualmente es de vital importancia, sin embargo, para poder proporcionarle un buen uso es necesario conocer sus diferentes características y propiedades, para su correcta utilización

La hacienda Santa Rita presenta una gran variedad de plantaciones de *Hevea brasiliensis* por lo que muchos años se benefició del producto no maderero que extraían de la misma como es la goma o el látex que emanaba este árbol, pero en la actualidad dicha plantación está en una etapa de aprovechamiento de su madera y por este motivo se ha visto la necesidad de realizar la mayor cantidad de estudios acerca de la propiedades químicas, físicas y mecánicas de esta especies para poder darle un mayor valor a la madera y a la misma vez darle un nuevo uso a dicha madera.

Por este motivo se ha visto en la necesidad de vincularse a la empresa y plantear el tema de la caracterización de las propiedades de la madera de la especie de *Hevea brasiliensis*, con esto se pretende aportar a la industrialización y transformación de la madera.

OBJETIVOS

General

- Caracterizar las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Hevea brasiliensis* procedente de la hacienda Santa Rita, provincia de los Ríos.

Específicos

- Determinar el pH de madera de *Hevea brasiliensis* de diferentes muestras recolectadas de la hacienda Santa Rita.
- Evaluar el contenido de humedad, densidad y peso específico de las muestras de *Hevea brasilienses* de la hacienda Santa Rita
- Analizar el comportamiento de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* frente a los esfuerzos de compresión y flexión.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

- Las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Hevea brasiliensis* es viable para la utilización en diversos productos.

Hipótesis alternante

- Las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Hevea brasiliensis* no es viable para la utilización en diversos productos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Madera

1.1.1. Recurso forestal maderero

El recurso forestal maderero compete a todos los recursos provenientes de bosques y de plantaciones comerciales el cual cumple la función de abastecer la necesidad del producto forestal maderero dentro del país ya sea esta de manera directa o indirecta, además proporciona una amplia gama de insumos para su transformación y producción y a la misma vez dinamiza la economía del país.

En la actualidad el mercado ecuatoriano presenta una sobre demanda de productos maderables y por la cual se considera como un mercado nacional relativamente pequeño en relación al consumo mundial. Por otra parte, la crisis económica en los últimos años ha presentado un papel muy fundamental en la economía nacional y mundial presentando los altos precios y la falta de cultura en la utilización del recurso maderable, los cuales son los principales factores responsables por el bajo consumo doméstico de productos de madera (ECUADORFORESTAL, 2020) .

Sánchez, et al. (2020: p. 1) señala que según el que el Ecuador registró 180.000 ha de plantaciones forestales comerciales en 2019, lo que equivale a una masa aproximada de 180 millones de árboles plantados. El 65% de las plantaciones forestales comerciales estuvieron en Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, además, 160.000 ha del total fueron cultivadas con pino, teca, eucalipto, melina y balsa.

La producción de los recursos forestales madereros en la subregión amazónica presenta tasas de crecimiento superiores a los niveles promedios mundiales. El mismo autor señala que en base a las tendencias observadas y a los análisis realizados se pueden determinar las siguientes premisas para 2020, con miras a las proyecciones de la producción maderera en la subregión (García, 2020).

El mismo autor señala que la producción de madera aserrada tanto latifoliadas y coníferas presentes en la subregión un crecimiento del 1,7 % anual. En este mismo aspecto se considera aisladamente la producción de madera aserrada tales como las coníferas ya que esta tasa fue más acentuada, es decir alrededor del 5% de manera anual la cual fue impulsada principalmente por Brasil. Considerando esos aspectos, se espera que la producción en la subregión se incremente aún más y se estima que las tasas de crecimiento globales para este producto sean de aproximadamente el 2% anual, teniendo en cuenta todas las especies. (García, 2020).

Por otra parte, dicha expectativa está vinculada a la dificultad en la obtención de madera latifoliadas en trozas, debido a ciertos aspectos reglamentarios y ambientales. Del mismo modo uno de los factores importante, que determinará ese desempeño es la falta de competitividad de la industria, en lo que respecta a la madera tropical y la fuerte penetración de la madera aserrada de eucalipto, este último particularmente en de las regiones de Brasil. Sin embargo, para la madera aserrada de pino se esperan crecimientos sobre el 3,5 % anual hasta el año 2020 (García, 2020).

Por último, García (2020) menciona que los tableros de madera presento un crecimiento promedio en su producción en la subregión del 4% de manera anual en los 20 años, presentando así un fuerte desempeño de esta industria. Por otra parte, se esperan nuevos crecimientos de la producción en lo que respecta a los productos forestales para 2020 y las tasas previstas deberán ser similares a las registradas en los últimos años.

1.2. La especie *Hevea brasiliensis* en el Ecuador

En el Ecuador existen un estimado de 5988 hectáreas de caucho (*Hevea brasiliensis*) cultivadas, tanto en desarrollo como en producción, están distribuidas en las provincias de Pichincha, Esmeraldas, Santo Domingo de Los Tshachilas, Los Ríos, Cotopaxi y Guayas (Zamora, et al. 2012).

El mismo autor resalta que al cultivar caucho, ha sido un medio de diversificación y reforestación usado en la costa ecuatoriana, es un cultivo noble pues contribuye a generar trabajo, ayuda al medio ambiente y por ende genera recursos económicos a nuestro país.

La especie *Hevea brasiliensis* como materia prima es deficitario en Ecuador y algunos países Latinoamericanos, de igual manera en el mundo cada vez se incrementa el consumo, siendo atractivo para los agricultores cultivarlo (Zamora, et al., 2012).

En la presente investigación se pretende actualizar toda la información de la situación real del caucho en nuestro país, esta será una guía para los productores y la industria nacional. Con esta información se puede proyectar metas reales a corto, mediano y largo plazo en cuanto se establecen nuevas plantaciones y determinar los volúmenes de producción disponibles.

1.3. Características de la madera de *Hevea brasiliensis*

Para Maderame (S.F) el árbol de la especie *Hevea brasiliensis*, tiene como principal uso comercial o industrial la producción de látex, esto como producto primario, de este modo se menciona que una vez que la producción de este material se reduce la edad de 25 años aproximadamente, pasa a un proceso de tala para la obtención de su madera.

El mismo autor señala que no es frecuente la comercialización de esta madera en nuestro país , pero en las últimas décadas ha tomado un gran auge y una demanda más progresiva de la madera de esta especie por diferentes industrias y a la misma vez por las carpinterías la cual lo utiliza en elaboración de utensilios de madera diseñados con dicha especie (Maderame, S.F).

En cuanto al precio de la madera de caucho se refiere se puede mencionar que cuyo valor es bajo, pero se debe tener en cuenta que se trata de un subproducto, ya que el objetivo principal es la obtención de látex, inicialmente la madera esta especie se utilizaba como leña en varias regiones de diferentes países (Maderame, S.F).

Según (Killmann et al., 2017) mencionan que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* en condiciones verdes presenta un color blanquecino cremoso, así como un tinte ligeramente rosáceo, el mismo autor menciona que la fibra de dicha especie es bastante recta la cual tiende a amarillear tras el secado. Con lo que respecta al duramen y la albura no presentan diferencias notables y señala que la albura y el duramen son significativamente iguales.

En lo que respecta a los poros de la madera de dicha especie son medianamente grandes y presenta una dispersión notable y se presentan de manera radial como tangencial en forma de líneas marrones, con lo que respecta a las prácticas de extracción de látex de manera inadecuadas por parte del operador se ver interrumpida el color cremoso homogéneo, es decir que si el operario que realiza el corte atraviesa accidentalmente el cambium, se pueden introducir los sedimentos y hongos, ocasionando de esta manera una mancha de color negro en los diferentes anillos de crecimiento ocasionando así una mala formación en la madera (Killmann et al., 2017: p.7).

La densidad de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* secada al aire libre varía de 560 kg/m³ a 650 kg/m³ respectivamente, esto dependiendo la variación de los diferentes clones, la edad del árbol, la estación y el manejo de la plantación. En lo que respecta al contenido de humedad Killmann, et al., (2017: p.7), menciona que la madera de dicha especie en estado verde presenta un contenido de humedad que varía del 60% a 80%.

Para el secado de la madera de dicha especie puede presentar defectos como una curvatura, resquebrajamiento, arqueado y la interrupción de la actividad vegetativa, particularmente en el duramen del centro del tronco, el mismo autor también menciona que muchas veces se puede observar una decoloración de aspecto marrón en la madera tras el secado en la estufa (Killmann, et al., 2017: p.7).

Según Killmann, et al. (2017: p.7) señala que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* presenta buenas cualidades en lo que respecta al proceso del labrado, torneado, clavado, aserrado, taladrado y encolado. El mismo autor señala que el látex que permanece en la madera muchas veces puede obstruir los dientes de la sierra presentando de esta manera una gran desventaja a la hora de realizar el apeo de la madera de dicha especie, es por esto que se recomienda limpiar frecuentemente los dientes de la sierra.

Por otra parte, se menciona que la especie *Hevea barasiliensis* presenta una facilidad en cuanto a su moldeo de dicha madera a una velocidad de alimentación superior a 20 m/minuto, así también se lo utiliza a menudo en ensambladuras para conseguir dimensiones más grandes, también se puede señalar que la madera presenta unos buenos resultados a la hora de realizar un curvado en vapor (Killmann, et al., 2017: p.7).

En cuanto al lijado de la madera se menciona que presenta buenos acabados con una facilidad en lo que respecta a teñido su madera, comparándolo así con la presencia de sus propiedades a las de la madera de nogal, cerezo, roble y otras maderas para la utilización y fabricación de muebles, así como en la utilización en ebanistería (Killmann, et al., 2017: p.7).

1.4. Taxonomía.

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Malpighiales
- **Familia:** Euphorbiaceae
- **Subfamilia:** Crotonoideae
- **Tribu:** Micrandreae
- **Género:** Hevea
- **Especie:** *Hevea brasiliensis*
- **Nombre común:** Brasil: Seringueira, seringa, árvore da borracha, caucho, hule, jebe, hevea ; Ecuador: Árbol de caucho; Venezuela : Árbol de caucho: Perú : Capi, Jeve, Shiringa.
- **Origen:** Es originario de la cuenca amazónica en América del sur
- **Forma Biológica:** Árbol desde 20 hasta 25 m , con un diámetro normal que puede llegar a 75 cm
- **Fenología:** Hojas: perennifolio; Flores: florece entre los meses de enero a marzo; Frutos: fructifica de mayo a septiembre en su lugar de origen .

Fuente: Extraída de (Taxonomía, 2018)

1.5. Propiedades químicas de la madera

La formación de la madera está representada por elementos químicos tales como el carbono, hidrógeno y oxígeno, por otra parte, las cantidades pequeñas de nitrógeno también están presentes como un componente muy fundamental en el desarrollo de la madera. El análisis químico de un sin número de especies forestales muestra la proporción de los elementos, tanto en porcentaje como en peso de la madera (Freire, 2020: p.8).

En cuanto a la composición química depende múltiples factores tales como: la diferencia de especies, la edad, las diferentes secciones del árbol, época del año, así como también sus condiciones y localización del lugar. Por otra parte, Aguiñaga et al., (2019) mencionan que la madera de dicha especie se expresa básicamente en el contenido de extractivos tales como la ceniza, lignina y micro elementos.

1.5.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

Dentro de las propiedades químicas de la madera el valor de pH es una característica que tiene influencia en varios campos de su aprovechamiento, 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, barnices y en el fraguado de colas y adhesivos como es el caso de la urea-formaldehído; ya sea en madera sólida o en forma de partículas para la producción de tableros (Freire, 2020: p.8).

El pH indica la acidez o alcalinidad de una sustancia, también puede estar representado en varias cosas a la vez, Sandoval (2017) menciona que en realidad es una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno.

El mismo autor señala que las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. La escala de pH es logarítmica, por lo que cada cambio de la unidad del pH en realidad representa un cambio de diez veces en la acidez. En otras palabras, pH 6.0 es diez veces más ácido que el pH 7.0; pH 5 es cien veces más ácido que el pH 7.0. En general, un agua con un $\text{pH} < 7$ se considera ácido y con un $\text{pH} > 7$ se considera básica o alcalina (Sandoval, 2017).



Figura 1-1: Escala de pH

Fuente: extraída de (Sandoval, 2017)

1.6. Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que permiten evaluar y determinar el comportamiento de múltiples factores que están asociados en el ambiente de una manera normal, y que no modifiquen de ninguna manera las estructuras químicas de la madera y esto a su vez se los consideran de mayor importancia, porque sus valores se usan como índices para evaluar e indicar si las características o calidad de la madera son necesarias para cualquier tipo de usos (Freire, 2020: pp. 9-10).

1.6.1. Contenido de Humedad

Para Granda, et al. (2016: p. 19) el contenido de humedad de la madera se define como la masa de agua presente en la madera expresada como porcentaje en peso y que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra y es conseguido mediante el uso de un horno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, llamándolo de esta manera como peso seco al horno.

Para Freire (2020: p. 10) el contenido de humedad define las diferentes propiedades de resistencia, así como también su poder calorífico y la resistencia a ciertos agentes biológicos. En cuanto a la variación de humedad el autor menciona que se da lugar a cambios de volumen de la madera, lo cual influye en los procesos de secado, impregnación y aserrado de la madera así también el contenido de humedad de la madera cambia de acuerdo a las variaciones en las condiciones atmosféricas que la rodean, y por la cual influye en el peso de la madera a la vez que afecta a otras propiedades físicas, como el peso específico y contracción volumétrica el cual es un factor determinante en lo que corresponde a la resistencia y durabilidad de la madera (Freire, 2020: p. 10).

Para la determinación del siguiente enunciado se aplicará la fórmula que se detalle a continuación.

$$C.H = \frac{p_i - p_f}{p_f} \times 100$$

Fuente : Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

C.H = Contenido de humedad expresado en (%)

pi = Valor del peso inicial

pf = Valor del peso seco al horno o peso final

1.6.2. Densidad

Según GreenFacts (2020), menciona que la densidad es la relación entre el peso representado por la masa de una sustancia y el volumen que ocupa esa misma sustancia, de la misma manera las unidades de masa más comúnmente utilizadas están kg/m³ o g/cm³ para los sólidos, y kg/l o g/ml para los líquidos y los gases. Por otra parte, cuando se hace referencia a la densidad de una sustancia, se detalla su peso en relación a su tamaño y se lo considera como una de las características físicas más importantes ya que está relacionadas directamente con las propiedades, físicas y mecánicas de la madera el cual determina la calidad de la misma.

Freire (2020: p.10) citado de Poblette et al., (2010), señala que la densidad de la madera es uno de los factores más importantes en la transformación de la misma aun cuando no existe una variable que en forma aislada permita definir a una especie como apropiada para ciertos usos, la densidad de la madera es considerada como la más útil en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas de una especie forestal .

En la presente investigación se pretende analizar los tres tipos de densidad tanto la densidad en estado verde , como la densidad en estado seco y la densidad básica, para lo cual se utilizará la siguiente formula.

La fórmula aplicada para el cálculo de la densidad en estado verde es la siguiente:

Densidad en estado verde

$$dV = \frac{mV}{vV}$$

Fuente : Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

dV = densidad en estado verde de la madera, expresada en (Kg/m³)

mV = masa de la madera en estado verde, expresada en (kg)

vV = volumen de la madera en estado verde, expresado en (m³)

La fórmula aplicada para el cálculo de la densidad en estado seco es la siguiente:

Densidad en estado seco

$$dS = \frac{mS}{vS}$$

Fuente : Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

dS = densidad en estado seco de la madera expresada en (Kg/m³)

mS = masa de la madera en estado verde, expresada en (kg)

vS = volumen de la madera en estado verde, expresado en (m³)

La fórmula aplicada para el cálculo de la densidad básica es la siguiente:

Densidad básica

$$dB = \frac{mS}{vV}$$

Fuente : Norma COPANT 460 (1972)

Donde:

dB = densidad en estado seco de la madera expresada en (Kg/m³)

mS = masa de la madera en estado verde, expresada en (kg)

vV = volumen de la madera en estado verde, expresado en (m³)

1.6.3. *Peso Específico*

La propiedad de peso específico se define como la relación de peso y volumen el cual influye en la madera de manera directa para su utilización e interpretación.

El peso específico de la madera viene representado por los mismos valores que su densidad, por lo que corrientemente se conoce en la industria con tal nombre, exclusivamente para el caso de este material (AITIM, 1976).

Se consideran diferentes clases de pesos específicos, al tomar en cuenta que la madera es un cuerpo poroso, entre ellos: peso específico aparente, peso específico real y los pesos específicos comerciales, que comúnmente se los conoce con el nombre de densidad y son los más utilizados en cuanto al contexto de madera, sus valores se utilizan para cálculos y operaciones comerciales (Freire, 2020: p.10).

Las unidades en las que podemos expresar el peso específico o conocido también como densidad son en gramos/centímetro cúbico esto para trabajos científicos y en kilogramos/metros cúbicos para estudios industriales (AITIM, 1976).

Sirve también como un indicador de la cantidad de pulpa de madera que se podría producir y la trabajabilidad del material y se relaciona con diferentes características de resistencia de los productos de madera, por ejemplo, la compresión perpendicular a la fibra, resistencia al corte, entre otro (ASTM, 2017).

El análisis del peso específico se lo realizó aplicando las siguientes formulas , tanto para el estado seco, verde y básica.

Peso específico en estado verde

$$Ph = \frac{mh}{vh}$$

Fuente : Norma (AITIM, 1976)

Donde:

Ph: Peso específico en estado verde, (gr/cm³)

mh: Masa en estado verde, (gr)

vh: Volumen en estado verde, (cm³)

Peso específico seco al horno

$$PS = \frac{mS}{vS}$$

Fuente : Norma (AITIM, 1976)

Donde:

PS: Peso específico seco, (gr/cm³)

mS: Masa seca al horno, (gr)

vS: Volumen seco al horno, (cm³)

Peso Específico básico

$$Pb = \frac{mS}{vh}$$

Fuente : Norma (AITIM, 1976)

Donde:

Pb: Peso específico básico, (gr/cm³)

mS: Masa seca al horno, (gr)

vh: Volumen en estado verde, (cm³)

1.7. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas de la madera son las relacionadas con su comportamiento ante la acción de fuerza externa o interna, es decir que la madera debido a su soporte mecánico, desempeña un papel esencial en una gran cantidad de usos (Freire, 2020a: p. 11).

El mismo autor señala que las para evaluar las propiedades mecánicas se debe tomar en cuenta dos sus fuerzas. **Las fuerzas externas:** son todas aquellas fuerzas de las piezas de madera, que tienden a alterar su tamaño o forma. Y **las fuerzas internas:** son las generadas por cambios en el contenido de humedad, actúan en el interior de las piezas y también producen deformaciones (Freire, 2020b: p. 11).

1.7.1. Flexión Estática

Ramos, et al. (2015) señala que la flexión estática son uno de los principales métodos para evaluar las propiedades mecánicas de la madera, en lo que respecta a su procedimiento y la configuración para su determinación de valores con piezas de madera con dimensiones de empleo están bien establecidas por las normas europeas EN 408 y EN 384 y los resultados de las pruebas de flexión

estática dependen, por una parte, de la densidad de la madera y contenido de humedad, así como también de sus propiedades de anisotropía, como también de la configuración y de la velocidad de los experimentos.

Freire (2020) también señala que se considera a la flexión estática como una de la fuerza aplicada sobre una masa, que descansa sobre dos apoyos, las mismas que soportan una carga de manera uniforme y que es repartida en su longitud total, de la misma manera ayuda a determinar la fuerza máxima que puede soportar dicho cuerpo, el mismo autor señala que mediante la determinación de esta propiedad se puede establecer que la madera en estudio es factible para la elaboración y transformación en diferentes productos.

Para el análisis de la flexión estática se procedió a aplicar la siguiente fórmula.

Esfuerzo a límite proporcional (ELP)

$$\mathbf{ELP} = \frac{P1}{b * d}$$

Fuente: Normas (ASTM D143-14, 2014)

Dónde:

ELP = Esfuerzo en el límite proporcional, expresado en (kg/cm²).

P1 = carga máxima aplicada en el límite elástico en (kg).

b = ancho de la probeta en (cm).

d = espesor de la probeta en (cm).

Módulo de Ruptura (MOR)

$$\mathbf{MOR} = \frac{1.5 * L * P2}{b * h^2}$$

Fuente: Normas (ASTM D143-14, 2014)

Dónde:

MOR = Módulo de ruptura expresado en (kg/cm²).

P2 = Es la carga máxima obtenida en (kg).

1,5 = Valor constante.

L = Luz de la probeta en (cm).

b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).

h = Corresponde a la altura de la probeta en (cm).

Módulo de Elasticidad (MOE)

$$\text{MOE} = \frac{0.25 * L * P1}{b * h * Y}$$

Fuente: Normas (ASTM D143-14, 2014)

Dónde:

MOE = Módulo de elasticidad expresado en (kg/cm²).

P1 = Carga en el límite proporcional en (kg).

0,25 = Valor constante.

L = Luz de la probeta en (cm)

b = Corresponde al ancho de la probeta en (cm).

h = Altura de la probeta en (cm)

Y = Deflexión en el límite proporcional en (cm)

1.7.2. Compresión

La Federación de Enseñanzas CC.OO de Andalucía (2011: p, 8) define la compresión, como el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de una fuerza que actúa en una misma dirección, y tienden a reducirlo, por otra parte el mismo autor señala que es lo opuesto a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos.

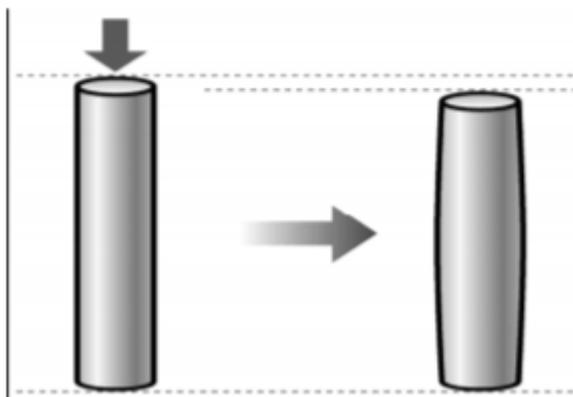


Figura 2-1: Dinámica del esfuerzo a compresión de un cuerpo

Fuente: (Federación de Enseñanzas CC.OO de Andalucía , 2011: p, 9)

Tabla 1-1: Clasificación según los valores de dureza de la madera.

Clasificación	Rango de esfuerzo
Maderas muy duras	Mayor a 1000 Kg/cm ² .
Maderas duras	701 a 1000 Kg/cm ² .
Maderas semiduras	501 a 700 Kg/cm ² .
Maderas blandas	301 a 500 Kg/cm ² .
Maderas muy blandas	Menor a 300 Kg/cm ² .

Fuente: (Spavento, et al., 2008)

Paralela

La compresión paralela es la carga ejercida sobre un objeto (probetas) en el sentido paralelo a la fibra, y estos ensayos están especialmente aplicados en varios tipos como estructuras metálicas, de maderas y hormigón (Ruiz, 2020: p, 8).

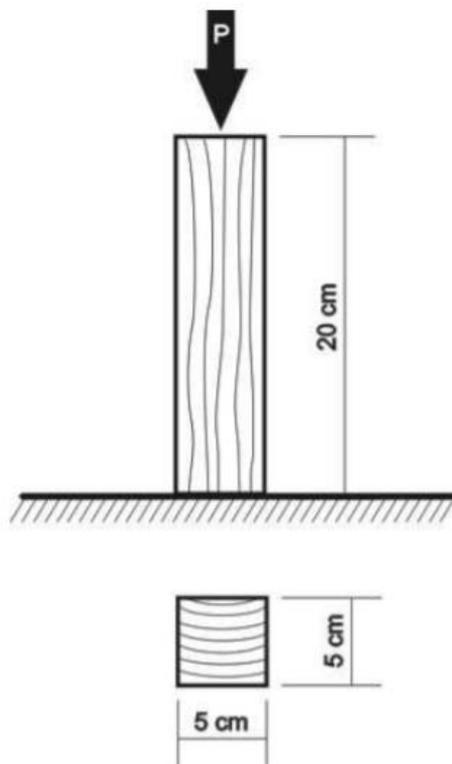


Figura 3-1: Dinámica del esfuerzo de la compresión paralela de un cuerpo.

Fuente: (Spavento, et al., 2008)

Para cálculo del esfuerzo al que es sometido una pieza (probeta), se utiliza la siguiente fórmula:

Esfuerzo al límite proporcional

$$ELP = \frac{P1}{b * d}$$

Fuente: Normas (ASTM D143-14, 2014)

Dónde:

ELP = Esfuerzo en el límite proporcional, expresado en (kg/cm²).

P1 = carga máxima aplicada en el límite elástico en (kg).

b = ancho de la probeta en (cm).

d = espesor de la probeta en (cm).

Tabla 2-1: Clasificación según los valores de esfuerzo a la compresión paralela de la madera.

Compresión paralela a la fibra (Kg/cm²)

Clasificación	Rango de esfuerzo (ELP)
Muy bajo	menor a 200
bajo	201-300
medio	301-400
alto	401-500
muy alto	mayor a 500

Fuente: (Spavento, et al., 2008)

Perpendicular

La compresión perpendicular es la carga ejercida sobre un objeto (probetas) en el sentido perpendicular a la fibra, y estos ensayos están especialmente aplicados en varios tipos de ensayos estructurales como , metálicas, maderas y hormigón (Ruiz, 2020: p, 9).

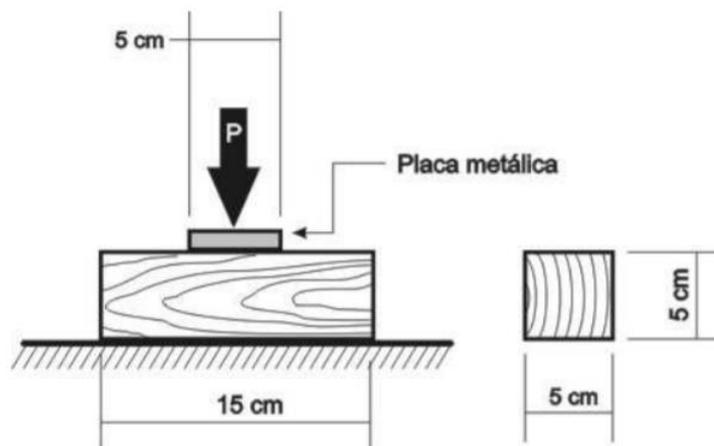


Figura 4-1: Dinámica de la compresión perpendicular.

Fuente: (Spavento, et al., 2008)

Para cálculo del esfuerzo al que es sometido una pieza (probeta), se utiliza la siguiente fórmula:

Esfuerzo al límite proporcional

$$ELP = \frac{P1}{b * d}$$

Fuente: Normas (ASTM D143-14, 2014)

Dónde:

ELP = Esfuerzo en el límite proporcional, expresado en (kg/cm²).

P1 = carga máxima aplicada en el límite elástico en (kg).

b = ancho de la probeta en (cm).

d= espesor de la probeta en (cm).

Tabla 3-1: Clasificación según los valores de esfuerzo a la compresión paralela de la madera.

Compresión perpendicular a la fibra (Kg/cm²)	
Clasificación	Rango de esfuerzo (ELP)
Muy bajo	menor a 25
bajo	26-50
medio	51-75
alto	76-100
muy alto	mayor a 100

Fuente: (Spavento, et al., 2008)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Caracterización del lugar

2.1.1. Localización y área de estudio

Las muestras de madera de la especie *Hevea brasiliensis*, y sus respectivas probetas se las extrajo de la hacienda Santa Rita ubicado, sector Santa Rosa, parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fe, provincia de los Ríos.

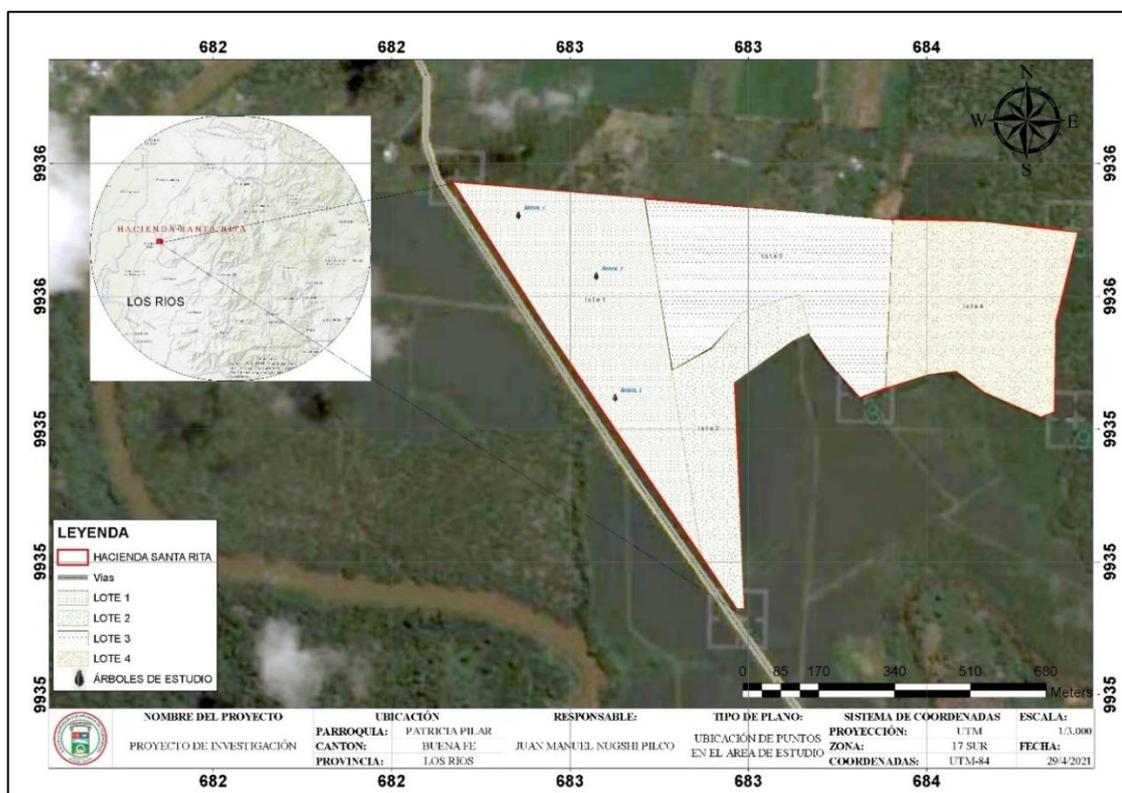


Figura 1-2: Mapa de la hacienda Santa Rita

Fuente: Nugshi, 2021

2.1.2. Condiciones climáticas

- **Clima:** Tropical húmedo

- **Temperatura:** Temperatura media anual es de 25°C.
- **Precipitación:** la precipitación promedio anual es de 2335 mm
- **Humedad relativa:** 82% al 92%
- **Altitud:** Altitud de 850 msnm.
- **Clasificación ecológica:** Según el Ministerio del ambiente del Ecuador, (2013) lo califica como Bosque húmedo tropical

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. *Materiales de campo*

- Botas
- Cámara de celular marca Huawei Y9
- Cinta métrica
- Cintas de embalaje
- Cuaderno de apunte
- Fundas plásticas
- GPS marca Garmin
- Hojas de campo
- Lápices
- Machete
- Motosierra marca STIHL-MS 660
- Papel periódico
- Prensa
- Tableros
- Tijeras de poda

2.2.2. *Materiales para el herbario*

- Prensas de madera
- Papel secante
- Papel periódico
- Cuerdas

- Cintas de embalaje

2.2.3. *Materiales y equipos del laboratorio de Ciencias Biológicas*

- Agua destilada
- Alcohol al 70%
- Balanza digital marca OHRUS
- Guantes
- Mandil
- Marcadores permanentes
- Medidor de pH marca LABDIN-PH700
- Papel absorbente
- Tarrinas desechables de 1 litro

2.2.4. *Materiales y equipos del laboratorio de Ciencias Químicas*

- Alcohol al 70%
- Balanza digital marca OHRUS
- Calibrador digital marca IMAL IB600
- Cinta métrica
- Computadora marca hp con Windows 10
- Estufa marca BINDER
- Guantes
- Mandil
- Papel absorbente

2.2.5. *Materiales y equipos del laboratorio de Resistencia de Materiales*

- Calibrador digital marca IMAL IB600
- Guantes
- Mandil
- Maquina universal

2.3. Metodología

2.3.1. Georreferenciación del lugar de investigación

Para la georreferenciación del lugar de estudio se lo realizo mediante el uso de un GPS marca Garmin en donde se tomó cada uno de las coordenadas del área de investigación la hacienda Santa Rita y sus respectivos lotes obteniendo así las edades y la dimensión de cada uno de ellos ver **tabla 4**, para posteriormente diseñar un mapa mediante el uso del programa ArcGIS 10.5, para que nos permita una comprensión y un control adecuada del lugar.

2.3.2. Selección y georreferenciación de los árboles de la especie *Hevea brasiliensis*.

La selección de los árboles para la presente investigación, se basó lo dispuesto en la norma COPANT 458 “Selección y Colección de Muestras”, y de la misma manera se acató los parámetros mencionados por Salvador (2010: p. 7), quien sugiere seleccionar los árboles con características idóneas y en lo posible de parcelas experimentales siempre y cuando se cumpla en base en los siguientes criterios: árboles sanos, troncos rectos esto siempre y cuando sean lo más cilíndricos posible; y también que sean lo más representativos de la población tanto en diámetro como en altura, siempre que estén por encima del diámetro de corta legal establecido para cada especie forestal.

La presente investigación se lo realizó dentro de la plantación de *Hevea brasiliensis* de la hacienda Santa Rita cuya edad en de 28 años, la misma que se considera como plantación adulta ya que se encuentra en proceso de tala y aprovechamiento de la madera una vez finalizada su extracción de látex de la misma forma se puede mencionar que la hacienda santa Rita está distribuida en 4 lotes con edades similares.

Las muestras se los extrajo del lote 1, en donde se eligieron 3 árboles completamente al azar de la especie anteriormente mencionada las mismas que cumplieron con todas las características establecidas en la norma y también las alturas respectivas para lo cual se tomó los siguientes datos como lo demuestra la **tabla 4**.

Tabla 1-2: Características de los árboles de la especie *Hevea brasiliensis*

Código	Lugar de recolección	Coordenadas (Latitud Longitud)	Altitud (msnm)	Edad (años)	DAP (cm)	Altura (metros)
Arb1	Hacienda Santa Rita	0°34'50.50"S - 79°21'23.95"O	156	28	24,5	14
Arb2	Hacienda Santa Rita	0°35'5.18"S - 79°21'18.85"O	160	28	26,5	20,1
Arb3	Hacienda Santa Rita	0°34'52.76"S - 79°21'13.12"O	163	28	27,5	18,6

Fuente: Nugshi, 2021

2.3.3. Apeo de los árboles

El apeo de los 3 árboles para la presente investigación se realizó empleando las técnicas conocidas por Salvador (2010: p. 7), el cual menciona que el corte se lo debe realizar a 50 cm del suelo para obtener un rendimiento adecuado de la madera y proteger la integridad física del talador.

En este caso el primer paso que se realizó fue identificar a los árboles que presentaran características idóneas y la selección de cada árbol se realizó empleando el método de la selección al azar, luego de aquello se realizó la georreferenciación de cada árbol antes de ser apeado.

Una vez apeado los árboles se procedió a medir, tanto la altura comercial como la altura total, también se realizó la recolecta de las muestras dendrológicas, posterior a ello se dividió al árbol en tres secciones para obtener las trozas.

2.3.4. Recolección de las muestras dendrológicas.

La recolección de las muestras se lo realizó una vez apeado cada uno de los árboles de la especie *Hevea brasiliensis*, con la ayuda de una tijera de podar se procedió a cortar cada una de las muestras dendrológicas tanto de las hojas como de las flores y frutos, esto siempre respetando lo dispuesto en la norma COPANT 458.

Una vez recolectadas cada una de las muestras fértiles y recabado la mayor cantidad de información acerca de la especie anteriormente mencionado se procedió a etiquetar y almacenar en una funda con un sellado correcto para mantener en perfecto estado las muestras antes de ser enviado a la herborización.

2.3.5. Preparación de las trozas y transporte

Para el trozado del fuste y la obtención de probetas para los ensayos de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* para la presente investigación, se basó en el esquema tomado de las Norma ISO 4471 – 1982. Dicho esquema de trozado del fuste permitió la toma de muestras por niveles longitudinales y las trozas obtenidas fueron marcadas convenientemente en forma que no permita una confusión entre sí , esto para su fácil identificación y a la misma vez es recomendable utilizar un sistema adecuado de codificación previo a aquello (Salvador 2010: p. 8).

En la siguiente fase se midió la longitud total de cada árbol en el suelo y se procedió a dividir en tres secciones, esto siempre y cuando respetando lo previsto en las normas ISO 4471 – 1982 presentado en la **figura 6** (Freire, 2020a: p. 24).

De cada sección utilizada para la presente investigación se extrajo trozas de 150 cm de largo, es decir se extrajo un total de tres troza y nueve rodela por árbol, las dimensiones de las rodela fueron de: 15 cm, 10cm, 10cm de grosor, respectivamente , como se visualiza en la **figura 6** (Freire, 2020b: p.24).

Una vez recolectadas las muestras se procedió a codificar cada sección extraída y sus respectivas rodela **tabla 5**.

Tabla 2-2: Codificación de las trozas y rodela de la especie *Hevea brasiliensis*.

Propiedades físicas y mecánicas			
Código de arboles	Tipo de sección	código de trozas	código de rodela
Ar1	baja	trz1	Rd1

Ar1	media	trz2	Rd2
Ar1	alta	trz3	Rd3
Ar2	baja	trz1	Rd1
Ar2	media	trz2	Rd2
Ar2	alta	trz3	Rd3
Ar3	baja	trz1	Rd1
Ar3	media	trz2	Rd2
Ar3	alta	trz3	Rd3

Fuente: Nugshi, 2021

2.3.6. *Identificación de la especie*

Se procedió a identificar las muestras sobre la base del material botánico que se obtuvo, para todo aquello fue necesario recabar la mayor cantidad de información, y llevar un control de datos de todo el proceso, de la misma forma es necesario registrar la información obtenida en una ficha de campo.

Salvador (2010: pág. 7), menciona que el material botánico debe constar de muestras con hojas, flores y/o frutos, ramitas y cortezas, en caso de existir , todo aquello para una posterior identificación, por otra parte, todo el material obtenido será herborizado de acuerdo con las normas técnicas recomendadas por las Norma COPANT 458.

Con respecto a las muestras botánicas o dendrológicas se procedió a realizar el etiquetado respectivo y luego de aquello se realizó el secado de la misma , para posteriormente trasladar al Herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su reconocimiento.

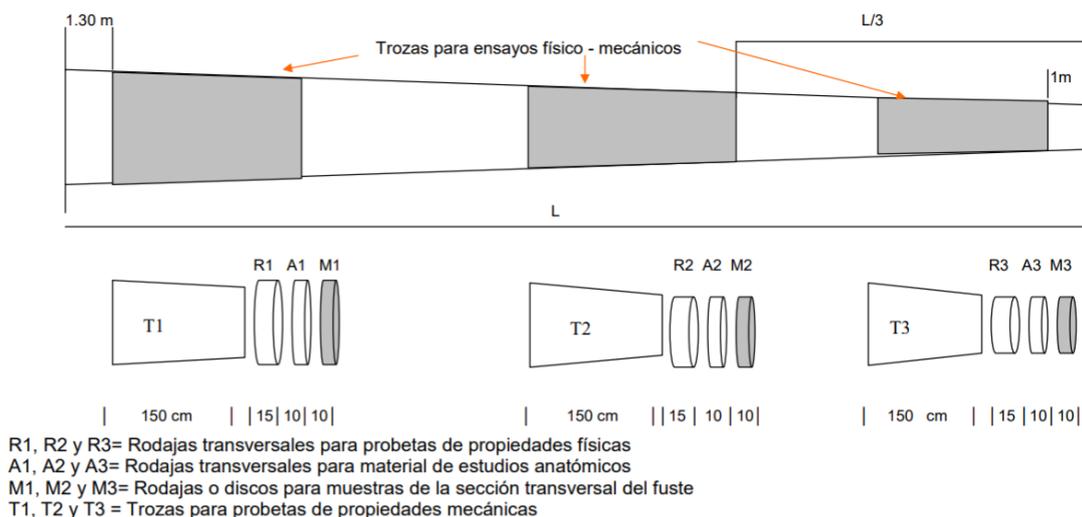


Figura 2-2: Esquema de trozados tomado de las (Normas ISO 4471-1982)

Fuente: Citado de (Salvador, 2010: p. 9)

2.3.7. Preparación de probetas.

Para la obtención de las probetas y el material para las diferentes pruebas químicas, físicas y los ensayos mecánicos de la presente investigación, se utilizaron varias normas, las cuales establecen un sin número de medidas, características, cantidad y número de probetas (Freire, 2020: p. 26).

Una vez obtenido las trozas y las rodajas se procedió a trasladar a un aserradero privado, ubicado en la ciudad de Riobamba para dimensionar las probetas con ayuda de una sierra circular y una motosierra obteniendo de esta manera las dimensiones deseadas como lo demuestra la **tabla 5**, posterior a ello se procedió a realizar el análisis de las muestras en el laboratorio de ciencias biológicas y ciencias químicas de la facultad de Recursos Naturales perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

En lo que respecta a los ensayos de las propiedades tanto físicas como mecánicas de la madera Salvador (2010: p. 16) citado por Freire (2020: p. 26), menciona que se debe considerar “*probetas de pequeñas dimensiones, libre de defectos siguiendo especificaciones de la norma UNE – EN 384, la cual plantea que el material muestreado debe ser representativo*”, de la misma forma debe ser etiquetado, codificado y registrar en una libreta de campo.

Cabe mencionar que cada probeta dimensionada presentaba un código único de etiquetado para su posterior análisis en el laboratorio para lo cual se utilizó el siguiente sistema de codificación **tabla 6**.

Tabla 3-2: Codificación de las secciones con sus respectivas probetas

Código de árbol	Código de sección	Código de probetas
A1	sección baja (S1)	p1, p2, p3..., p8
A1	sección media (S2)	p1, p2, p3..., p8
A1	sección alta (S3)	p1, p2, p3..., p8
A2	sección baja (S1)	p1, p2, p3..., p8
A2	sección media (S2)	p1, p2, p3..., p8
A2	sección alta (S3)	p1, p2, p3..., p8
A3	sección baja (S1)	p1, p2, p3..., p8
A3	sección media (S2)	p1, p2, p3..., p8
A3	sección alta (S3)	p1, p2, p3..., p8

Fuente: Nugshi, 2021

Las dimensiones utilizadas en la presente investigación se basan en las diferentes normas aplicadas tanto para las propiedades físicas como para las propiedades mecánicas, cada uno de ellas se detalla a continuación **tabla 7**.

Tabla 4-2: Dimensiones de las diferentes probetas de acuerdo al tipo de propiedades a utilizar.

Usos	Dimensiones (anchoxgruesoxlargo)	Número de probetas	Norma
Propiedades físicas	5x5x10 cm	45	COPANT
Flexión estática	2,5x2,5x41 cm	9	ASTM D143-14
Compresión paralela	5x5x15 cm	9	ASTM D143-14
Compresión perpendicular	5x5x20 cm	9	ASTM D143-14

Fuente: Nugshi, 2021

2.4. Propiedades químicas de la madera de *Hevea brasiliensis*.

2.4.1. *Determinación de pH*

Para la determinación del pH de madera se procedió a escoger rodajas de 10 centímetros de largo de las ramas más altas de los árboles a estudiar y posteriormente se llevó a un aserradero para realizar los cortes y la trituración.

Se recolecto en una funda hermética el valor de 500 gramos de madera molida y posteriormente se lo llevo al laboratorio de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su respectivo análisis.

Una vez obtenido las muestras de madera molida se procedió a pesar en una balanza analítica una porción de 20 gramos de cada muestra y se lo agregó en un recipiente con 150 ml de agua destilada para la primera muestra seguida de 120 ml para la segunda muestra y 120 ml para la tercera muestra, adicional a ello se procedió a realizar una mezcla medianamente homogénea entre la madera molida y el agua destilada

Posterior a ello se procedió a registrar la lectura inicial del pH con un medidor de pH y se volvió a tomar los datos cuando cumplieron los 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos y finalmente a los 60 minutos, adicional a ello luego de realizar la toma de datos en cada frecuencia de tiempo mencionada se procedió a revolver la mezcla de una manera homogénea.

Todo aquello se lo realizo siempre respetando los parámetros mencionados por Bernabé et al., (2013: p. 24) el cual señala que se debe agregar.

2 gr de madera molida, posterior a ello se colocará en un vaso de precipitados con 20 ml de agua destilada, luego se procederá a registrar la lectura inicial del pH con un potenciómetro y posterior a ello se volverá a tomar los datos cuando cumpla los 5 min, 4 horas, 24 horas y finalmente a las 48 horas de a ver iniciado la medición (Bernabé et al., 2013: p. 24).

2.5. Propiedades físicas de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Para la evaluación de las propiedades físicas de la madera tales como el contenido de humedad, densidad y el peso específico fue necesario que las probetas tengan una medida adecuada y adicional a ello fue necesario tener las dimensiones y la metodología estipuladas por las normas COPANT 459, en donde señala que las medidas deben ser de : 5 cm x 5 cm x 10 cm para una posterior evaluación de cada parámetro mencionado anteriormente, para el cumplimiento de este objetivo se realizó el uso del laboratorio de Ciencias Químicas de la Facultad de Recursos Naturales pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ruíz, 2020).

2.5.1. Contenido de Humedad:

El contenido de humedad se evaluó mediante la norma COPANT 460, para esto se utilizó 5 probetas por sección provenientes de cada uno de los 3 árboles, teniendo un total de 15 probetas libres de deformaciones y con orientación de manera longitudinal, tangencial y radial (Ruíz, 2020).

Una vez obtenida todas las probetas con sus dimensiones exactas se procedió a medir, pesar y etiquetar posterior a ello se procedió analizar el porcentaje de humedad de la madera secado al horno. Ocaña (2018: p. 18) señala que para obtener el porcentaje de humedad es necesario.

Aplicar el método gravimétrico o diferencia de peso en donde las dos piezas de madera serán pesadas para obtener el peso inicial (pi), luego se coloca en un horno a una temperatura máxima de 105°C hasta obtener un peso constante de la muestra, el que será el peso seco al horno o peso final (pf) Ocaña (2018: p. 18).

En el caso de la presente investigación se procedió a pesar y medir las probetas antes de colocar en la estufa obteniendo así un peso inicial o peso verde, una vez realizado este primer procedimiento se colocó en un recipiente de papel y se envió al horno o estufa a una temperatura de 105°C por 48 horas . Luego de aquello se procedió a medir nuevamente obteniendo así el peso final , para la obtención del volumen de las probetas se aplicó el método matemático en donde se procedió a realizar 3 mediciones en cada uno de sus lados tanto de manera longitudinal, tangencial y radial, esto se realizó para obtener una mayor precisión en sus datos.

2.5.2. Densidad

Para el cálculo de la densidad básica de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* se aplicó lo establecido en la norma ASTM D2395 – 17 y se evaluó las densidades tanto en estado verde, seca, y la densidad básica .

Densidad en estado verde

Para obtener el cálculo de la densidad en estado verde se procedió obtener el volumen de las probetas en estado verde para ello se midió cada uno de sus lados con la ayuda de un calibrador digital marca IMAL IB600 luego de aquello se procedió a tomar los datos del peso en condición verde con la ayuda de una balanza digital, esto se lo realizo respetando siempre lo establecido en la norma mencionada anteriormente (Freire, 2020: p. 33).

Densidad en estado seco

Para obtener el cálculo de la densidad en estado seco se procedió obtener el volumen de las probetas en estado seco para ello se midió cada uno de sus lados con la ayuda de un calibrador digital marca IMAL IB600 luego de aquello se procedió a tomar los datos del peso en condición seca con la ayuda de una balanza digital, esto se lo realizo respetando siempre lo establecido en la norma mencionada anteriormente (Freire, 2020: p. 33)

Densidad básica

Para obtener el cálculo de la densidad básica se procedió obtener el volumen de las probetas en estado verde para ello se midió cada uno de sus lados con la ayuda de un calibrador digital marca IMAL IB600 luego de aquello se procedió a tomar los datos del peso en condición seca con la ayuda de una balanza digital, esto se lo realizo respetando siempre lo establecido en la norma mencionada anteriormente (Freire, 2020: p. 33)

2.5.3. Peso Específico:

Para el cálculo de la determinación del peso específico se procedió a utilizar las probetas anteriormente dimensionadas cuyos valores eran de 5cm x 5cm x 10 cm, tomando en cuenta siempre lo establecida en las normas ASTM D2395 – 17 (ASTM, 2017), de la misma manera el

cálculo de la medida de magnitudes establecida por la “Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera” (AITIM, 1976).

Para el análisis del peso específico de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* se tomó los mismos datos de la densidad tanto en estado verde , como seca al horno y se empleó la siguiente ecuación para obtener los datos del peso específicos en estado verde , seca al horno y el peso específico básico.

2.6. Propiedades mecánicas de la madera de *Hevea brasiliensis*

Para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* se lo realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Mecánica perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de la misma manera se basó en la metodología recomendada por las normas ASTM D143-14 “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber” las cuales establecen cada uno de los siguientes parámetros necesarios (ASTM, 2014).

2.6.1. Pruebas de flexión estática

Para los ensayos de la Flexión estática de la madera de especie anteriormente mencionada se basó en la norma ASTM D143-14 en donde señala que para estos.

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 y flexión (Ocaña, 2018: p. 36).

De la misma manera se utilizó las dimensiones estipuladas en dicha norma y también el número de probetas exactas para la prueba. (Ocaña, 2018: p. 36).

- Dimensión de la probeta: 2.5 cm x 2.5 cm x 41cm)
- Numero de probetas: 9

Una vez obtenida las dimensiones de las probetas se procedió a pesar y medir cada uno de sus lados utilizando una balanza y un calibrador digital marca IMAL IB600, luego de aquello se

realizó el secado en un horno o estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C por un lapso de 48 horas para que las probetas pierdan la humedad y puedan obtener un peso constante antes de realizar las respectivas pruebas, todo aquello se lo realizo según las especificaciones del control de humedad de las probetas estipuladas en la norma.

Antes de proceder a colocar en la maquina universal se procedió a medir los extremos de cada probeta y marcar a una distancia de 2,5 cm a cada lado, así también se midió el largo de las probetas y se procedió a marcar el centro de la misma para que la carga de la máquina actúe sobre ella durante la prueba.

El siguiente paso a realizar fue colocar las probetas en una máquina de ensayos universal de manera horizontal y ejercer una carga de manera constante a una velocidad de 2 mm/minuto, luego de aquello se procedió a recabar los datos correspondientes a la fuerza y la deformación para el cálculo de la flexión estática, de igual manera obteniendo datos del módulo de ruptura y de elasticidad en los siguientes parámetros (Freire, 2020: pp. 36-37).

2.6.2. Pruebas de compresión paralela y perpendicular

Para determinar la compresión paralela se utilizó 9 probetas con orientación longitudinal, tangencial y radial, cuyas dimensiones fueron de 5 cm x 5 cm x 20 cm respectivamente y para la compresión perpendicular se utilizó de igual manera 9 probetas con las mismas orientaciones, pero con las siguientes dimensiones 5cm x 5cm x 15 cm. Luego de aquello se procedido a colocar en una maquina universal cada una de las probetas de manera que las fuerzas actuarán en forma paralela y perpendicular a la fibra (Ocaña, 2018: pp. 35-36):

Compresión paralela

Una vez obtenida las probetas con las dimensiones adecuadas se procedió a pesar con una balanza digital y de la misma manera a medir cada uno de sus lados utilizando un calibrador digital marca IMAL IB600, de la misma manera se procedido a medir el centro de cada probeta y señalarla para posteriormente en la maquina universal en donde las fuerzas actuaran en forma paralela a la fibra de manera constante y a una velocidad de 1,5 mm/minuto , todo aquello se determinó empleando la siguiente ecuación:

Compresión perpendicular

Con un total de 9 probetas dimensionadas, pesadas y medidas como se mencionó anteriormente , así como también señaladas en el centro de cada una de ellas, se procedió a utilizar la maquina universal, en la que se colocaron las probetas de manera perpendicular a la fuerza y se empleó una carga que ejerza sobre cada una de ellas de manera constante a una velocidad de 1,5 mm/minuto , luego de aquello se analizó el esfuerzo máximo con la utilización de la siguiente ecuación:

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1. Para el cumplimiento del primer objetivo: Determinar el pH de madera de *Hevea brasiliensis* de diferentes muestras recolectadas de la hacienda Santa Rita.

Tabla 1-3: pH de la madera en estado verde

pH de <i>Hevea brasiliensis</i>					
N° de arboles	Cantidad de líquido (ml)	Cantidad de muestra (gr)	Relación	Tiempo (min)	pH
Árbol 1	150	20	7,5/1	60	6,89
Árbol 2	120	20	6,0/1	60	6,86
Árbol 3	120	20	6,0/1	60	6,91
Promedio					6,89

Fuente: Nugshi, 2021

Se determino los valores de pH de la madera en condición verde a cada uno de los tres arboles de estudio perteneciente a la hacienda Santa Rita, dando un resultado de pH ligeramente ácido cómo señala (Sandoval, 2017).

El valor obtenido de las muestras refleja una variación mínima de pH con relación entre sí, es decir que el árbol 3 presenta el valor más alto, cercanamente a un pH neutro (6,91) con respecto a los árboles 1 y 2 localizados en la hacienda Santa Rita los cuales presentan una diferencia mínima , dando valores de pH ligeramente ácido (6.89) y (6.86) respectivamente como lo demuestra la **gráfica 1**.

Esto se debe a que los árboles utilizados para la presente investigación fueron seleccionados dentro de una misma parcela, en donde los tratamientos , condiciones de sitio y topografía eran relativamente iguales.

Según CONAFOR (S.F) citado de Ortiz (1992) señala que el valor de pH de la especie *Hevea brasiliensis* en condición de madera verde oscila entre los 3.5 (moderadamente ácido) a 7.5 (neutro) el cual concuerda con la presente investigación .

3.2. Para el cumplimiento del segundo objetivo: Evaluar el contenido de humedad, densidad y peso específico de las muestras de *Hevea brasiliensis* de la hacienda Santa Rita

3.2.1. Contenido de Humedad

Tabla 2-3: Porcentaje de humedad dadas por secciones y números de árboles

N° de arboles	Contenido de humedad (%)		
	Sección alta	Sección media	Sección baja
Árbol 1	55,69	45,70	43,22
Árbol 2	50,30	49,47	39,45
Árbol 3	47,40	56,08	50,09

Fuente: Nugshi, 2021

El contenido de humedad presente en la madera de la especie *Hevea brasiliensis* oscila entre un promedio de 40 a 60 % de humedad a los 15 días después del corte , los valores difieren con relación a cada sección del fuste y de cada árbol a estudiar, el promedio del porcentaje de humedad más bajo es de 39.45 % perteneciente a la sección baja del árbol 2, por otra parte la sección media que presenta un mayor porcentaje de humedad corresponde al árbol 3 con un valor de 56,08 % como lo demuestra la **tabla 9**, estos valores no corresponden a una media total sino a un promedio por árbol y sección individual en donde cada árbol no presenta un variación de datos uniforme sino relativo como lo representa la tabla anteriormente mencionado, de esta forma se puede demostrar que la los valores del contenido de humedad presentan una dinámica desordenada pero estadísticamente no existe gran diferencia entre dichos valores.



Gráfico 1-3: Promedio total del contenido de humedad para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

Con respecto a los promedios totales la sección con el porcentaje de humedad máximo corresponde a la sección alta, el cual presenta el 51,13 %, seguida de la sección media el cual presenta un valor relativamente similar (50,42 %), frente a un 44,26 % perteneciente a la sección baja considerado como un valor mínimo **gráfico 1a**. De los tres arboles seleccionados para la presente investigación, se pudo observar que la variación de humedad entre si es mínima, ya que el árbol que presentó el porcentaje de humedad más alta fue el árbol 3 con un promedio total de 51,19 % de humedad en comparación al árbol 1 y 2 los cuales presentaron valores de 48,20 y 46,41 % respectivamente como lo demuestra la **gráfica 1b**, una diferencia estadísticamente mínima, esto se debe a que las muestras fueron recolectadas de una misma parcela y la diferencia tanto de condiciones climáticas, características del suelo y edad de los árboles son las mismas.

Se puede mencionar que la media total del contenido o porcentaje de humedad de la especie *Hevea brasiliensis* analizado en la presente investigación es de 48,6 %, dicho valor se obtuvo al analizar muestras recolectadas después de un lapso de tiempo de 15 días como se mencionó anteriormente, por otra parte la diferencia de humedad con respecto a las secciones se debe a la cantidad de albura y duramen presentes en el árbol por lo que se puede deducir con respecto a los datos obtenidos en la presente investigación que a mayor altura el contenido de humedad es mayor y a menor altura su contenido es menor, de igual manera la diferencia de humedad entre arboles estudiadas se debe a la ubicación dentro del lote es decir que el árbol con la humedad mayor se encontraba en la parte media del lote 2 de la hacienda Santa Rita.

3.2.2. Densidad

3.2.2.1. Densidad en estado verde

Tabla 3-3: Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie *Hevea brasiliensis*.

N° de Árboles	Densidad estado verde (kg/m3)		
	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	682,81	694,58	760,04
Árbol 2	741,08	637,85	540,98
Árbol 3	771,91	731,45	605,37
PROMEDIO	731,93	687,96	635,46

Fuente: Nugshi, 2021

Los resultados de densidad en estado verde perteneciente a las 3 secciones de los 3 árboles de la madera de *Hevea brasiliensis* perteneciente a la hacienda Santa Rita demostraron que el valor más alto (760,04 kg/m³) pertenece a la sección alta del árbol 1 por otra parte se encuentra el valor mínimo 540,98 kg/m³ perteneciente a la sección alta del árbol 2 como se muestra en la **tabla 10**, los siguientes datos nos da a entender que presenta un variación mínima con relación a los datos obtenidos y esto se debe a que las muestras se extrajeron de una misma área de estudio con condiciones y características similares .

Para analizar la densidad promedia total tanto de las tres secciones de cada árbol y de la misma manera el árbol con la mayor densidad se realizó un promedio global de datos, obteniendo los siguientes resultados.

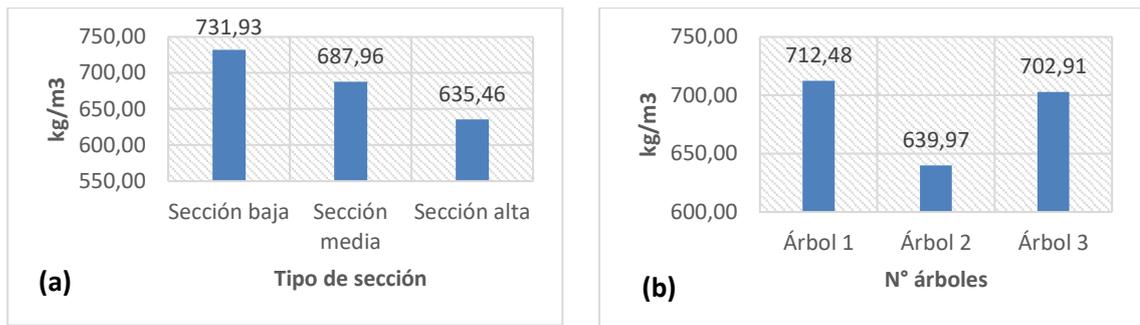


Gráfico 2-3: Promedio total de la densidad en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones **(a)** y del número de árboles **(b)** de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

La sección que presenta una mayor densidad es la sección baja con 731,93 kg/m³, en cuanto a la sección con la densidad más baja pertenece a la sección alta con un valor de 635,46 kg/m³ como lo demuestra en **grafico 2a**. De la misma forma el árbol con la mayor densidad fue del árbol 1 con un promedio total de 712,48 kg/m³, en comparación al árbol 2 el cual obtuvo el valor más bajo de densidad 639,97 kg/m³, como lo representa el **grafico 2b**.

La densidad en estado verde de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* oscila entre una media de 680 Kg/m³ considerándolo como madera de peso medio según Tknika (2017), y se relaciona con las especies comerciales y de mayor utilidad, tales como *Pinus radiata* 1040 Kg/m³, *Eucalyptus globulus* 1160 Kg/m³, *Cordia alliodora* 890 Kg/m³, *Ochroma pyramidale* 240 Kg/m³ según el MAE y FAO (2014), así como también de la *Gmelina arborea* 1060 Kg/m³ según (Jiménez Pozo, 2016).

Si bien la mayoría de las especies anteriormente mencionadas superan en densidad a la especie *Hevea brasiliensis*, pero esto no quita la capacidad de utilidad en diferentes trabajos a la especie estudiada.

3.2.2.2. Densidad seca al horno

Tabla 4-3: Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie *Hevea brasiliensis*

Densidad seca al horno (kg/m ³)			
N° de Árboles	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	512,36	528,36	541,39
Árbol 2	523,23	486,82	521,67
Árbol 3	500,37	518,67	443,62
PROMEDIO	511,99	511,28	502,23

Fuente: Nugshi, 2021

Los resultados obtenidos de las 3 secciones de los 3 árboles de la madera de *Hevea brasiliensis* reflejan los siguientes valores, la sección con la mayor densidad corresponde a la sección alta con 541,39 kg/m³ perteneciente al árbol 1, la sección con la menor densidad pertenece a la sección baja del árbol 2 con 486,82 kg/m³ como se observa en la tabla 11, el resto presentan valores significativamente similares ya que la variación de densidades entre muestras es relativamente igual.

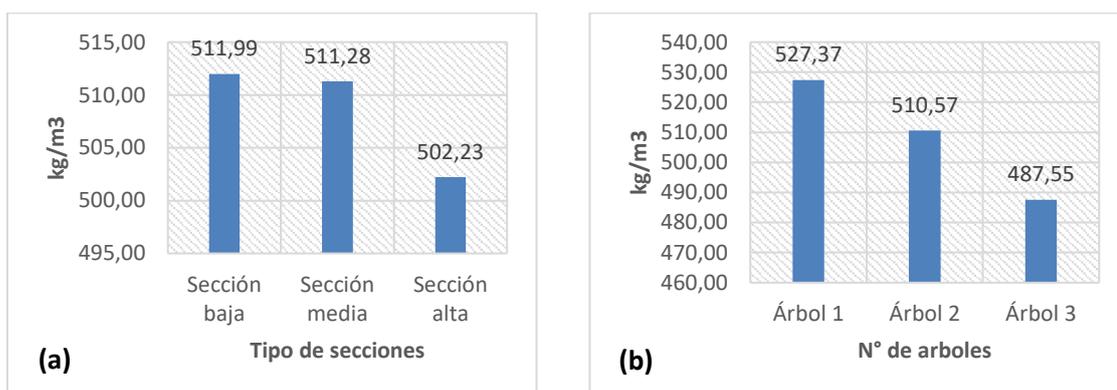


Gráfico 3-3: Promedio total de la densidad seca al horno representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

Con respecto al promedio total por secciones se obtuvo el siguiente resultado, la sección que presentó la mayor densidad corresponde a la sección baja con 511.99 kg/m³ con relación a la sección con la densidad menor perteneciente a la sección alta con un valor de 502,23 kg/m³ como lo demuestra el **grafico 3a**, por otra parte el árbol que presentó la mayor densidad pertenece al árbol 1 con 527.37 kg/m³ con relación al árbol 3 cuyo valor oscilo en 487.55 kg/m³ presentado de esta forma la densidad más baja como se observa en el **grafico 3b**.

La densidad en estado seco de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* oscila entre una media de 510 Kg/m³ considerándolo como madera medio ligera según Tkніка (2017), y se relaciona con las especies comerciales y de mayor utilidad, tales como *Pinus radiata* 490 Kg/m³, *Eucalyptus globulus* 720 Kg/m³, *Cordia alliodora* 580 Kg/m³, *Ochroma pyramidale* 180 Kg/m³ según el MAE y FAO (2014), así como también de la *Gmelina arborea* 650 Kg/m³ según (Jiménez Pozo, 2016).

Si bien la mayoría de las especies comerciales anteriormente mencionadas superan en densidad a la especie *Hevea brasiliensis*, pero esto no quita la capacidad de utilidad en diferentes trabajos a la especie estudiada.

3.2.2.3. Densidad básica

Tabla 5-3: Representación del promedio de densidades para los diferentes tipos de secciones y número de árboles de la especie *Hevea brasiliensis*

N° de Árboles	Densidad básica (kg/m ³)		
	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	468,74	485,88	488,64
Árbol 2	495,82	457,10	347,72
Árbol 3	480,03	487,28	409,17
PROMEDIO	481,53	476,75	415,18

Fuente: Nugshi, 2021

Los datos de la densidad básica de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* para las diferentes secciones de los 3 árboles en estudio muestran los siguientes valores, la sección que presentó la densidad básica más alta corresponde a la sección baja con una media de 495,82 kg/m³ perteneciendo al árbol 2, mientras que la sección alta presenta el valor de la media más baja 347.72 kg/m³ perteneciendo de la misma forma al árbol 2.

La **tabla 12** demuestra que existe una variación mínima entre los valores de la densidad tanto para los diferentes tipos de secciones como para los diferentes árboles, el árbol que presenta una variación más notable es el árbol 3 en donde el valores promedios de la densidad no presenta una línea creciente sino desordenada, es decir que la sección con la mayor densidad se encuentra en

la sección media con un valor de 487,28 kg/m³ , esto se debe a que el árbol de esta sección poseía el DAP y altura más bajo con respecto a los demás árboles.

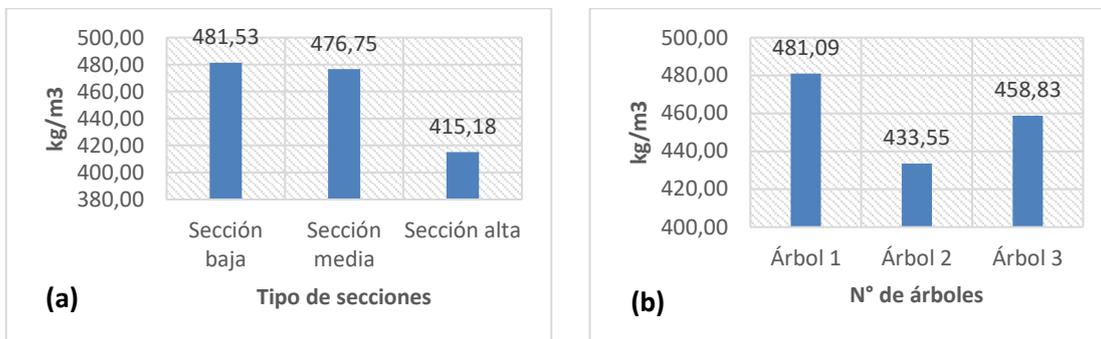


Gráfico 4-3: Promedio total de la densidad seca al horno representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

La densidad básica más alta se presentó en la sección baja con una media de 481,53 kg/m³ frente a 415,18 kg/m³ perteneciente a la sección alta cuya densidad es la más baja como lo refleja el **gráfico 4a**, de esta manera se demuestra que la densidad básica presenta medias más alta en función a la altura, es decir que a mayor altura su densidad disminuye, estos datos son corroborados por Domínguez (2006: p. 26) el cual menciona que la media de la densidad básica de la madera de *Hevea brasiliensis* varía a diferentes alturas es decir que a una altura de 5 milímetros a partir del suelo su densidad básica es mayor que a la densidad básica del mismo árbol con una altura del 50% y del 100%.

En cuanto al árbol que presenta la densidad más alta corresponde a árbol 1 cuya media es de 481,09 kg/m³ mientras que el árbol con la densidad más baja fue para el árbol 2 con una media de 433,55 kg/m³ **gráfico 4b**.

Se concluye que la media de la densidad básica de la madera de *Hevea brasiliensis* oscila entre los 450 a 500 kg/m³ a un 15 % de humedad, estos valores concuerdan con los estudios realizados por Rojo et al., (2017) y Domínguez (2006: p.26), los cuales mencionan que la densidad básica de dicha especie oscila entre los 430 kg/m³ y 650 kg/m³ respectivamente al 15-16% de humedad, de la misma forma se lo clasifica como madera ligera , según la tabla de clasificaciones presentado por

Tknika (2017), el cual señala que las maderas cuya densidad básica es <500 kg/m³ se lo denomina madera ligera .

En cuanto a la relación con las especies comerciales y de mayor utilidad dentro de Ecuador, tales como *Pinus radiata* 390 Kg/m³, *Eucalyptus globulus* 550 Kg/m³, *Cordia alliodora* 380 Kg/m³ , *Ochroma pyramidale* 140 Kg/m³ según el MAE y la FAO (2014), así como también de la *Gmelina arborea* 650 Kg/m³ según (Jiménez, 2016).

De esta manera se puede mencionar que la mayoría de las especies comerciales presentan una relación similar a la especie *Hevea brasiliensis* en lo que relaciona a su densidad básica, presentando de esta manera una capacidad de utilidad similar a dichas especies en lo que respecta al uso, por medio de la propiedad analizada.

3.2.3. *Peso específico*

3.2.3.1. *Peso específico en estado verde*

Tabla 6-3: Representación del promedio del peso específico en estado verde para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie *Hevea brasiliensis*.

Peso específico estado verde (gr/cm³)			
N° de Árboles	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	0,68	0,69	0,76
Árbol 2	0,74	0,64	0,54
Árbol 3	0,77	0,73	0,61
PROMEDIO	0,73	0,69	0,64

Fuente: Nugshi, 2021

Se presentan variaciones relativamente considerables con respecto al peso específico en estado verde tanto para las diferentes secciones como para el número de árboles , es decir que los datos obtenidos en la presente investigación muestran los siguientes resultados, la sección con el valor de la media más alta es para la sección baja con 0,77 gr/cm³ perteneciente al árbol 3 y por otra

parte la sección alta presento la media más baja con 0,54 gr/cm³ correspondiente al árbol 2 como se observa en el **tabla 13**, estadísticamente la variación de las medias con relación al peso específico es mínima entre secciones tanto para el máximo como para el valor mínimo, esto se debe a que las muestras extraídas no presentan diferencias tanto en edad, topografía ni tampoco un cambio en los factores climáticos ya que los árboles fueron extraídos de una plantación con edades y condiciones similares.

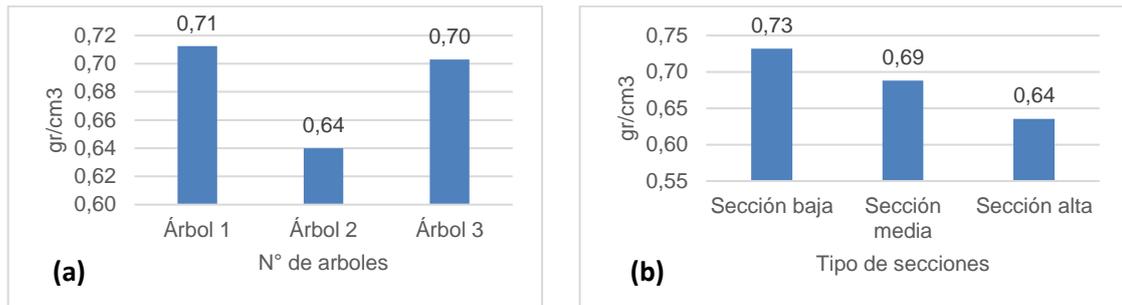


Gráfico 5-3: Promedio total del peso específico en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

Con relación a las medias totales se puede concluir que el árbol con el peso específico más alto es el árbol 1 con un valor de 0,71 gr/cm³ frente a 0,64 gr/cm³ perteneciente al árbol 2 cuyo valor es el más bajo **grafico 5a**, ciertamente la variación es mínima entre árboles, pero estadísticamente notorio, esto debe a que los árboles presentan, edades y condiciones iguales.

En cuanto a la sección que presentó el mayor peso específico en estado verde fue la sección baja con 0,73 gr/cm³, en cambio la sección alta presento una media de 0,64 gr/cm³ la cual se la considera como la media más baja como lo demuestra el **grafico 5b**.

Se concluye que los valores presentados en la gráfica estadísticamente presentan una variación en el peso específico tanto para el número de árboles como para el tipo de secciones, estas variaciones se dan debido a que los árboles presentan condiciones similares de edad, topografía, y condiciones climáticas.

3.2.3.2. Peso específico seco al horno

Tabla 7-3: Representación del promedio del peso específico seco al horno para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie *Hevea brasiliensis* .

Peso específico seco al horno (gr/cm3)			
N° de Árboles	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	0,51	0,53	0,54
Árbol 2	0,52	0,49	0,52
Árbol 3	0,50	0,52	0,44
PROMEDIO	0,51	0,51	0,50

Fuente: Nugshi, 2021

Para el peso específico seco al horno se presentaron los siguientes valores, la sección con la media máxima es para la sección alta con 0,54 gr/cm³ perteneciente al árbol 1 frente a 0,44 gr/cm³ el cual corresponde a la misma sección, pero presenta el valor más bajo esto corresponde al árbol 3 como lo demuestra la **tabla 14**, estos valores corresponden a las medias tomadas por el número de árboles y perteneciente al tipo de secciones de cada árbol.

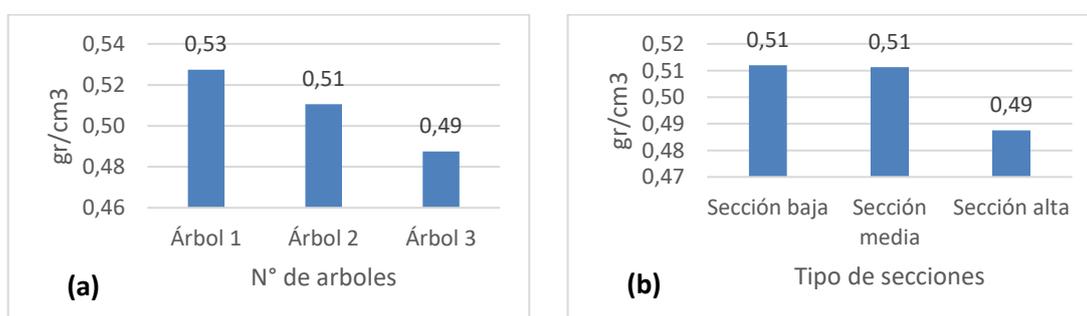


Gráfico 6-3: Promedio total del peso específico en estado verde representado para los diferentes tipos de secciones **(a)** y del número de árboles **(b)** de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

Con relación a las medias totales para el peso específico seco al horno se presentó los siguientes valores, para el numero de árboles fue la siguiente, el árbol que presento la media más alta corresponde al árbol 1 con 0,53 gr/cm³, mientras que el árbol 3 presento la media más baja con un valor de 0,49 gr/cm³ como lo demuestra el **grafico 6a** . Por otra parte, el tipo de sección con la media más alta corresponde a la sección baja con 0,51 gr/cm³ frente a la sección alta el cual presento la media más baja 0,49 gr/cm³ **grafico 6b**.

Se puede concluir que los valores de la media no presentan una diferencia estadísticamente significativa tanto para el número de árboles como para el tipo de secciones.

3.2.3.3. *Peso específico básico*

Tabla 8-3: Representación del promedio del peso específico básico para los diferentes tipos de secciones y numero de árboles de la especie *Hevea brasiliensis*

N° de Árboles	Peso específico básico (gr/cm3)		
	Sección baja	Sección media	Sección alta
Árbol 1	0,47	0,49	0,49
Árbol 2	0,50	0,46	0,35
Árbol 3	0,48	0,49	0,41
PROMEDIO	0,48	0,48	0,42

Fuente: Nugshi, 2021

El peso específico básico de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* para los diferentes tipos de secciones de los 3 árboles en estudio reflejan los siguientes valores, la sección que presentó la densidad básica más alta corresponde a la sección baja con una media de 0.50 gr/cm3 perteneciente al árbol 2, en cambio la sección con el valor de la media más baja corresponde a la sección alta con 0,35 gr/cm3 perteneciendo de la misma forma al árbol 2.

Los datos de la **tabla 15** demuestra que existe una variación mínima entre los valores del peso específico básico tanto para los diferentes tipos de secciones como para los diferentes árboles , demostrando así que la dinámica de los valores entre el número de árbol y el tipo de secciones no es la misma para todo los árboles ya que existes variaciones en cada una de ellas es decir que el árbol 1 presenta una dinámica de valores descendentes con relación al árbol 2 el cual presenta una dinámica descendente pero el árbol 3 presenta valores desordenados , si bien la diferencia entre estas es minima se pude concluir que cada árbol presenta su propia dinamica .

Esto se debe a que los árboles utilizados para la presente investigación presentan características similares tanto en edad, topografía ,condiciones climáticas etcétera .

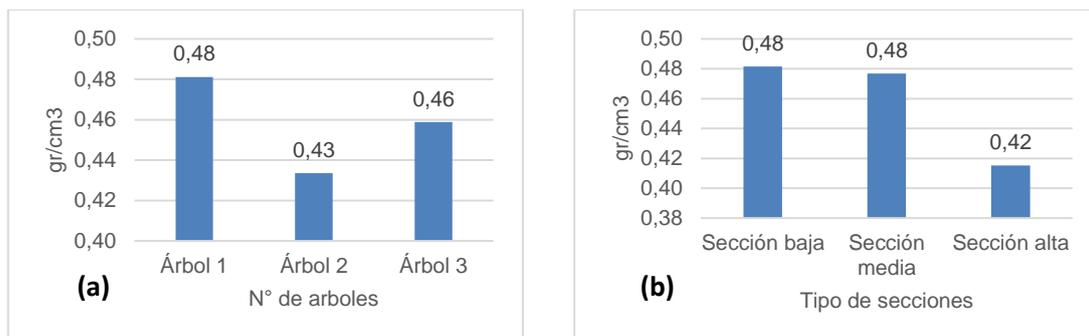


Gráfico 7-3: Promedio total del peso específico básico representado para los diferentes tipos de secciones (a) y del número de árboles (b) de la madera de *Hevea brasiliensis*.

Fuente: Nugshi, 2021

Para el análisis de la media total para el peso específico básico tanto para el número de árboles como para los diferentes tipos de secciones reflejaron los siguientes resultados. El árbol 1 obtuvo la media total más alta con un valor de 0,48 gr/cm³ frente a 0,43 gr/cm³ perteneciente al árbol 2, en esta dinámica los valores de los tres árboles a estudiar no presentan gran variación entre sí como lo demuestra la **gráfica 7a**.

Con respecto a las media total de las diferentes secciones se concluye que tanto la sección baja como la sección media presentaron valores moderadamente similares 0,48 gr/cm³ en cambio la sección alta presentó la media más baja con un valor de 0,42 gr/cm³ **gráfica 7b**, de la misma manera se puede mencionar que estadísticamente no existe una gran variación entre sí, y se concluye que los valores del peso específico básico oscilan entre 0,42 gr/cm³ a 0,48 gr/cm³ considerándolo como una madera ligera.

Estos datos se asemejan con los de Rivero y Moya (2006: p. 8) citado de Vargas (2006: p. 119) los cuales mencionan que valores del peso específico básico < 0,49 gr/cm³ se los considera como madera ligera o liviana y las maderas cuyo peso específico básico es > 0,50 , 0,60 gr/cm³ en adelante se lo considera como madera moderadamente dura, semi dura y dura según la clasificación realizada por (Vargas, 2006: p. 119).

De la misma manera estudios realizados por el MAE y FAO (2014: p. 12) corroboran con una similitud en cuanto al peso específico básico de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* con las especies comerciales y de mayor utilidad como *Pinus radiata* 0,39 gr/cm³, *Eucalyptus globulus* 0,55 gr/cm³, *Cordia alliodora* 0,38 gr/cm³, *Ochroma pyramidale* 0,14 gr/cm³, así también de la madera de la especie *Gmelina arborea* 0,65 gr/cm³, según (Jiménez Pozo, 2016).

3.3. **Para el cumplimiento de tercer objetivo:** Analizar el comportamiento de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* frente a los esfuerzos de compresión y flexión.

3.3.1. Flexión estática.

Árbol 1

Los resultados del ensayo de flexión estática para la especie *Hevea brasiliensis* demuestran los siguientes valores.

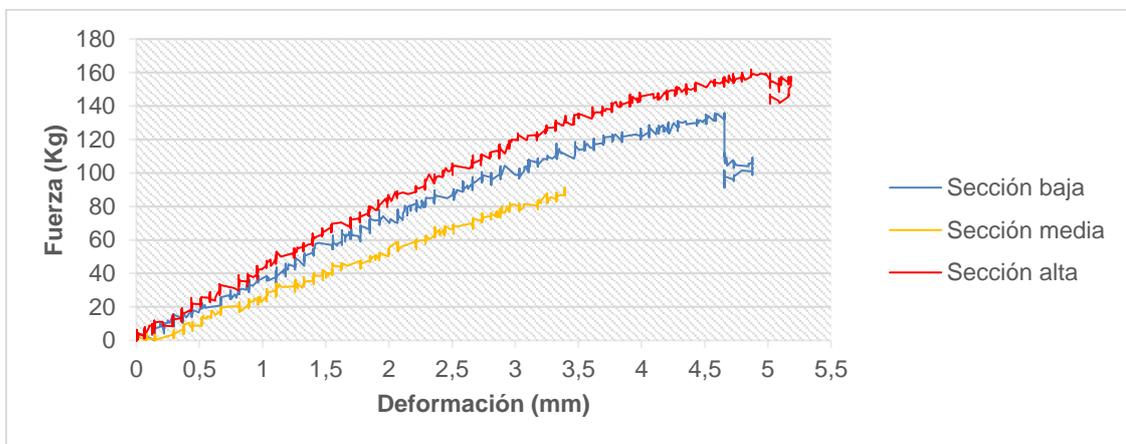


Gráfico 8-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática de las diferentes secciones del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

La gráfica de fuerza vs deformación demuestra que la sección alta presenta una mayor resistencia a la deformación frente a las demás secciones, tanto para la sección media como para la sección baja los cuales presentaron valores moderadamente variables, si bien las probetas provienen del mismo árbol, los resultados demuestran que la variación de la resistencia a la deformación si existe para cada una de las diferentes secciones como lo demuestra la **gráfica 8**.

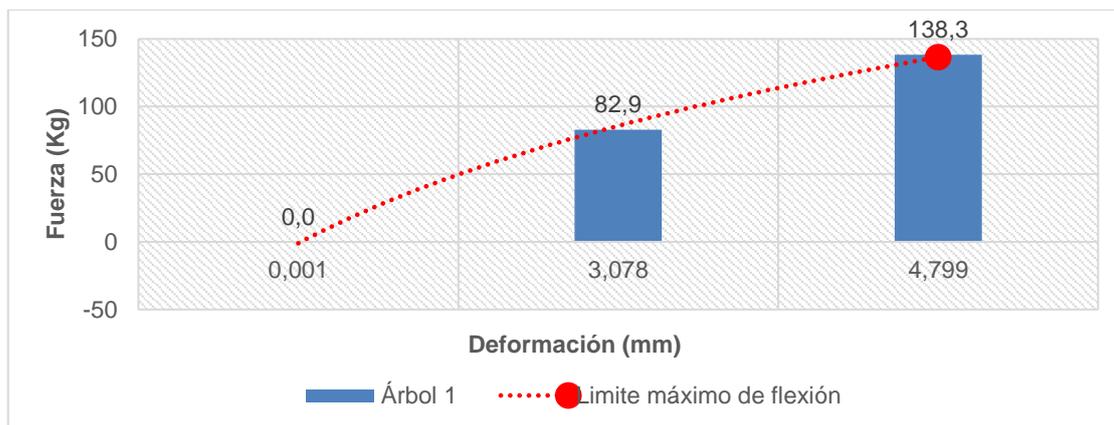


Gráfico 9-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

El promedio o la media de los datos de flexión estática realizadas a las diferentes probetas de la madera de la especie de *Hevea brasiliensis* con las especificaciones del área y del volumen anteriormente mencionados reflejan que el árbol 1 soporta una carga media de 138.3 kg y presentando una deformación de 4,799 mm , una vez sobrepasado dicho valor el cual se lo considera como el límite máximo de flexión, las probetas de las diferentes secciones del árbol 1 tienden a presentar rupturas debido a la excesiva carga ejercida sobre dicho ensayo como lo demuestran el **grafico 8** y el **grafico 9**.

Tabla 9-3: Valores promedios obtenidos de la flexión estática del árbol 1.

	Valores	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP Kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (MOE Kg/cm ²)	Módulo de ruptura (MOR Kg/cm ²)
Flexión estática	Mínimo	2,8918	32677,0061	2,8918
	Máximo	634,6893	90661,8061	634,6893
	Promedio	318,7905	61669,4061	318,7905

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores del Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) para el árbol 1 reflejan los siguientes resultados, el valor mínimo obtenido es de 2,8918 kg/cm² y una máxima de 634,6893 Kg/cm², y una promedio total de 318,7905 Kg/cm², de la misma forma el módulo de elasticidad (MOE) presente en la investigación es de 32677.0061 Kg/cm² como valor mínimo, presentando de la misma manera un máximo de 90661.81 Kg/cm² y una media de 61669,4061 kg/cm² ver **tabla 16**, estos valores concuerdan con las investigaciones realizadas por Bobadilla y García (2016: p. 65), el cual obtuvo un valor máximo de 92400 Kg/cm² y por Domínguez (2006: p. 92), 97700 Kg/cm².

El módulo de ruptura (MOR) presentó un valor mínimo de 2,8918 Kg/cm², una máxima de 634,689 Kg/cm² y una media de 318,7956 kg/cm² presentando de esta manera una clasificación media ver **tabla 16**, dicho valores concuerdan con los estudios realizados por Bobadilla y García (2016: p.65), el cual menciona que en la investigación realizada obtuvo un Módulo de ruptura cuyo valor fue de 660 Kg/cm², y para el tipo de clasificación, Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), mencionan que los valores del MOR de 501 kg/cm² a 800 kg/cm² se lo denomina MOR media.

Árbol 2

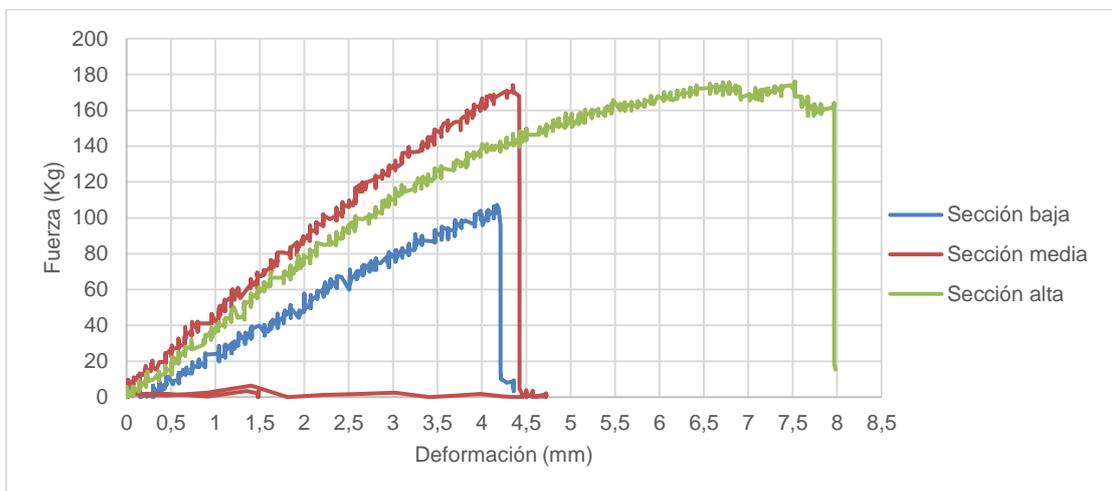


Gráfico 10-3: Representación de la Fuerza vs Deformación de las diferentes secciones del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

La dinámica de la Fuerza vs Deformación de la **gráfica 10** de las diferentes secciones del árbol 2 presentan la siguiente orientación, la sección que soporto la mayor fuerza y una deformación

significativamente similar fue la sección alta y la sección media ,mientras que la sección baja soporto una carga menor de fuerza y su deformación se lo considero como baja esta dinámica también se lo observo en el árbol 1 ver **gráfico 8**.

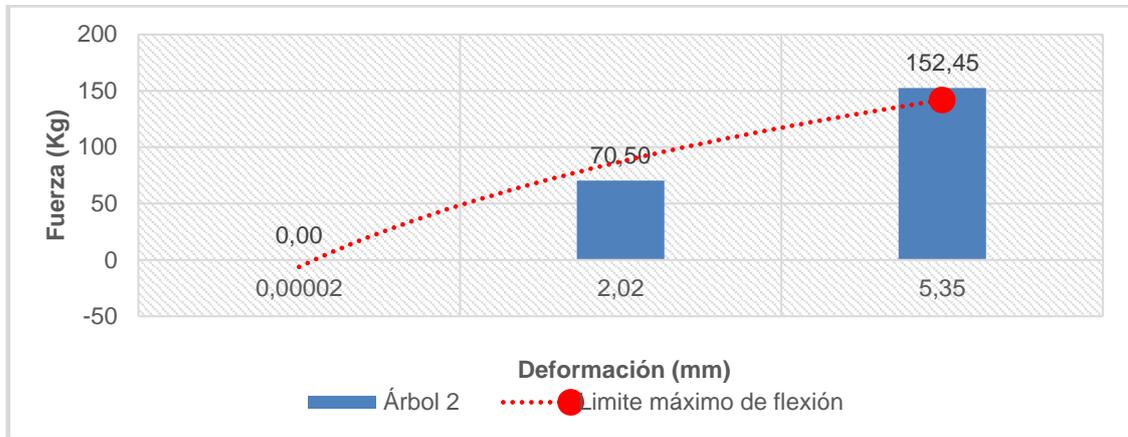


Gráfico 11-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

Con respecto a los valores de la flexión estática para las muestras de madera de la especie *Hevea brasiliensis* , se observó que el límite máximo de deformación se presentó a una carga aplicada de 152.45 Kg teniendo así una deformación de 5.35 mm, este valor es un valor promedio de las tres secciones estudiadas del árbol 2, a partir de este punto las probetas entra a un rango de ruptura terminando así la flexibilidad de la misma. La **grafica 10** y **11** demuestra que una vez sobrepasada el límite máximo de flexión las probetas empiezan a presentar rupturas para la cual se recomienda disminuir o terminar la carga ejercida sobre ella.

Tabla 10-3: Promedios totales obtenidos de la flexión estática del árbol 2.

	Valores	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)	Módulo de elasticidad (MOE)	Módulo de ruptura (MOR)
Flexión estática	mínimo	4,3376	3426,2828	4,3376
	máximo	596,21968	89010,3499	596,21968
	Promedio	300,2787	46218,3163	300,2787

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores del Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) para el árbol 2 reflejan los siguientes resultados, el valor mínimo obtenido es de 4,3376 kg/cm², una máxima de 596,2196 Kg/cm² y una media total de 300,2787 kg/cm², de la misma forma el módulo de elasticidad (MOE) presente en la investigación es de 3426,2828 Kg/cm² como valor mínimo, presentando de la misma manera un máximo de 89010,3499Kg/cm² y una media de 46218,3163 kg/cm² ver **tabla 17**, estos valores presentan una similitud medianamente iguales con las investigaciones realizadas por Bobadilla Maldonado y García (2016: p.65), el cual obtuvo un valor máximo de 92400 Kg/cm² y por Domínguez (2006: p. 92), 97.700 Kg/cm².

El módulo de ruptura (MOR) presentó un valor mínimo de 4,3376 Kg/cm², una máxima de 596,21968 Kg/cm² y una media de 300,2787 kg/cm² como se visualiza en la **tabla 17**, presentando de esta manera una clasificación media, dicho valores concuerdan con los estudios realizados por Bobadilla y García (2016: p.65), el cual menciona que en la investigación realizada obtuvo un Módulo de ruptura cuyo valor fue de 660 Kg/cm², y para el tipo de clasificación, Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), mencionan que los valores del MOR de 501 kg/cm² a 800 kg/cm² se dé lo denomina MOR media.

Árbol 3

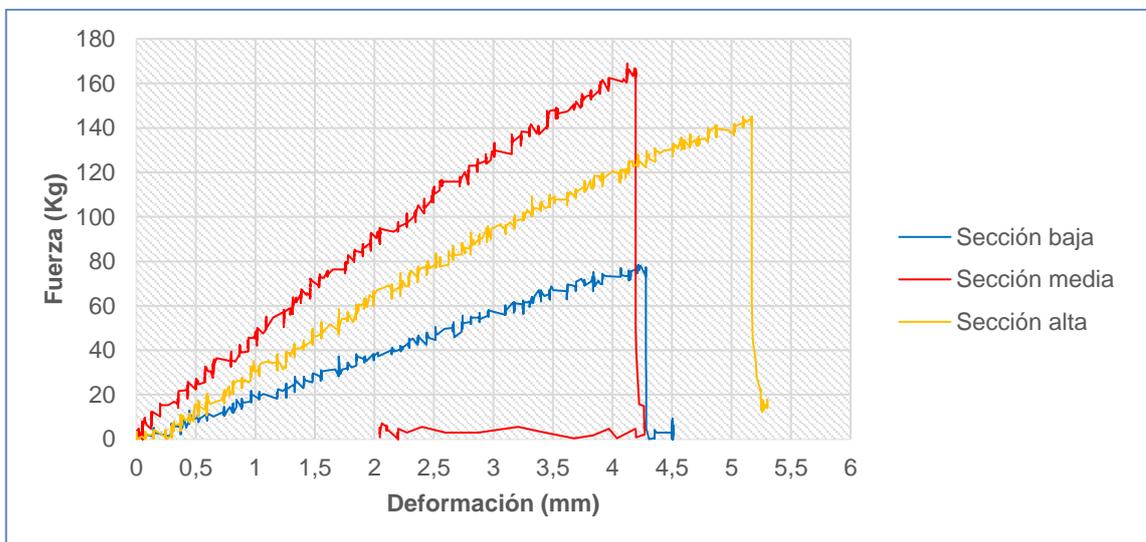


Gráfico 12-3: Representación de la Fuerza vs Deformación de las diferentes secciones del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 2021

La grafica de la fuerza vs deformación muestra que la sección media soporta una mayor carga y presenta una mayor resistencia ser deformada, de la misma manera la sección media presenta una dinámica similar a la sección media, en donde su resistencia a ser formada es mayor que las demás secciones, mientras que la sección baja presenta una resistencia a la carga relativamente menor que las dos secciones anteriormente mencionadas pero su resistencia a ser deformada es similar a las demás secciones, de esta manera se puede concluir que la dinámica de la fuerza y la deformación **gráfica 12**. La cual presentan un dinamismo significativamente igual en lo que respecta a su deformación, pero varia en cada sección la carga o fuerza que se le aplique sobre la misma.

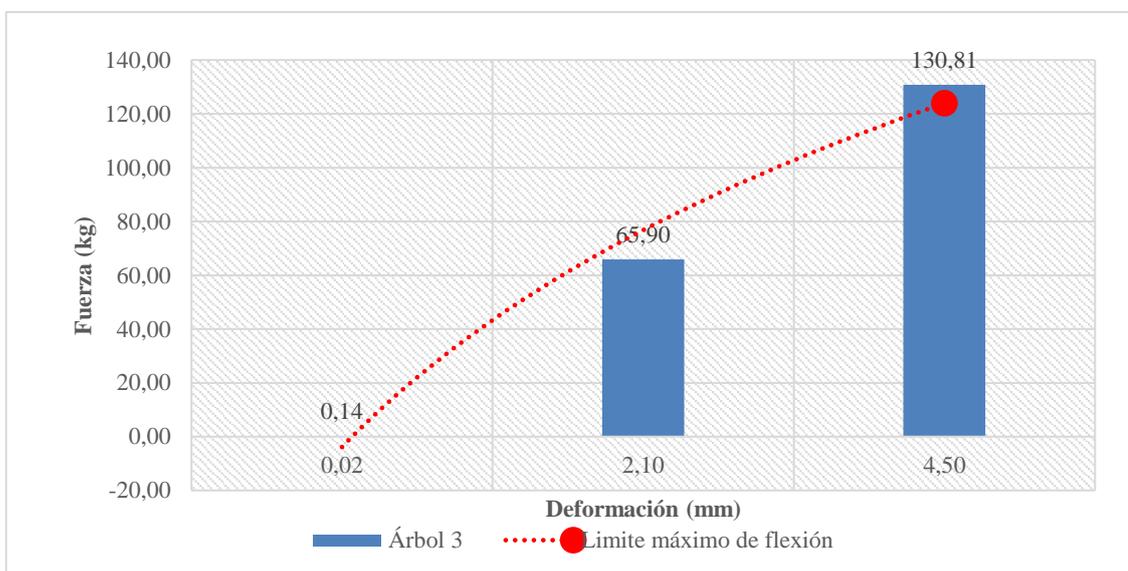


Gráfico 13-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación en la flexión estática del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 2021

La media de los datos de la flexión estática realizadas a las diferentes secciones con sus respectivas probetas de la madera de la especie de *Hevea brasiliensis* con las especificaciones del área y del volumen anteriormente mencionados reflejan que el árbol 3 soporta una fuerza promedia de 130.81 kg presentando una deformación de 4,50 mm como lo demuestra la **gráfica 13**, de la misma manera se concluye que una vez sobrepasado este valor el cual se lo considera como el límite máximo de flexión empiezan a presentar rupturas y agrietamientos debido al exceso de fuerza y carga que se aplique sobre ella.

Tabla 11-3: Promedios totales obtenidos de la flexión estática del árbol 3.

	Valores	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)	Módulo de elasticidad (MOE)	Módulo de ruptura (MOR)
Flexión estática	mínimo	1,4459	25846,1026	1,4459
	máximo	619,4786	96409,9237	619,4786
	Promedio	310,4623	61128,0132	310,4623

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores del Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) para el árbol 3 reflejan los siguientes resultados, el valor mínimo obtenido es de 1,4459 kg/cm², una máxima de 619,4786 Kg/cm² y una media de 310,4623 kg/cm², de la misma forma el módulo de elasticidad (MOE) presente en la investigación es de 25846,1026 Kg/cm² considerado como valor mínimo, presentando de la misma manera un máximo de 96409,9237 Kg/cm² y una media de 61128,0132 kg/cm² ver **tabla 18**, estos valores presentan aun similitud medianamente iguales con las investigaciones realizadas por Bobadilla y García (2016: p.65), el cual obtuvo un valor máximo de 92400 Kg/cm² y por Domínguez (2006: p.92), 97.700 Kg/cm² así también, Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), en su investigación obtuvo 97000 Kg/cm².

Para el módulo de ruptura (MOR) presentó un valor mínimo de 1,4459 Kg/cm², una máxima de 619,4786 Kg/cm² y una media de 310,4623 kg/cm², como lo demuestra la **tabla 18**, obteniendo una clasificación media, los valores presentados concuerdan con los estudios realizados por Bobadilla y García (2016: p.65), el cual menciona que en la investigación realizada obtuvo un Módulo de ruptura cuyo valor fue de 660 Kg/cm², también es corroborado por Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), quienes obtuvieron los mismos resultados y también mencionan que los valores del MOR de 501 kg/cm² a 800 kg/cm² se le denomina dentro de la clasificación como MOR media.

3.3.2. Compresión paralela a la fibra

Árbol 1

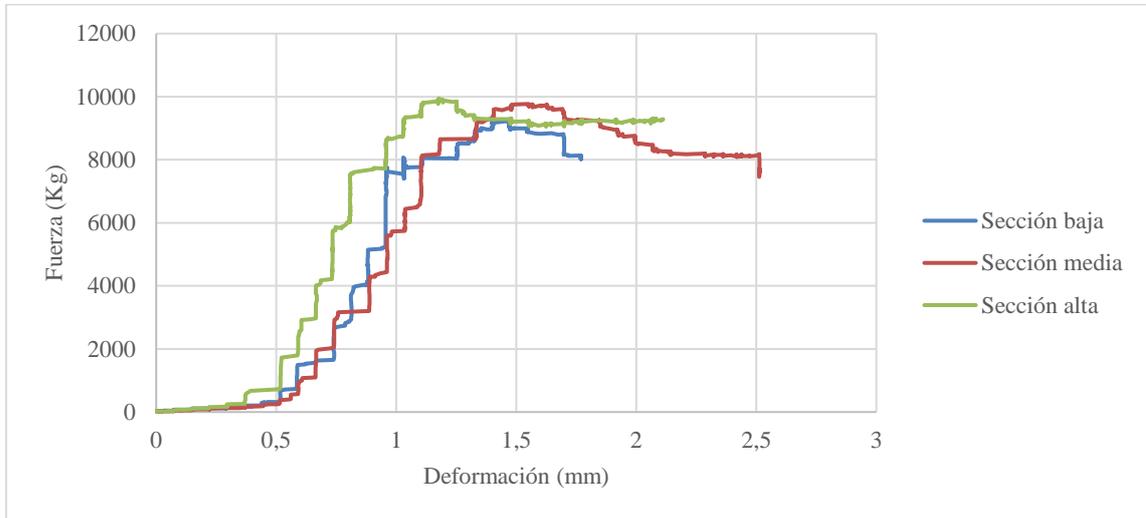


Gráfico 14-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

La **gráfica 14** presenta una dinámica variada para cada una de las secciones del árbol 1 con respecto a la compresión paralela a la fibra, demostrando de esta manera que la sección alta y la sección media soportan una mayor carga o fuerza con relación a la sección baja, de la misma forma las deformaciones en dichas secciones son relativamente similares entre sí y actúan en función a la fuerza que se ejerza sobre ellas, con la representación de la gráfica analizada se puede mencionar que el árbol 1, no presenta valores de fuerza ni deformación significativamente diferentes entre ellos, sino que presentan una dinámica similar para cada uno de los valores anteriormente mencionados.

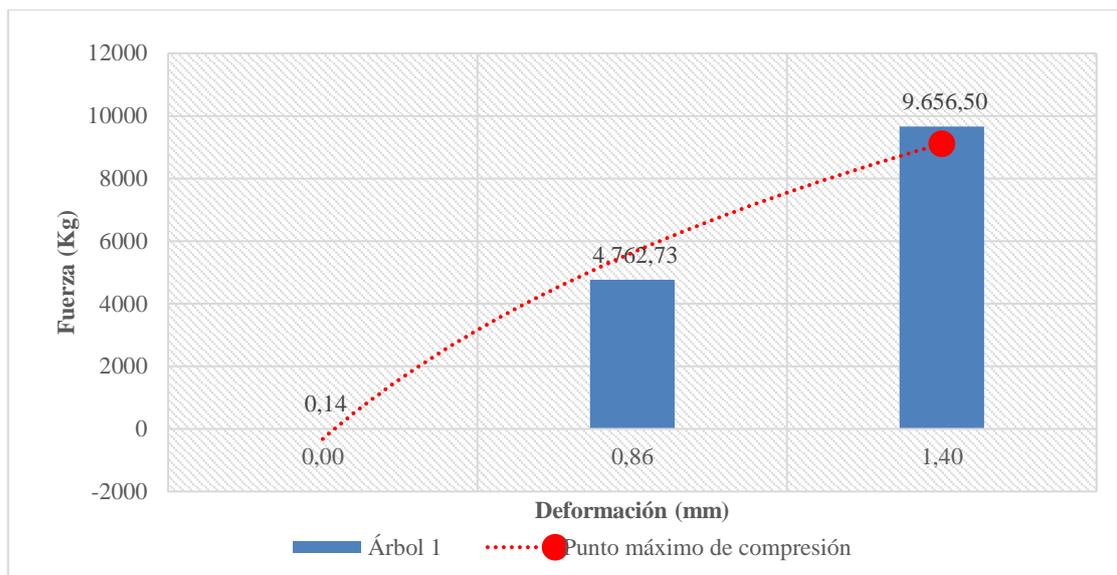


Gráfico 15-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

Una vez analizada el límite máximo de compresión paralela a la fibra de la madera de la especie *Hevea brasiliensis* se obtuvo los siguientes resultados. Al aplicar una fuerza de 0,14 kg a las probetas de las diferentes secciones del árbol 1 se pudo observar que presento una deformación de 0,0001 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza de 4762.73 kg se pudo observar una deformación de 0,86 mm considerados como valores promedios, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 9656,50 kg se obtuvo una deformación de las probetas de 1,40 mm ver **grafica 15**, llegando así al límite máximo de compresión. Una vez pasado este límite las probetas tienden a deformarse al máximo y a presentar rupturas significativamente notables.

Tabla 12-3: Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 1.

Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo al límite proporcional ELP (Kg/cm ²)	
	Valor	
	mínimo	0,0170
	máximo	386,2601
	promedio	193,6103

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores de compresión paralela a la fibra presentan una resistencia mínima de 0,0170 kg/cm², una máxima de 386,2601 kg/cm² y de la misma manera una media o promedio de 193,6103 kg/cm² **tabla 19**, al realizar una comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores tales como Maderame (S.F: p.5), el cual obtuvo un valor máximo de 320 kg/cm², este dato también fue corroborado por Domínguez (2006: p.92) el cual obtuvo el mismo valor de resistencia a compresión.

De acuerdo al valor de máximo de compresión a la resistencia se lo clasifica como ELP media , esto según la clasificación realizada por Ccayanchira y Reyes (2019: p.36) y también se concluye que la madera de dicha especie comparte una resistencia similar a las maderas de la especie *Virola spp.* y *Jacaranda spp.* cuyos valores son de 370 kg/cm² y 310 kg/cm² respectivamente, dichos datos son respaldados por (Domínguez , 2006: p.92).

Árbol 2

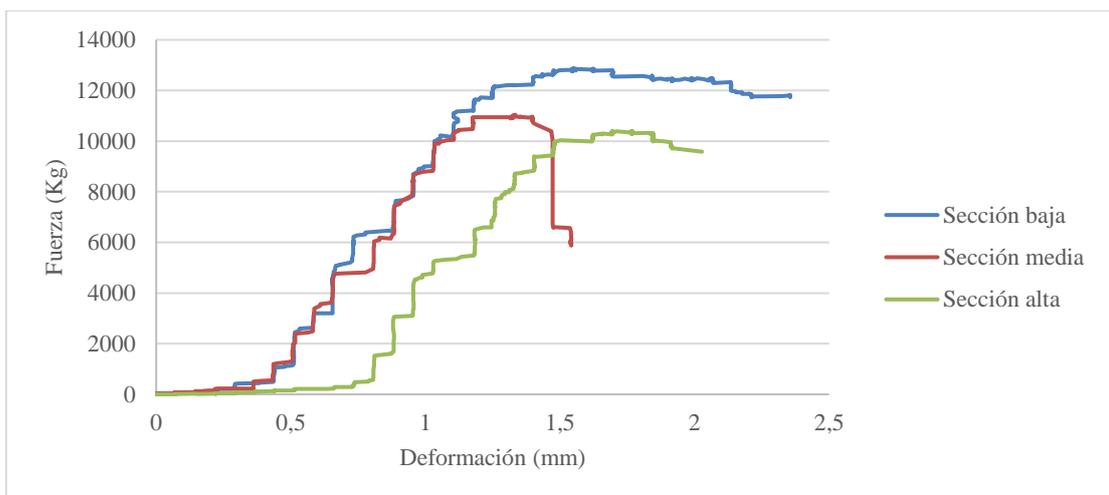


Gráfico 16-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

La siguiente grafica presenta una tendencia similar de fuerza vs deformación para cada una de las secciones del árbol 2 con respecto a la compresión paralela a la fibra, demostrando de esta manera que la sección baja soporta una mayor fuerza de compresión presentando así una deformación constante, mientras que la sección media y alta soportan fuerza de compresión pero existe una diferencia relativa con respecto a la deformación, es decir que la sección media soporto la misma

fuerza de o carga pero su deformación fue más rápida, una vez analizada la **gráfica 16**, se puede mencionar que el árbol 2 presento valores de fuerza y deformación estadísticamente similares.

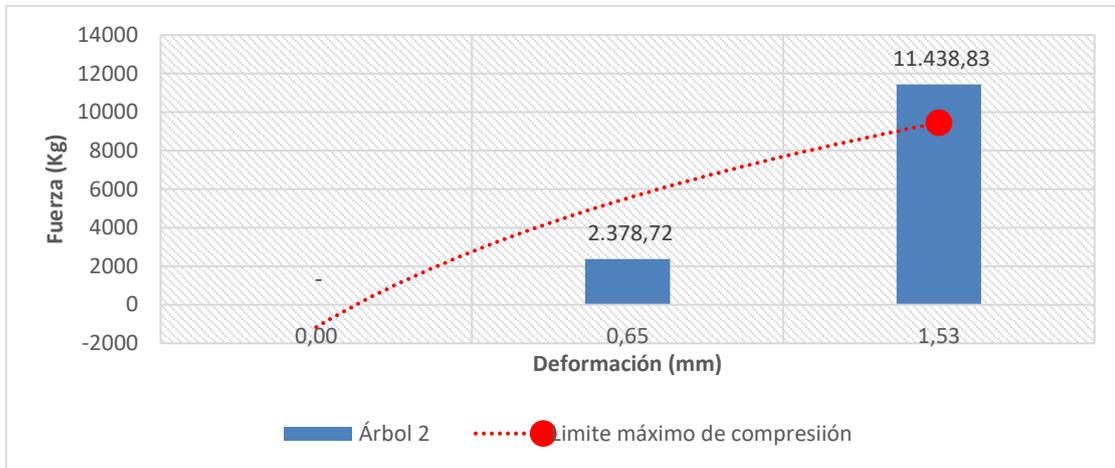


Gráfico 17-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

Al aplicar una fuerza de 0,015 kg a las probetas de las diferentes secciones del árbol 2 se pudo observar que presentaron una deformación de 0,0012 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza media de 2378,727 presentó una deformación de 0,65 mm, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 11438,83 kg se obtuvo una deformación en las probetas de 1,53 mm como lo demuestra la **gráfica 17**, una vez aplicada dicha fuerza las probetas llegan al límite máximo de compresión. A partir de este punto las probetas entran en una etapa de ruptura en donde la carga que es ejercida sobre ella tiende a deformar y presentan rupturas de varios tipos.

Tabla 13-3: Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 2.

Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo al límite proporcional ELP	
	Valor	(Kg/cm ²)
	mínimo	0,01698
	máximo	457,5533
	promedio	229,01548

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores de compresión paralela a la fibra presentaron una resistencia mínima de 0,01698 kg/cm², una máxima de 457,5533 kg/cm² y de la misma manera una media o promedio de 229,01548 kg/cm² **tabla 20**, al realizar una comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores tales como Maderame (S.F: p.5) el cual obtuvo un valor máximo de 320 kg/cm², este dato también fue corroborado por Domínguez (2006: p.92) el cual obtuvo el mismo valor de resistencia a compresión.

De acuerdo al valor de máximo de compresión a la resistencia se lo clasifica como MOR media , esto según la clasificación realizada por Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), y también se concluye que la madera de dicha especie comparte una resistencia similar a las maderas de la especie *Virola spp.* y *Jacaranda spp.* cuyos valores son de 370 kg/cm² y 310 kg/cm² respectivamente, dichos datos son respaldados por (Domínguez, 2006: p.92).

Árbol 3

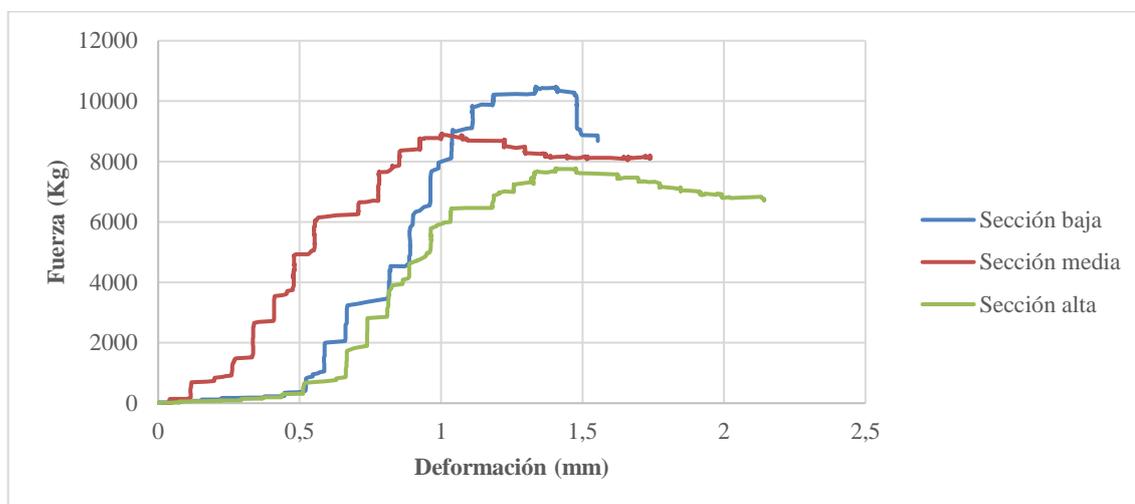


Gráfico 18-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión paralela a la fibra de las diferentes secciones del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 2021

La presente grafica muestra una tendencia moderadamente similar de fuerza vs deformación para cada una de las diferentes secciones del árbol 3 con respecto a la compresión paralela a la fibra, mostrando de esta manera que la sección baja soporta mayor fuerza de compresión y presentando

así una dinámica en la deformación de manera constante, mientras que la sección media y alta soportan fuerza de compresión relativamente menores y del mismo modo existe una diferencia relativa con respecto a la deformación, es decir que la sección alta soportó una fuerza de carga menor que las dos secciones anteriormente mencionadas pero existe una tendencia similar en la deformación para las tres secciones de la madera de la especie *Hevea brasiliensis*, una vez analizada la **gráfica 18** se puede mencionar que cada una de las diferentes secciones del árbol 3 presento valores promedios estadísticamente similares de fuerza y deformación.

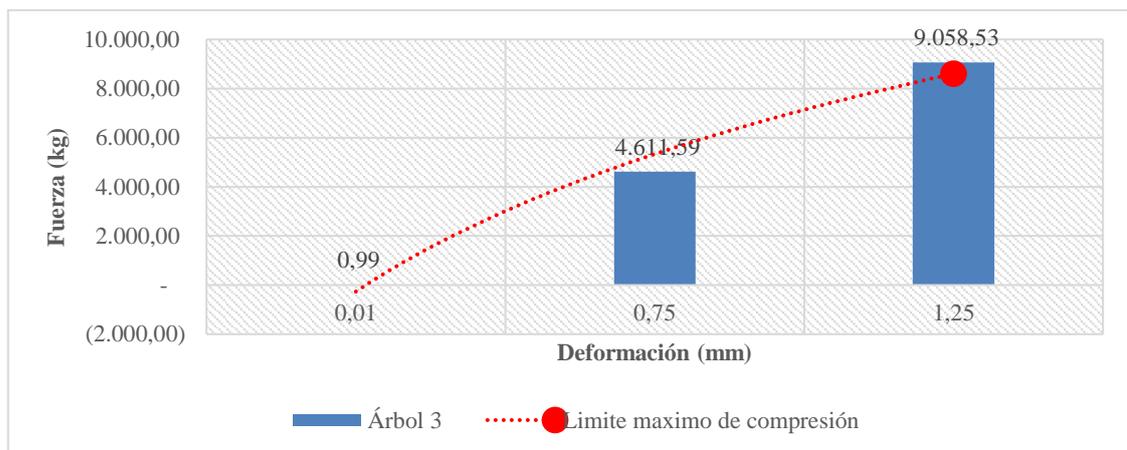


Gráfico 19-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión paralela a la fibra del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 20211

Con respecto al promedio de las fuerzas aplicadas a cada una de las diferentes secciones del árbol 3 se pudo demostrar el siguiente resultado. A una fuerza mínima aplicada de 0,99 kg se obtuvo una deformación de 0,01 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza media de 4611,59 kg se presentó una deformación de 0,75 mm, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 9058,53 kg se obtuvo una deformación en las probetas de 1,25 mm ver **gráfico 19**. A partir de la fuerza máxima aplicada sobre las probetas se concluye que una vez aplicada dicha fuerza las probetas llegan al límite máximo de compresión y desde este punto las probetas entran en una etapa de ruptura en donde la carga que es ejercida sobre ella tiende a deformar y presentan daños de varios tipos.

Tabla 14-3: Promedios totales obtenidos de la compresión paralela a la fibra del árbol 3.

	Valor	Esfuerzo al límite proporcional ELP (Kg/cm²)
Compresión paralela a la fibra	mínimo	0,0170
	máximo	362,3413
	promedio	181,4456

Fuente: Nugshi, 2021

En lo que respecta a valores de compresión paralela a la fibra presentaron una resistencia mínima de 0,0170 kg/cm², una máxima de 362,3413 kg/cm² y de la misma manera una media o promedio de 181,4456 kg/cm², de esta manera se demuestra que los valores de la presente investigación concuerdan con los de Maderame (S.F: p.5), el cual obtuvo un valor máximo de 320 kg/cm², este dato también fue corroborado por Domínguez (2006: p.92), el cual obtuvo un dato similar de resistencia a compresión a la del autor anteriormente mencionado.

El valor de máximo de compresión a la resistencia se lo clasifica como MOR media , esto según la clasificación realizada por Ccayanchira y Reyes (2019: p.36), y también se concluye que la madera de dicha especie comparte una resistencia similar a las maderas de la especie *Virola spp.* y *Jacaranda ssp.* cuyos valores son de 370 kg/cm² y 310 kg/cm² respectivamente, dichos datos son respaldados por (Domínguez , 2006: p.92).

3.3.3. Compresión perpendicular a la fibra.

Árbol 1

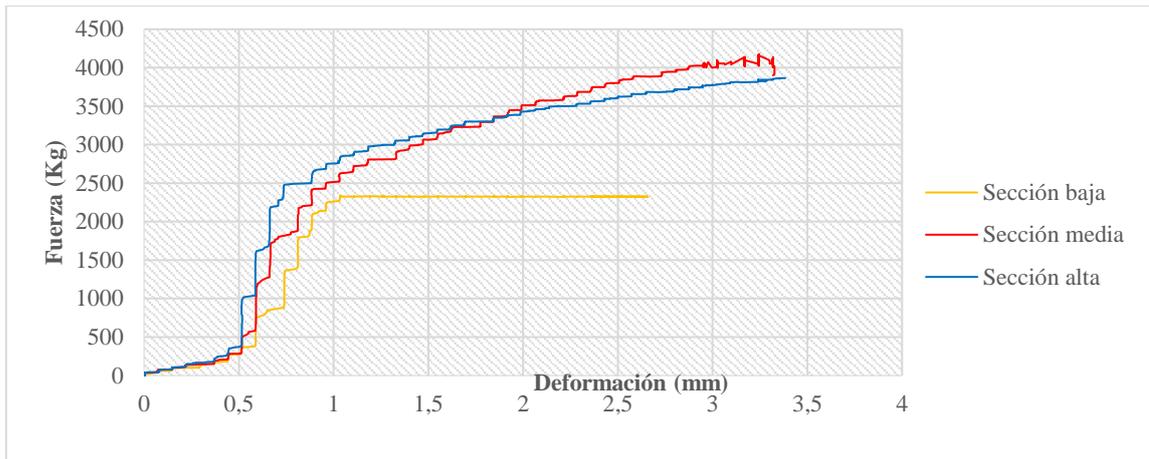


Gráfico 20-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

La compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 1 muestra una gráfica de tendencia moderadamente diferente de fuerza vs deformación para la sección baja, la cual soportó una carga menor y una deformación medianamente constante, mientras que las secciones media y alta soportaron una fuerza mayor de compresión y similar entre estas dos últimas secciones, presentando así una dinámica en la deformación la cual actuó de una manera constante. De este modo se puede mencionar que las tres secciones de la madera de la especie *Hevea brasiliensis*, una vez analizada la **gráfica 20** se llega a la conclusión que cada una de las diferentes secciones del árbol 1 presentan valores promedios estadísticamente similares de fuerza y deformación.

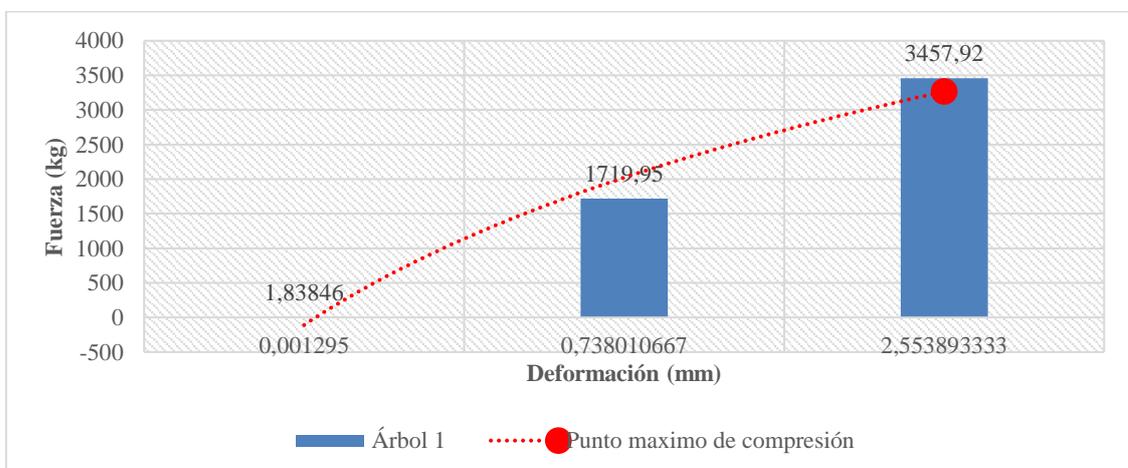


Gráfico 21-3: Representación los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 1.

Fuente: Nugshi, 2021

El promedio de las fuerzas aplicadas a cada una de las diferentes secciones del árbol 1 demostro lo siguientes resultados . A una fuerza mínima aplicada de 1,83846 kg se obtuvo una deformación de 0,0012 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza media de 171995,59 kg se presentó una deformación de 0,734 mm, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 3457,92 kg se obtuvo una deformación en las diferentes probetas de 2,554 mm . A partir de la fuerza máxima aplicada sobre las probetas se concluye que una vez aplicada dicha fuerza las probetas llegan al límite máximo de compresión y desde este punto entran en una etapa de ruptura en donde la carga que es ejercida sobre ella tiende a deformar las probetas del ensayo.

Tabla 15-3: Valores promedios obtenidos de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 1.

Compresión perpendicular a la fibra	Valores	Esfuerzo al límite proporcional ELP (Kg/cm ²)
	mínimo	0,02828
máximo	138,3168	
promedio	69,7058	

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores promedios de compresión perpendicular a la fibra de la especie *Hevea brasiliensis* presentaron una resistencia mínima de 0,02828 kg/cm², una máxima de 138,3168 kg/cm² y de la misma manera una media o promedio de 69,7058 kg/cm² **tabla 22**, los datos de la media son relativamente similares a los datos obtenidos por Killmann y Hong (2017: p.78), el cual obtuvo un valor promedio de 50 kg/cm² en una madera que presentaba el 15% de humedad.

Si bien los datos de la compresión perpendicular a la fibra obtenidos en la presente investigación no cumplen una similitud del 100% con respecto a los datos obtenidos por ciertos autores, pero si se encuentran en el rango de la clasificación realizada por en donde mencionan que las maderas

cuyo esfuerzo presenten valores de 66-85 Kg/cm² se lo clasifica como madera con esfuerzo de compresión media.

Árbol 2

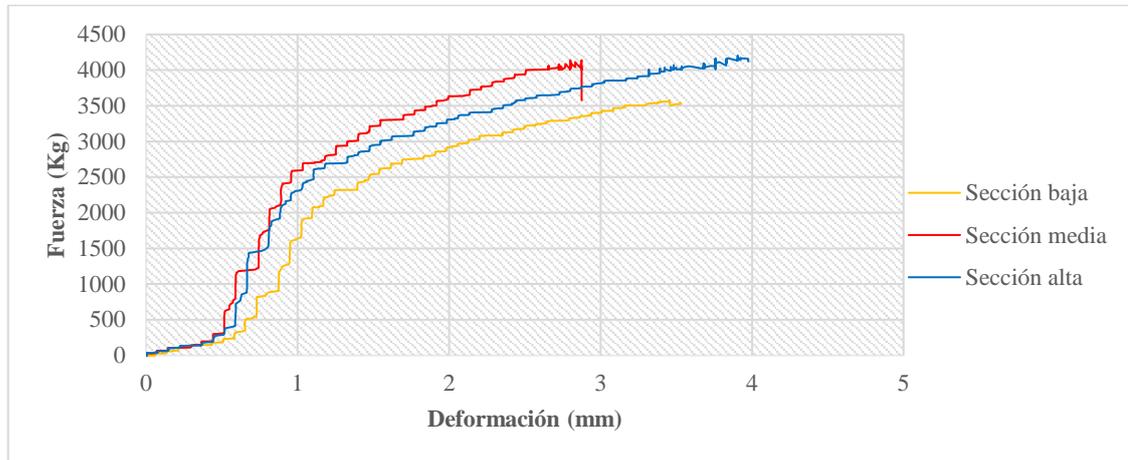
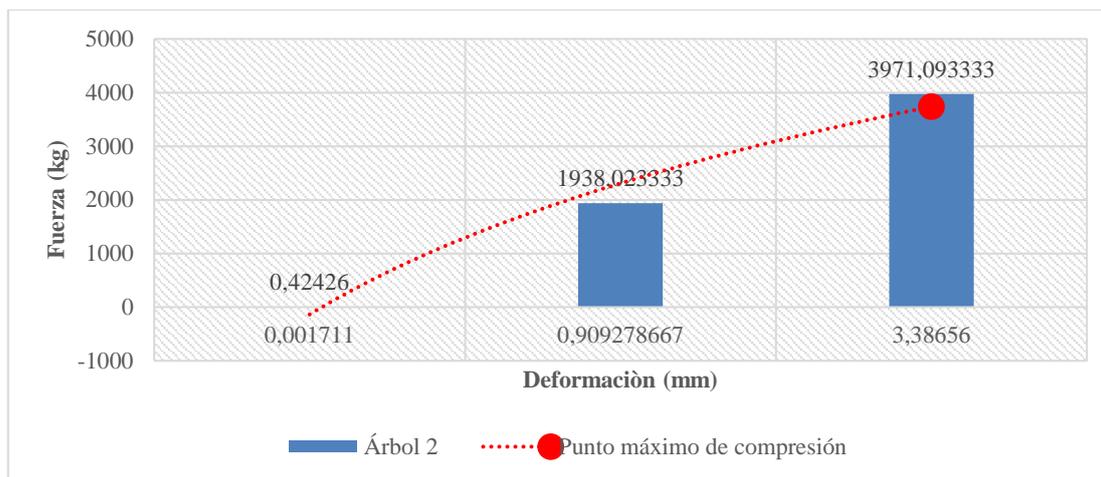


Gráfico 22-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

La **gráfica 22** de Fuerza vs Deformación de las diferentes secciones del árbol 2 presentan la siguiente dinámica de resultados. Una tendencia similar las tres secciones en donde la fuerza ejercida sobre las diferentes probetas reflejan una similitud en el promedio para la sección baja, media y alta, de la misma forma la deformación los valores promedios de la deformación presentan una similitud moderadamente iguales para las tres secciones del árbol, en conclusión la fuerza ejercida sobre las diferentes probetas estadísticamente presentan valores iguales para las tres secciones y la deformación presentada va en función de la fuerza que se ejerza sobre la misma como lo demuestra la **gráfica 23**.



Gráfica 23-3. Representación de los valores promedio de la fuerza vs deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 2.

Fuente: Nugshi, 2021

El análisis de los valores promedio de fuerza y deformación de la madera de la especie *Heves brasiliensis* presentaron que a una fuerza mínima aplicada de 0,42426 kg se obtuvo una deformación de 0,001711 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza media de 1938,023 kg se presentó una deformación de 0,9092 mm, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 3971,093 kg se obtuvo una deformación en las diferentes probetas de 3,3865 mm, llegando así al límite máximo de compresión. A partir de este punto las probetas presentaron rupturas y agrietamientos de diferentes formas.

Tabla 16-3: Promedios totales obtenidos de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 2.

Compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo al límite proporcional	
	Valores	ELP (Kg/cm ²)
	mínimo	0,0170
	máximo	158,8437
	promedio	79,5236

Fuente: Nugshi, 2021

Los valores promedio de compresión perpendicular a la fibra de la especie *Hevea brasiliensis* presentaron una resistencia mínima de 0,0170 kg/cm², una máxima de, 158,8437 kg/cm² y de la

misma manera una media o promedio de 79,5236 kg/cm² **tabla 23**, los datos de la media son relativamente similares a los datos obtenidos por Killmann y Hong (2017: p.78), el cual obtuvo un valor promedio de 50 kg/cm² en una madera de la especie *Hevea brasiliensis* que presentaba el 15% de humedad.

De la misma manera se puede mencionar que los datos de la compresión perpendicular a la fibra obtenidos en la presente investigación no cumplen una similitud del 100% con respecto a los datos obtenidos por ciertos autores ya que la madera analizada en esta investigación presentaba una humedad mayor, pero si se encuentran en el rango de la clasificación realizada por Dávalos y Bárcenas (1999: p.12), en donde mencionan que las maderas cuyo esfuerzo presenten valores de 66-85 Kg/cm² se lo clasifica como madera con esfuerzo de compresión media.

Árbol 3

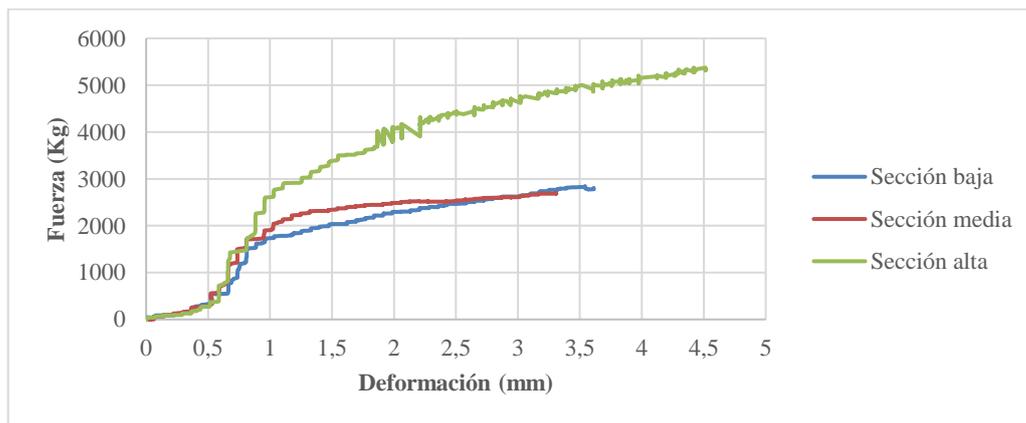


Gráfico 24-3: Representación de la Fuerza vs Deformación en la compresión perpendicular a la fibra de las diferentes secciones del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 2021

La gráfica de Fuerza vs Deformación de las diferentes secciones del árbol 3 presentan la siguiente dinámica, la sección alta presentó una mayor fuerza ejercida sobre estas probetas y también una deformación mayor en comparación a la sección media y baja las cuales presentaron una fuerza menor antes de ser deformadas, es decir que la tendencia presentada en la **gráfica 24** es relativamente similar para las secciones media y baja en donde presentaron valores promedios de fuerza y deformación similares, pero se presentó una dinámica muy diferente para la sección alta en donde los valores promedios de las dos secciones anteriormente mencionadas no comparten similitudes en cuanto a los valores promedios. En conclusión, los datos estadísticos demuestran

que no existe una diferencia significativa entre las secciones media y alta, pero si con la sección alta en donde la variación de resultados es significativamente diferente entre las demás secciones.

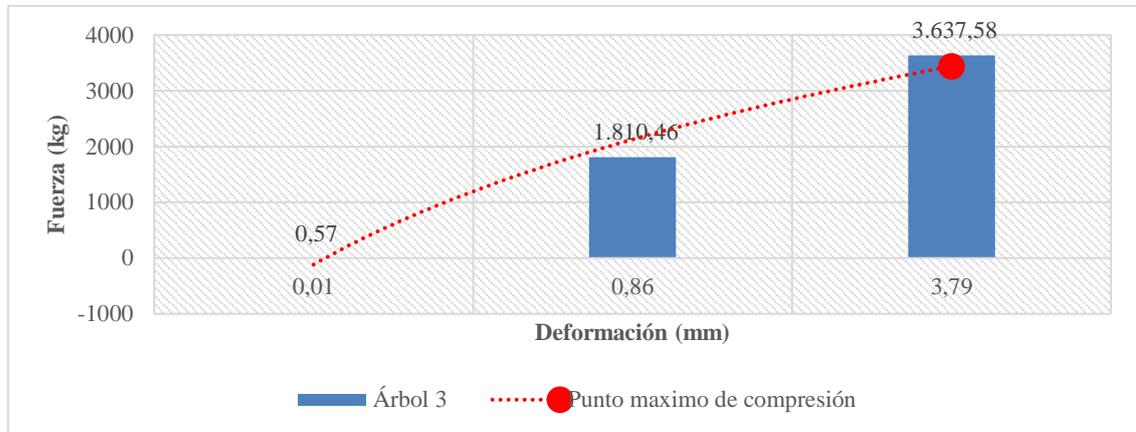


Gráfico 25-3: Representación de los valores promedios de la Fuerza vs Deformación para la compresión perpendicular a la fibra del árbol 3.

Fuente: Nugshi, 2021

El análisis de los valores promedios de fuerza y deformación de la madera de la especie *Heves brasiliensis* demostraron que a una fuerza mínima aplicada de 0,57 kg se obtuvo una deformación de 0,01 mm, de la misma manera al aplicar una fuerza media de 1810,46 kg se presentó una deformación de 0,86 mm, mientras que al aplicar una fuerza máxima de 3637,58 kg se obtuvo una deformación de 3,79 mm como lo demuestra la **gráfica 25**, llegando así al límite máximo de compresión. A partir de este punto las probetas presentaron rupturas y agrietamientos.

Tabla 17-3: Promedios totales obtenidos de la compresión perpendicular a la fibra del árbol 3.

Compresión	Esfuerzo al límite proporcional	
	Valores	ELP (Kg/cm ²)
perpendicular a la fibra	mínimo	0,0169
	máximo	145,5033
	promedio	72,7161

Fuente: Nugshi, 2021

La compresión perpendicular a la fibra de la especie *Hevea brasiliensis* presentaron valores promedios de resistencia mínima de 0,0169 kg/cm², una máxima de, 145,5033 kg/cm² y de la misma manera un valor media o promedio de 72,7161 kg/cm² **tabla 24**, los datos de la media son relativamente similares a los datos obtenidos por Killmann y Hong (2017: p.78), el cual obtuvo un valor promedio de 50 kg/cm² en la madera de la especie *Hevea brasiliensis*.

De la misma manera se puede mencionar que los datos de la compresión perpendicular a la fibra obtenidos en la presente investigación no cumplen una similitud del 100% con respecto a los datos obtenidos por ciertos autores ya que la madera analizada en esta investigación presentaba una humedad mayor, pero si se encuentran en el rango de la clasificación realizada por Dávalos y Bárcenas (1999: p.12) en donde mencionan que las maderas cuyo esfuerzo presenten valores de 66-85 Kg/cm² se lo clasifica como madera con esfuerzo de compresión media.

Tabla 18-3: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de las diferentes especies comerciales y de mayor utilidad con respecto a la madera de la especie *Hevea brasiliensis* en Ecuador

Propiedades Física y Mecánica	Unidades de medida	Pino (<i>Pinus radiata</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Gmelina (<i>Gmelina arborea</i>)	Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	Balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)	Caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>)
Densidad verde	Kg/m ³	1040	1160	1060	890	240	680
Densidad seca	Kg/m ³	490	720	580	950	180	510
Densidad básica	Kg/m ³	390	550	380	390	140	450
Peso específico verde	(gr/cm ³)	1,04	1,16	1,06	0,89	0,34	0,68
Peso específico verde seco	(gr/cm ³)	0,49	0,72	0,58	0,95	0,65	0,51
Peso específico básico	(gr/cm ³)	0,39	0,55	0,38	0,39	0,18	0,45
Flexión estática	ELP (Kg/cm ²)	555	509	580,06	303	120,7	309,8
	MOE (Kg/cm ²)	110200	138000	105313,2	70000	43700	56338,58
	MOR (Kg/cm ²)	793	1068	963,6	478	213,5	309,8
Compresión paralela	ELP (Kg/cm ²)	299	337	376	326	101,5	201,36
Compresión perpendicular	ELP (Kg/cm ²)	74	80	62	46	8,5	73,98

Fuente: (Nugshi, 2021)

De acuerdo al cuadro comparativo extraído de las investigaciones realizados por el MAE y la FAO (2014: pp.32-56) para las especies *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Cordia alliodora*, *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* investigado por Jiménez (2016), se presentamos los valores tanto de las propiedades físicas como químicas con relación a la especie estudiada en esta investigación por lo que se puede deducir que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* presenta similitud moderadamente igual con respecto a las diferentes propiedades, haciéndolo de esta manera que la madera de dicha especie pueda ser utilizada de la misma forma con especies que cumplan su rango de similitudes en cuanto a sus propiedades, utilizándolo de esta manera en la carpintería, y sus derivados.

CONCLUSIONES

- Una vez analizada cada uno de los datos en la presente investigación se concluye mediante el uso de una estadística descriptiva que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* es viable para la elaboración y utilización en diversos productos y la transformación en la industria, aceptando de esta manera la hipótesis nula.
- En cuanto a la propiedad química de la especie se concluye que presenta un pH de 6,89 considerándolo como un pH ligeramente ácido, de esta manera podría utilizar la madera de dicha especie para la combinación con diferentes productos que requieran este tipo de acidez.
- Las propiedades físicas la especie estudiada obtuvo contenido de humedad del 48,6 % y una densidad básica de 457,82 Kg/m³. En lo que corresponde al peso específico se concluye que la especie presentó valores similares a la densidad con la diferencia del cambio en las unidades de medida.
- Para las propiedades mecánicas se concluye que la flexión estática de la especie *Hevea brasiliensis* presenta una flexibilidad media, por otra parte la compresión paralela y perpendicular presentó una resistencia a compresión media tanto de manera paralela como perpendicular a la fibra, y de esta manera se asume que presenta valores en sus características mecánicas similares a las especies *Virola spp.*, *Jacaranda spp.* y *Pinus sylvestris* en cuanto a las especies con una mayor valor comerciales se asemeja a la *Cordia alliodora* tanto en su flexibilidad como en su resistencia a compresión.

RECOMENDACIONES

- Es necesario preservar las muestras en óptimas condiciones o a su vez proceder con el secado inmediato, ya que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* es muy susceptible al ataque de diferentes hongos xilófagos.
- Para obtener una mayor precisión en los datos se recomienda determinar las propiedades químicas tanto en estado verde como en estado anhidro.
- En cuanto a las propiedades físicas de la madera es necesario obtener una mayor cantidad de muestras y también incorporar arboles de diferentes rodales, cuyas edades sean diferentes, para de esta forma obtener una mayor precisión en los datos del contenido de humedad y densidad, así como también incorporar en estudio de la contracción volumétrica.
- Para las propiedades mecánicas se recomienda utilizar un secado uniforme y que no sobrepase el 15% de humedad, de la misma forma incorporar el estudio de las propiedades de trabajabilidad el cual es muy necesario para la utilización en la industria de esta especie.

BIBLIOGRAFÍAS

AGUINSACA, Fanny, et al. Caracterización química de cinco especies forestales en el sur de Ecuador (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Nacional de Loja - Loja, Ecuador. 2019. pp. 110-118.

AITIM. *Propiedades físicas de la madera: peso específico". Asociación De Investigación Técnica De Las Industrias De La Madera*

ASTM D143-14. *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber 1. American Society Of Testing Materials.*

BERNABÉ Santiago, René, ÁVILA CALDERÓN, Luz Elena y RUTIAGA QUIÑONEZ, José Guadalupe. "Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán". *Bosque y Madera*. Vol. 19. 1405-0471. (2013), (Xalapa), pp. 21-35.

BOBADILLA MALDONADO, Ignacio & GARCÍA FERNANDEZ, Francisco. "Historia de la tecnología de la madera" *Infomadera*. [En línea] 2016. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3702_11859.pdf.

CCAYANCHIRA VENEGAS , Fran Mikkael y REYES MARTÍNEZ, Michael Cesar. Anatomía, propiedades físico-mecánicas, químicas y potencial dendrocronológico de *Cedrela odorata* L. y *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Centro Anapiari, Pichanaki – Junin. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo, Peru, 2019 pp. 19-23

CÉSPEDES MEDINA, Jeniffer Andrea & GAITÁN RIVERA, José Nicolás. *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS ESPECIES DE MADERA DE ACACIA, EUCALIPTO Y PINO CARIBE*. (Trabajo de titulación). (Grado) UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, Bogota, Colombia, 2020.

CHUQUIMAMANI, Victor, et al. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición "seca". (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Alas Peruanas, Lima, 2018.

DÁVALOS SOTELO, Raymundo & BÁRCENAS PAZOS, Guadalupe M. "El cultivo de caucho". *Madera y Bosques*, Vol. 5 (1999), (Xalapa, Mexico) pp. 61-69.

CONAFOR. "Hevea brasiliensis Muell. Arg". *conafor*. [En línea] S.F. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/930Hevea%20brasiliensis.pdf>.

DOMÍNGUEZ CARRILLO, Adalberto. LA UTILIZACIÓN DE MADERA DE HULE, (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). (Trabajo de titulación). (Grado) EN ESTADO DE VERACRUZ". Universidad Autónoma Chapingo, Mexico, 2006.

ECUADORFORESTAL. "Ficha Técnica N° 3: MELINA". *ecuadorforestal*. [En línea] 2021. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-3-melina/>.

ECUADORFORESTAL. "Mercado Nacional". *ecuadorforestal*. [En línea] 2020. <https://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/mercado-forestal/mercado-nacional/>.

FREIRE CRUZ, Joselyn Maria. CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI” (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 24-72.

GARCÍA, Jefferson. "Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América latina. Brasil". *FAO*, 2020.

GONZÁLEZ DEL CID, Carlos Enrique. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS PARA DOS DISTINTAS EDADES DE LA ESPECIE DE MADERA Gmelina arborea Roxb (MELINA) DE RETALHULEU PARA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala - Guatemala. 2013. pp. 18-35.

GRANDA CASTILLO, Rosa Inés y CHIMBO ALVARADO, Jhonny Darwin. DETERMINACIÓN DE LA MADERA MÁS ÓPTIMA COMERCIALIZADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, OBTENIENDO SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS (Trabajo de Titulación) (Grado). Universidad Nacional de Chimborazo - Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 27-52

GREENFACTS. "Densidad". *greenfacts* [En línea] 2020. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/densidad.htm>.

JIMÉNEZ POZO, Lenin Patricio. El cultivo de la melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el trópico (Trabajo de Titulación) (Grado). Universidad de las Fuerzas Armadas - Sangolquí, Ecuador. 2016 pp. 35-39

KILLMANN, Wulf & HONG, Lay Thong. "El caucho, el éxito de un subproducto agrícola". *FAO*. [En línea] 2017. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X4565S/x4565s11.htm>.

MADERAME. "Propiedades Fisico-químicos del caucho". *Enciclopedia*, [En línea] S.F. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <https://maderame.com/enciclopediamadera/caucho/#:~:text=El%20C3%A1rbol%20del%20caucho%2C%20cuyo,industrial%20la%20producci%C3%B3n%20de%20C3%A1tex.&text=Sin%20embargo%20no%20es%20originaria,una%20madera%20tropical%20del%20Amazonas.>
Maderas y Bosques.

CANDELARIA, Victor & CASTILLO, Jose. Las especies mas idoneas de la región Andina. *Instituto de Ecología, A.C.* Vol. 3. 321373. (2016), (Mexico).

MAE, (Ministerio del Ambiente del Ecuador) & FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, IT). "Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93

especies forestales". *Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Vol. I. (2014), (Quito-Ecuador) pp. 1-171.

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Subsecretaria del Patrimonio Natural*. (2013), (Quito-Ecuador).

OCAÑA RUIZ, Carla Fernanda. 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) (Grado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo - Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 58-72.

ORTIZ, E. Respuestas del Hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) a la Aplicación de Fertilizantes, en el Valle de Uxpanapa. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Autónoma Chapingo - Mexico. 1992. pp. 32-46

PÉREZ, Julián & GARDEY, Ana. "Definición de tinción". [En línea] 2016. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <https://definicion.de/tincion/>.

POBLETTE, H & BURGOS, R. *Eucalyptus nitens* como materia prima para tableros de particulas. *Universidad Austral de Chile*, Vol. XII. 0718-221X. (2010). (Quito-Ecuador).

RAMOS SOTOMAYOR, Javier & Castellanos. "Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de *Picea abies*". *Nova Scientia Mexico*. Vol. VII. 2007-0705. (2015). (Mexico).

RIVERO, Jaime & MOYA, Rogér. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. (Trabajo de titulación). (Grado) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2006.

ROJO Martínez, GUSTAVO E, MARTINEZ RUIZ, Rosa & JASSO MATA, Jesus. El Cultivo del hule en Mexico. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Autónoma Indígena de México, Mexico, 2017 pp. 36-42

RUIZ CASTILLO, Jonathan Pablo. PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE Fresno (*Fraxinus americana* L.) PROVENIENTE DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL "LA FAVORITA", SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2020 .

SALVADOR CARDENAS, Manuel Ivan. "PROTOCOLO DE CAMPO PARA LA SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS PARA LA CARACTERIZACIÓN ANATOMICA Y DE PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS, QUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA MADERA". *ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INTEGRAL - AIDER*. Vol. 1. (2010), (Puallpa-Peru) p.7.

SÁNCHEZ, Ana Maria, et al. SECTOR MADERERO ECUADOR (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica de Ambato - Ambato, Ecuador. 2020. pp. 25-27

SANDOVAL, Cecilia. "El pH del agua". [En línea] [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <http://ceciliaguera.blogspot.com/2017/05/el-ph-de-las-aguas.html>.

SPAVENTO, María Eleana, KEIL, Gabriel Darío y MONTEOLIVA, Silvia. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de la Plata - Buenos Aires, Argentina. 2008. pp. 52-56.

TAXONOMIA. "Taxonomía de plantas". *grado 93*. [En línea]. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <http://taxonomiadeplantasgrado93.blogspot.com/2018/04/taxonomia-arbol-de-caucho.html>.

FEEDERACION DE ENSEÑANZA DE CC.OO DE ANDALUCIA. "TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS". *Revista CC.OO*. Vol. 0. 1989-4023 (2011), (Andalucía-España) p.15

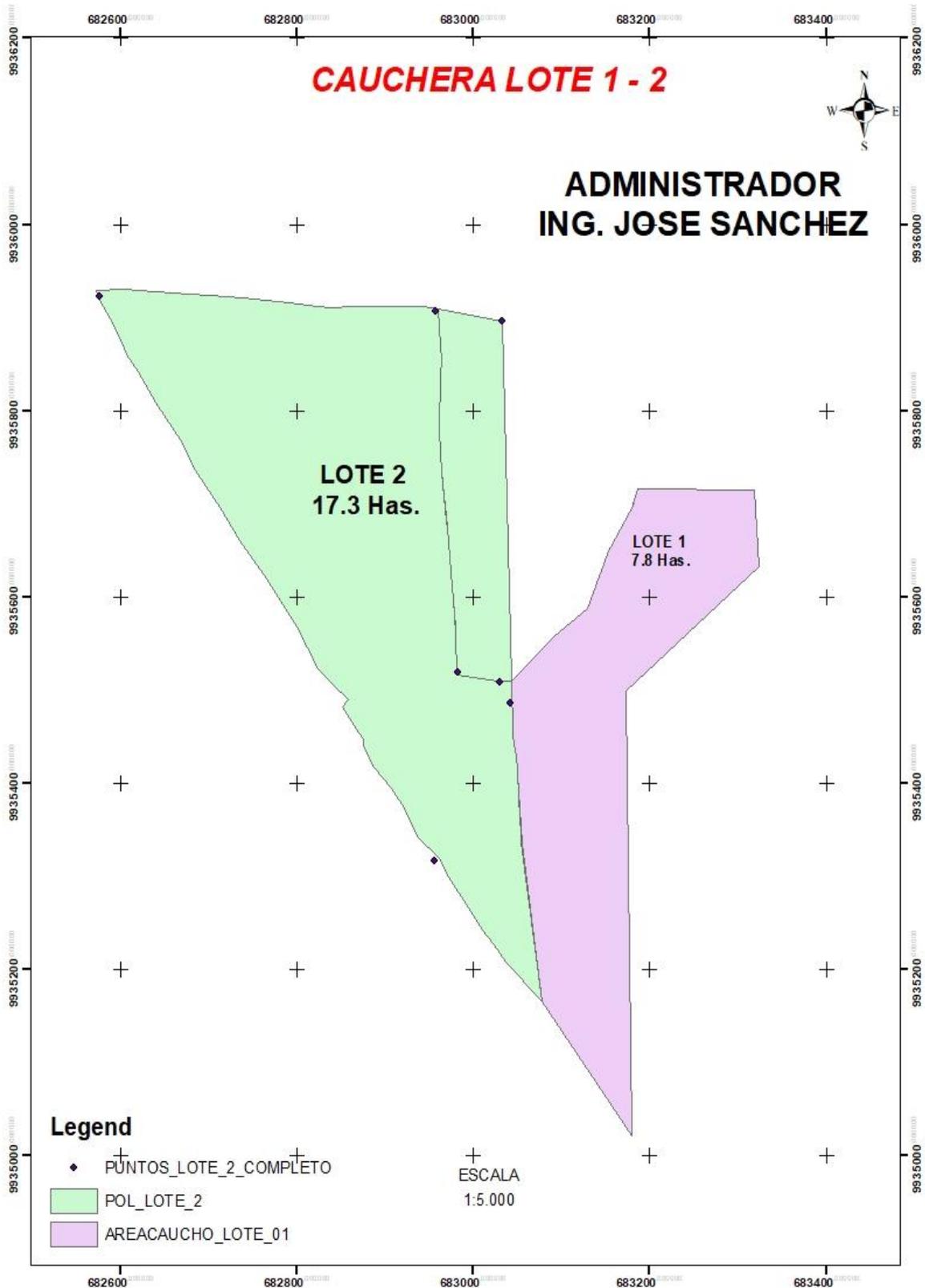
TKNIKA. "Tecnología de la madera". *Normadera*. [En línea] 2017. [Consulta: 15 de abril 2021]. Disponible en: <https://normadera.tknika.eus/es/content/densidad.html>.

VARGAS, J. Anatomía y tecnología de la madera. (Trabajo de titulación), (Grado) Escuela Técnica Superior Forestal, Cochabamba, Bolivia, 2006.

ZAMORA MAYORGA, Javier, y otros. "Poblacion y Produccion del caucho." *La Hora*. Vol. I. (10 de 03 de 2012), (Quito-Ecuador), p. 1-5.

ANEXOS

ANEXO A. Plano del lote 1 y lote 2 de la hacienda Santa Rita.



ANEXO B. Identificación de la especie *Hebea brasiliensis*



ANEXO C. Selección de los arboles y apeo de la misma de la especie *Hevea brasiliensis*.



ANEXO D. Toma de datos, altura, diametro y recoleccion de muestras



ANEXO E. Etiquetado de trozas



ANEXO F. Preparacion de trozas y codificaciòn.



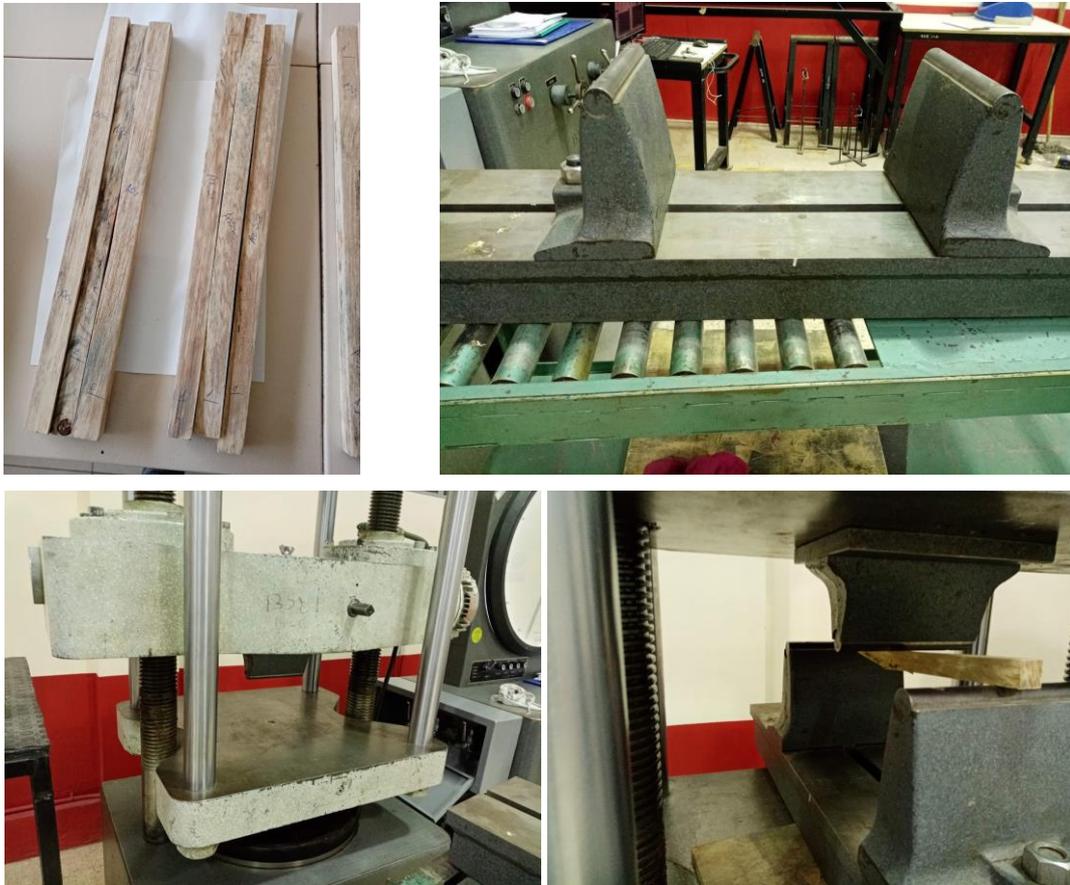
ANEXO G. Determinacion de pH



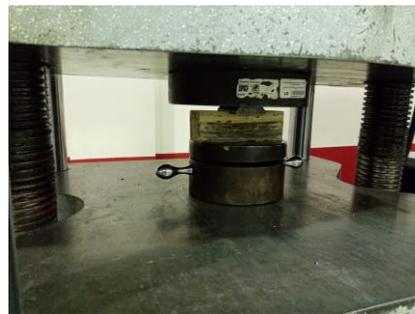
ANEXO H. Determinacion de propiedades fisicas



ANEXO I. Determinacion de la flexiion estatica



ANEXO J. Determinación de la compresión perpendicular a la fibra.



ANEXO K. Determinación de la compresión paralela la fibra.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Juan Manuel Nugshi Pilco</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Recursos Naturales</i>
Carrera: <i>Ingeniería Forestal</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Forestal</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, o=ROBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.07.22 16:45:21
+05'00'



1381-DBRAI-UTP-2021