



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial**

**Trabajo de titulación**

**Tema:**

“Determinación de las propiedades físico mecánicas de la especie maderera *Caesalpinia Spinosa*  
(molina) Kuntze “guarango - nativa del Ecuador”

**Autora:**

Horna Durán, Enid Vanessa

**Tutor:**

Msc. Fabian Patricio Carrillo Flor

**Riobamba – Ecuador. 2022**

## DERECHOS DE AUTORIA

Yo, **Enid Vanessa Horna Durán**, con cédula de ciudadanía **060464619-0**, autora del trabajo de investigación titulado: **“Determinación de las propiedades físico mecánicas de la especie maderera *Caesalpinia Spinosa* (molina) Kuntze “guarango - nativa del Ecuador”** certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 24 de marzo del 2023




Enid Vanessa Horna Durán  
C.I: 060464619-0

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Determinación de las propiedades físico mecánicas de la especie maderera *Caesalpinia Spinosa* (molina) Kuntze “guarango - nativa del Ecuador”** por **Enid Vanessa Horna Durán**, con cédula de identidad número **060464619-0**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.


De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 24 de marzo de 2023.

Dra. Ana Mejía López  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



---

MgS. Daniel Luna  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

MgS. Diego Moposita  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

MgS. Patricio Carrillo  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**



---

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Determinación de las propiedades físico mecánicas de la especie maderera *Caesalpinia Spinosa (molina) Kuntze* “guarango - nativa del Ecuador** por **Enid Vanessa Horna Durán**, con cédula de identidad **060464619-0**, bajo la tutoría de Dra. Tania María Guffante Naranjo; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 24 de marzo de 2023

**Presidente del Tribunal de Grado**

Dra. Ana Mejía López



**Firma**

**Miembro del Tribunal de Grado**

MgS. Daniel Luna



**Firma**

**Miembro del Tribunal de Grado**

MgS. Diego Moposita



**Firma**



# CERTIFICACIÓN

Que, Horna Durán Enid Vanessa con CC: 0604646190, estudiante de la Carrera Ingeniería, **NO VIGENTE**, Facultad de Agroindustrias; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **Determinación de las propiedades físico mecánicas de la especie maderera Caesalpinia Spinosa (molina) Kuntze "guarango - nativa del Ecuador"**", cumple con el 7%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio Urkund, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 07 de marzo de 2023

Ing. Patricio Carrillo

**TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación se lo dedico primero a Dios y a la Virgen del Cisne ya que jamás me desampararon y me guiaron en cada paso. Dedico también este trabajo a mi padre Víctor Horna gracias papito por todos sus consejos por velar por el bienestar y ser el pilar fundamental de nuestra hermosa familia. A mi linda madre Mónica Durán por ser mi más grande ejemplo para seguir, gracias mamita por todo el esfuerzo que hace día tras día para sacarnos a adelante por ser esa mujer valiente y luchadora esa madre ejemplar que está presente siempre con cada consejo. A mis dos hermanitas Dayana Horna por todo el apoyo que me ha brindado en este proceso, por ser también mi guía y mi ejemplo de superación, gracias por estar siempre a mi lado en todos los buenos y malos momentos por ser mi amiga y confidente. A Vicky Horna, la pequeñita y mi mejor amiga la que siempre me cuida y que también me aconseja, gracias por toda tu dedicación y apoyo incondicional y por también estar en todo momento sacándome una sonrisa con tus locuras. A mis Abuelitos paternos Mamita Carmen (+) y Papito Enrique (+) por regalarme los más lindos momentos, por darme una niñez llena de mucho amor y alegría, a mis abuelitos maternos papito Ramón (+) por todo el cariño, el amor, las risas y los mejores momentos de mi vida, sé que desde el cielo me cuidan, protegen y guían en cada paso que doy. A mi mamita Edita que a pesar de vivir lejos está presente con una oración, con palabras de aliento y con los mejores consejos que solo usted puede darnos, gracias a todos ustedes he podido culminar una etapa muy importante de mi vida y que sin su apoyo no podría haberlo logrado.

## **AGRADECIMIENTO**

A papito Dios por darme la dicha de seguir luchando día tras día, por la familia que tengo, por el apoyo que cada uno de ellos me han brindado, a mis padres que siempre estuvieron presentes en cada paso de mi vida, a mis hermanas por su confianza y apoyo constante.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por abrirme las puertas para continuar aprendiendo y poder llegar a ser una gran profesional, a cada uno de los docentes que desde el primer momento impartieron conocimientos y anécdotas que se han convertido en un gran ejemplo para poder culminar con mis estudios.

Al MsC. Patricio Carrillo por darme la oportunidad de trabajar con él en este proyecto de investigación, mil gracias por todo el apoyo, por todos los conocimientos, por todo el tiempo dado, por tenerme paciencia y por guiarme en cada paso para terminar con éxito este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| DERECHOS DE AUTORIA  |    |
| DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL                        |    |
| CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL                                   |    |
| CERTIFICADO ANTIPLAGIO   |    |
| DEDICATORIA  |    |
| AGRADECIMIENTO   |    |
| ÍNDICE DE TABLAS   |    |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS   |    |
| ÍNDICE DE ANEXOS   |    |
| RESUMEN  |    |
| ABSTRACT   |    |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCION .....   | 15 |
| 1.1 ANTECEDENTES .....   | 15 |
| 1.1.1 Planteamiento del problema.....                                      | 15 |
| 1.1.2 Justificación.....   | 16 |
| 1.2 OBJETIVOS.....   | 16 |
| 1.2.1 Objetivo general .....   | 16 |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....  | 16 |
| CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO .....                         | 17 |
| 2.1 ESTADO DE ARTE.....  | 17 |
| 2.2 MARCO TEORICO .....  | 17 |
| 2.2.1 Guarango .....   | 17 |
| 2.2.2 Secado de la madera .....  | 19 |
| 2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS .....  | 19 |
| 2.2.4 Propiedades mecánicas.....   | 20 |
| 2.2.5 Propiedades físicas y mecánicas según las normas.....                | 22 |
| 2.2.6 Tabla de las probetas utilizadas .....                               | 22 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGIA .....  | 23 |
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....  | 23 |
| 3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....  | 23 |
| 3.2.1 Toma y preparación de muestras.....                                  | 23 |
| 3.2.2 Descripción de la realización de cada prueba .....                   | 24 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                  | 28 |
| 4.1 RESULTADOS.....  | 28 |
| 4.2 PRUEBAS FÍSICAS.....   | 28 |
| 4.2.1 Contenido de humedad del guarango .....                              | 28 |
| 4.2.2 Clasificación de la madera del Guarango por su densidad .....        | 29 |
| 4.2.3 Clasificación de la madera del Guarango por su peso específico ..... | 30 |
| 4.2.4 Contracción del guarango .....                                       | 30 |



|  |    |
|--|----|
| 4.2.5 Contracción tangencial y radial del Guarango .....                                   | 31 |
| 4.2.6 Contracción volumétrica del Guarango .....   | 31 |
| 4.3 PRUEBAS MECÁNICAS .....  | 32 |
| 4.3.1 Resistencia a la compresión.....   | 32 |
| 4.3.2 Flexión estática .....   | 40 |
| 4.3.3 Resistencia a la tracción .....  | 41 |
| 4.4 UTILIZACIÓN DEL GUARANGO EN LA AGROINDUSTRIA .....                                     | 45 |
| 4.5 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE GUARANGO Y<br>EUCALIPTO. .... | 45 |
| 4.5.1 Resultado de las propiedades físicas .....   | 45 |
| 4.5.2 Resultado de las propiedades mecánicas.....  | 48 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 51 |
| 5.1 CONCLUSIONES .....   | 51 |
| 5.2 RECOMENDACIONES .....  | 52 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....  | 53 |
| ANEXOS .....   | 55 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Botánica sistemática del Guarango  | 17 |
| <b>Tabla 2:</b> Clasificación y dimensiones de probetas para ensayos mecánicos                                 | 22 |
| <b>Tabla 3:</b> Trabajabilidad del Guarango  | 27 |
| <b>Tabla 4:</b> Contenido de humedad.  | 28 |
| <b>Tabla 5:</b> Tabla resumen de los valores de volumen promedio del guarango                                  | 29 |
| <b>Tabla 6:</b> Valores de la cara 1 y 2 en estado verde   | 62 |
| <b>Tabla 7:</b> Volumen en estado seco al aire   | 63 |
| <b>Tabla 8:</b> Volumen en estado seco al horno  | 64 |
| <b>Tabla 9:</b> Contracción tangencial y radios del Guarango   | 65 |
| <b>Tabla 10:</b> Volumen en estado verde promedio  | 66 |
| <b>Tabla 11:</b> Volumen en estado seco al aire promedio   | 67 |
| <b>Tabla 12:</b> Compresión paralela al grano en estado verde  | 67 |
| <b>Tabla 13:</b> Promedio de la compresión paralela al grano en estado verde                                   | 33 |
| <b>Tabla 14:</b> Compresión paralela al grano en estado seco al aire   | 68 |
| <b>Tabla 15:</b> Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al aire                            | 34 |
| <b>Tabla 16:</b> Compresión paralela al grano en estado seco al horno  | 69 |
| <b>Tabla 17:</b> Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al horno                           | 35 |
| <b>Tabla 18:</b> Compresión perpendicular al grano en estado verde   | 70 |
| <b>Tabla 19:</b> Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado verde                              | 36 |
| <b>Tabla 20:</b> Compresión perpendicular al grano en estado seco al aire                                      | 71 |
| <b>Tabla 21:</b> Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al aire                       | 37 |
| <b>Tabla 22:</b> Compresión perpendicular al grano en estado seco al horno                                     | 72 |
| <b>Tabla 23:</b> Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al horno                      | 38 |
| <b>Tabla 24:</b> Flexión estática  | 40 |
| <b>Tabla 25:</b> Flexión Estática en estado verde  | 73 |
| <b>Tabla 26:</b> Flexión Estática en estado seco al aire   | 74 |
| <b>Tabla 27:</b> Flexión Estática en estado seco al horno  | 75 |
| <b>Tabla 28:</b> Tracción en estado verde  | 76 |
| <b>Tabla 29:</b> Promedio en la Tracción en estado verde   | 41 |
| <b>Tabla 30:</b> Tracción en estado seco al aire   | 77 |
| <b>Tabla 31:</b> Promedio en la Tracción en estado seco al aire  | 42 |
| <b>Tabla 32:</b> Tracción en estado seco al horno  | 78 |
| <b>Tabla 33:</b> Promedio en la Tracción en estado seco al horno   | 43 |
| <b>Tabla 34:</b> Propiedades físicas de las especies <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Eucalyptus globulus</i>   | 45 |
| <b>Tabla 35:</b> Clasificación de la especie arbórea según su densidad   | 46 |
| <b>Tabla 36:</b> Clasificación de la especie arbórea por su contracción  | 47 |
| <b>Tabla 37:</b> Clasificación de la especie arbórea según su relación tangencial/radial                       | 47 |
| <b>Tabla 38:</b> Propiedades mecánicas de las especies <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Eucalyptus globulus</i> | 48 |
| <b>Tabla 39:</b> Clasificación de la especie arbórea según su resistencia a la tracción                        | 49 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Contenido de humedad                                  | 29 |
| <b>Gráfico 2:</b> Valores de volumen promedio del guarango              | 30 |
| <b>Gráfico 3:</b> Contracción total                                     | 32 |
| <b>Gráfico 4:</b> Carga paralela al grano en estado verde               | 68 |
| <b>Gráfico 5:</b> Carga paralela al grano en estado verde               | 34 |
| <b>Gráfico 6:</b> Carga paralela al grano en estado seco al aire        | 69 |
| <b>Gráfico 7:</b> Carga paralela al grano en estado seco al aire        | 35 |
| <b>Gráfico 8:</b> Carga paralela al grano en estado seco al horno       | 69 |
| <b>Gráfico 9:</b> Carga paralela al grano en estado seco al horno       | 36 |
| <b>Gráfico 10:</b> Carga perpendicular al grano en estado verde         | 70 |
| <b>Gráfico 11:</b> Carga perpendicular al grano en estado verde         | 37 |
| <b>Gráfico 12:</b> Carga perpendicular al grano en estado seco al aire  | 71 |
| <b>Gráfico 13:</b> Carga perpendicular al grano en estado seco al aire  | 38 |
| <b>Gráfico 14:</b> Carga perpendicular al grano en estado seco al horno | 72 |
| <b>Gráfico 15:</b> Carga perpendicular al grano en estado seco al horno | 39 |
| <b>Gráfico 16:</b> Compresión total                                     | 39 |
| <b>Gráfico 17:</b> Flexión estática promedio                            | 40 |
| <b>Gráfico 18:</b> Resistencia a la tracción en estado verde            | 77 |
| <b>Gráfico 19:</b> Resistencia a la tracción en estado verde            | 42 |
| <b>Gráfico 20:</b> Resistencia a la tracción en estado seco al aire     | 78 |
| <b>Gráfico 21:</b> Resistencia a la tracción en estado seco al aire     | 43 |
| <b>Gráfico 22:</b> Resistencia a la tracción en estado seco al horno    | 79 |
| <b>Gráfico 23:</b> Resistencia a la tracción en estado seco al air      | 44 |
| <b>Gráfico 24:</b> Resistencia a la tracción                            | 44 |
| <b>Gráfico 25:</b> Resistencia a la tracción                            | 50 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Anexo 1.</b> Limite de valores para la clasificación de las especies                            | 55 |
| <b>Anexo 2.</b> Recolección de la materia prima en Santa fe de Galán, Guano – Chimborazo           | 56 |
| <b>Anexo 3.</b> Elaboración de las probetas, Riobamba – Chimborazo                                 | 56 |
| <b>Anexo 4.</b> Toma de datos para realizar pruebas físicas  | 57 |
| <b>Anexo 5.</b> Toma de datos antes y después del secado al horno para pruebas físicas y mecánicas | 58 |
| <b>Anexo 6.</b> Pruebas de compresión en paralelo y perpendicular al grano                         | 59 |
| <b>Anexo 7.</b> Prueba de flexión  | 59 |
| <b>Anexo 8.</b> Prueba de tracción   | 60 |
| <b>Anexo 9.</b> Pruebas físicas  | 61 |
| <b>Anexo 10.</b> Contenido de humedad  | 61 |
| <b>Anexo 11.</b> Contenido de humedad promedio   | 61 |
| <b>Anexo 12.</b> Volumen del Guarango  | 62 |
| <b>Anexo 13.</b> Densidad verde  | 63 |
| <b>Anexo 14.</b> Densidad seca al aire   | 63 |
| <b>Anexo 15.</b> Densidad seca al horno  | 64 |
| <b>Anexo 16.</b> Densidad básica   | 64 |
| <b>Anexo 17.</b> Peso específico   | 65 |
| <b>Anexo 18.</b> Contracciones del Guarango  | 65 |
| <b>Anexo 19.</b> Contracción longitudinal del Guarango   | 65 |
| <b>Anexo 20.</b> Contracción tangencial y radial del Guarango                                      | 65 |
| <b>Anexo 21.</b> Pruebas mecánicas   | 67 |
| <b>Anexo 22.</b> Resistencia a la compresión   | 67 |
| <b>Anexo 23.</b> Flexión estática  | 73 |
| <b>Anexo 24.</b> Resistencia a la tracción   | 76 |

## RESUMEN

El Guarango es un árbol originario de los Andes, considerado una especie de vital importancia dentro de la economía en programas ambientales. El principal problema es la falta de información acerca de la utilización de dicha especie en el ámbito maderable, es por ello que se realizó las determinaciones físico mecánicas en el Guarango, utilizando cinco probetas de diferente medida para cada prueba, tomando en cuenta las normas COPANT, DIN y ASTM. Efectuando pruebas físicas como: contenido de humedad, densidad y peso específico y contracciones, en tres estados de la madera, estado verde, seco al aire y seco al horno. Para las pruebas mecánicas se realizó: Compresión paralela y perpendicular al grano, Flexión estática, Tracción, usos y trabajabilidad. Tras la aplicación de dichas pruebas se obtuvo resultados favorables que se mostraran a lo largo de la investigación, en contenido de humedad promedio en verde fue de 41.31%, seco al aire 39.27%, seco al horno 5.27%, en densidad se obtuvo valores de  $1.07 \text{ kg/dcm}^3$  en verde,  $0.76 \text{ kg/dcm}^3$  en seca al aire, mientras que en el peso específico un resultado de 0.77 hasta 0.81, considerada un tipo de madera pesada, dentro de la contracción longitudinal, tangencial y radial y volumétrica se identifica que corresponde al tipo de madera baja. En cuanto a las pruebas mecánicas según los rangos establecidos para la compresión paralela y perpendicular al grano se encontró dentro del rango muy bajo, en la flexión estática en el rango moderadamente bajo y en la resistencia a la tracción el Guarango no puede exponerse a cargas pesadas. Finalmente se comparó los resultados de las dos especies arbóreas en la que se presentan tablas con los datos obtenidos del Guarango y los datos del Eucalipto obtenidos mediante revisión bibliográfica.

**Palabras claves:** Propiedades físicas, propiedades mecánicas, especies arbóreas, curtiembre, taninos.

## ABSTRACT

The *Guarango* is a tree native to the Andes, considered a species vital to the economy in environmental programs. The main problem is the lack of information about the utilization of this species in the timber field, which is why the physical-mechanical determinations were made in the *Guarango*. It was used five specimens of different sizes for each test, considered the COPANT, DIN, and ASTM standards, and performed physical tests such as moisture content, density, and specific weight and contractions, in three states of the wood; green state, dried in the air and kiln dried. For mechanical tests, the subsequent processes were performed: Compression parallel and perpendicular to the grain, Static bending, Traction, uses and workability. After the application of these tests, favorable results were obtained, which were shown throughout the investigation, the average moisture content in green was 41.31%, dried in the air 39.27%, kiln dried 5.27%, in density values of 1.07 kg kg/ in green, 0.76 kg/ dried in the air while in the specific weight, a result of 0.77 to 0.81. It is considered a type of heavy wood within the longitudinal, tangential, and radial, and volumetric contraction is identified as corresponding to the type of low wood. As for the mechanical tests, the ranges established for parallel and perpendicular understanding to the grain were within the very low range; in static bending in the moderately low range, and in tensile strength, the *Guarango* cannot be exposed to heavy loads. Finally, the results of the two tree species in which tables are presented were compared with the data obtained from the *Guarango* and the Eucalyptus data obtained through a literature review.

**Keywords:** Physical properties, mechanical properties, tree species, tannery, tannins.



Reviewed by:  
Lic. Jenny Freire Rivera  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0604235036

## CAPÍTULO I. INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

En Ecuador la madera es considerada un producto indispensable dentro de cualquier ámbito ya que su aprovechamiento se ha venido dando desde hace varios años, la evolución y el impacto que tiene hoy por hoy en la silvicultura y extracción de la madera son actividades que a nivel nacional se practican y que gracias a esto se encuentra en un nivel 17 dentro de las industrias que aportan al país (Sánchez et al., 2020). Saber el uso correcto de la madera demanda una gran comprensión acerca de la aplicación de las propiedades físicas y mecánicas de cada especie, ya que se realizan métodos que nos permiten saber la factibilidad de cada una de ellas y a su vez tener gran seguridad al momento de su utilización, saber cuál es el comportamiento de la madera cuando se aplica determinada fuerza o resistencia dándonos resultados fundamentales para su determinada clasificación (Refort & Keil, 2012).

Capítulo 1: Consta de Introducción, planteamiento del problema, justificación, objetivos tanto general como específicos.

Capítulo 2: Botánica general, descripción de la especie, ecología, distribución y condición climática, condiciones de secado de la madera, propiedades físicas, mecánicas, trabajabilidad y normas utilizadas para la elaboración de las probetas.

Capítulo 3: Dentro de la metodología se expone el tipo de investigación, la toma y preparación de muestras y la descripción de la realización de cada prueba física y mecánica.

Capítulo 4: Aborda resultados obtenidos mediante la aplicación de pruebas físicas y mecánicas en la madera del Guarango, la utilización de esta especie nativa dentro del campo agroindustrial y también la discusión elaborada por la comparación de dicha especie con el Eucalipto.

Capítulo 5: Se analiza conclusiones y recomendaciones con respecto a los resultados obtenidos en dirección a los objetivos planteados.

El presente trabajo de investigación está enfocado en obtener datos mediante la aplicación de pruebas físicas y mecánicas a la especie nativa Guarango *Caesalpinia spinosa* debido a la falta de información en dicha especie a nivel nacional e internacional, por lo cual se obtendrá resultados para ser comparados con la especie exótica Eucalipto *Eucalyptus globulus*. Esta investigación constará de cinco capítulos que nos ayudarán a tener una visión más específica y clara acerca de los resultados obtenidos.

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

La *Caesalpinia spinosa* en el Ecuador es más conocido como Guarango esta especie especialmente se lo encuentra dentro de la región Sierra, en el cantón Guano en la provincia de

Chimborazo que es una de las principales zonas en las que se desarrolla a mediana escala esta especie. El Guarango es conocido de forma sistemática la cual es aprovechada desde épocas prehispánicas en la elaboración de tintes y curtido de pieles, su exportación es la más conocida ya que en este caso sus vainas son las más aprovechadas.

La gran problemática sobre los usos que se le puede dar a la madera de forma comercial es uno de los principales motivos por los que se realiza este proyecto de investigación en los que se expondrá de manera teórica y práctica cuales son los resultados al aplicarle pruebas físicas y mecánicas, dándonos datos reales sobre su comportamiento físico y el nivel de resistencia.

### **1.1.2 Justificación**

Ecuador posee gran variedad de biodiversidad dentro de sus cuatro regiones: Costa, Sierra, Galápagos y Oriente, siendo la materia prima más aprovechada dentro y fuera del país, ocupando los primeros puestos como productos primarios más exportados. La madera posee múltiples beneficios, pero es imposible saber y conocer las características de cada una de las especies. Existe estudios, informes, artículos científicos con poca información sobre el uso que se le puede dar a cada especie tanto en nativas como exóticas, dentro de la industria de la transformación es importante saber cómo aprovechar esta materia prima tales como la ebanistería o instrumentos de carpintería, hoy en día a la madera del Guarango solo se la seca para la elaboración de carbón, por ello el presente trabajo de investigación dará a conocer si esta madera es apta también como elemento de construcción o que otro tipo de uso se le puede brindar a dicha especie, dejando dicha investigación abierta para continuar con proyectos posteriores.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de la especie nativa del Ecuador *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze “Guarango”.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar el contenido de humedad y densidad en verde (CHv), seco al aire (CHSa) y seco al horno (CHSh) de la madera del Guarango.
- Determinar las propiedades mecánicas de esta especie aplicando compresión, tracción, flexión, dureza Brinell, tenacidad, trabajabilidad y utilización.
- Comparar los resultados obtenido de las propiedades de la especie nativa Guarango (*Caesalpinia spinosa*) con la especie exótica Eucalipto (*Eucalyptus globulus*).



## CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

### 2.1 ESTADO DE ARTE

Debemos tomar en cuenta que el Guarango es una de las especies nativas más utilizadas para la defensa del suelo que se encuentren erosionados o que estén en proceso de erosión, son de gran ayuda como protección de laderas, de acequias, barreras buffer y para barreras vivas, dentro de la utilización y aplicación de la madera del Guarango se menciona que se puede utilizar en la elaboración de vigas, postes y otros materiales para la construcción de viviendas, así mismo para mangos de herramientas y postes para cercas; para leña y carbón, debido a sus bondades caloríficas (Stalin Efrén & Saltos Aguilar, 2017).

El Guarango posee una madera con jaspe café o también de color rojizo, considerada medianamente dura con un buen poder calorífico, esta madera es apreciada para parquet, leña y postes (Ministry of Agriculture of Ecuador, 2012)

Dentro de los subproductos de esta especie, el Guarango es utilizado en la fabricación de plásticos y adhesivos, también en la elaboración de bactericidas y fungicidas, la conservación de los aparejos de pesca, clarificar vinos y jugos, entre otros aspectos industriales y agroindustriales, como de las semillas se extrae las gomas utilizados como espesantes o estabilizantes (Játiva, 2011).

### 2.2 MARCO TEORICO

#### 2.2.1 Guarango

##### 2.2.1.1 Botánica sistemática

###### Tabla 1

###### Botánica sistemática del Guarango

| Botánica sistemática del Guarango |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Reino</b>                      | Plantae                                    |
| <b>División</b>                   | Angiospermatophyta                         |
| <b>Clase</b>                      | Magnoliopsida                              |
| <b>Subclase</b>                   | Rosidae                                    |
| <b>Familia</b>                    | Caesalpinaceae                             |
| <b>Genero</b>                     | Caesalpinia                                |
| <b>Especie</b>                    | Spinosa                                    |
| <b>Nombre científico</b>          | <i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze |
| <b>Nombre común</b>               | “Guarango”, “Vinillo”, “Tara”              |

*Nota:* Esta tabla indica la botánica sistemática. (Navas, 2011)

### 2.2.1.2 Descripción de la especie

**Árbol:** Este puede llegar a tener una altura que va desde los 2 hasta los 12 metros, con un diámetro de 40 cm. Posee un fuste corto, cilíndrico y pocas veces tortuoso. En varios casos las ramas crecen desde su base, lo cual da una impresión que posee varios tallos y que su raíz es pivotante. En el caso de la copa es irregular y poco densa, con unas ramas ascendentes, lustrosas, su color es pardo y presenta espinas que van de 2 hasta los 7 mm, las cuales están distribuidas discontinuamente.

La corteza tanto del tallo como de las ramas son gruesas, áspera y fisuradas, presentan cicatrices de un color gris o marrón. Su parte interna es de firmeza blanda, vigorosa, está en cambio presenta un color blanco amarillento que se torna pardo cuando entra en contacto con el medio ambiente, dando un sabor agrio y astringente.

**Hojas:** Bipinadas con una representación en forma de pluma sus hojas poseen un largo de 8 hasta los 12 cm, con folíolos opuestos que van de 6 a 8 pares con un largo que va desde los 2,5 hasta los 3,5 cm y con un ancho de 1 a 1,5 cm. Estos son lisos, con un color verde claro en las dos caras cuando estos son jóvenes y de color verde oscuro cuando ya son maduros.

**Flores:** Estas son amarillentas y en otros casos son de color amarillo rojizo, situadas en grupos de 8 a 15 cm de largo con un total de 100 flores.

**Frutos:** No son más que sus vainas, estas son de color rojizo o también de color dorado. El tamaño normal a lo largo varía de 8 a 10 cm y de ancho va desde 1,5 a 2,5 cm, esto depende muchas veces del lugar en donde se dé el árbol.

**Semillas:** Ovoides, levemente achatadas, mientras más maduras estas semillas son más espesas, son de color pardo oscuro, brillantes, cubiertas por un manto de cera, cuando están verdes muestran un mesocarpio alimenticio de firmeza blanda y clara que es aprovechada para dar firmeza en la elaboración de helados (Fabara, 2012).

### 2.2.1.3 Ecología, distribución y condición climática

En el Ecuador se halla presente como una especie nativa que está localizada en los valles o en el callejón Interandino, su distribución va desde el Carchi, Imbabura, Chimborazo y Loja. Por lo cual es más común encontrarlo en la Sierra, en lugares semiáridos con promedios de lluvia anual de entre 300 a 800 mm de precipitaciones anuales.

Las condiciones óptimas para la especie del Guarango se dan en temperaturas de 12 – 22 °C, con precipitaciones de 300 hasta 800 milímetros y con un rango altitudinal de 1.300 - 2.600 hasta los 2.800 m.s.n.m.

### 2.2.1.4 Madera

Es la parte del árbol que puede ser aprovechada de muchas maneras, es de origen vegetal y en muchos de los casos se utiliza para la obtención de resina o para medicamentos. La madera también se considera a todo aquello que va desde el tronco hasta las ramas, esto puede ser utilizado

dentro de la carpintería, para la construcción, como láminas, chapas finas para la elaboración de muebles y demás (Aguilar & Guzowski, 2011).

### **2.2.2 Secado de la madera**

El proceso de secado en maderas es esencial para reducir el grado de humedad o el contenido de agua que posee la madera con el fin de llegar a un 12% de humedad. Esto ayuda a evitar posibles deformaciones y a su vez elimina un porcentaje de peso, que permitirá dejar a dicha materia en condiciones óptimas para un uso adecuado.

#### **2.2.2.1 Secado al aire**

Según (Aguilar, 2011), El secado al aire o secado natural es el proceso por el cual la madera que es recientemente aserrada se expone a la atmosfera para perder humedad, es un proceso lento que se lo realiza almacenando la madera ya sea en forma de tablas o tablones, este proceso también depende de las condiciones climáticas a las que se va a someter el secado natural y también dependerá del lugar en donde se realizará este proceso dando una adecuada protección y bajo cubierta. El aire que pasa por el lugar donde se encuentra la materia prima hace que en un determinado tiempo pierda gran cantidad de agua y de peso.

#### **2.2.2.2 Secado al horno**

El secado en horno, la madera es colocada en una cámara o en una estufa, ya que allí se controlan: flujo de aire, temperatura y humedad, lo cual sirve para brindar un secado más rápido, en este proceso la madera es capaz de tolerar la temperatura a la cual es sometida sin incidir en fallas. Existen varios tipos de hornos, en función de la forma en que se vigilan la temperatura y la humedad (Cordoba, 2005)

### **2.2.3 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas determinan tanto la resistencia como el comportamiento de la madera. Dentro de estas propiedades se enfatizan: contenido de humedad y Densidad, de acuerdo con esto se puede establecer qué; el contenido de humedad que se encuentra presente en dicha materia prima al momento de su determinación obtenemos: Densidad Verde (Dv) - Densidad Seca al Aire (DSa) - Densidad Anhidra (D.A) y Densidad Básica (D.B).

#### **2.2.3.1 Contenido de humedad**

La presencia del agua en la madera corresponde a tres formas denominadas: agua química o de constitución, agua de saturación fija o higroscópica y agua libre. El contenido de humedad se define como la cantidad o relación de agua que se encuentra presente en la madera y que corresponde a las dos formas denominadas agua libre y agua fija. Se expresa como la relación porcentual entre el peso del agua, correspondiente a estas dos formas y el peso seco (anhidro) de la madera expresado en porcentaje (%) (Franco Santana et al., 2009).

### **2.2.3.2 Densidad**

La densidad es la relación que existe entre el peso de la madera (expresada en gramos) y su volumen (expresado en centímetros cúbicos). Se define según el grado de humedad que presenta la madera en el momento de su determinación.

### **2.2.3.3 Densidad verde**

Es el valor de la relación entre peso/volumen de la madera verde (húmeda), que no haya sido secada previamente, para así determinar el contenido de humedad máximo posible.

### **2.2.3.4 Densidad seca al aire**

Es la madera que se obtiene al secarse con un contenido de humedad al 12%, esto se logra en condiciones controladas tanto en temperatura como en humedad relativa, se lo hace en cuartos climatizados con temperaturas de 18 a 20°C y con una humedad relativa de 60 a 65%.

### **2.2.3.5 Densidad anhidrida**

Es aquella densidad de la madera cuando está se encuentra totalmente seca, esto se logra en condiciones de temperaturas controladas que son: 103+/-2 °C. En presencia exclusiva del agua de constitución o química.

### **2.2.3.6 Densidad básica**

Esta corresponde a la relación existente entre el peso seco (peso anhidro) y el volumen cuando el contenido de humedad es el máximo. La densidad básica origina diferentes grupos estructurales de la madera que se clasifican en tipo: A, B y C.

### **2.2.3.7 Contracción de la madera**

Es el cambio dimensional que se efectúa en la madera en sentido tanto tangencial, radial, longitudinal y volumétrico; esto se da cuando la materia prima pierde humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La contracción de la madera se expresará en “%”. Estos cambios dimensionales ocurren en la madera no son solo cuanto está en función de la cantidad de agua que se encuentra presente, sino también en la cantidad de sustancia de las paredes celulares; mientras el material presente una mayor cantidad, mayor será el cambio dimensional en el contenido de humedad.

## **2.2.4 Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas corresponden al comportamiento de la madera a agentes externos, productos químicos y a la aplicación esfuerzos exteriores. La madera tiene particularidades mecánicas, en ciertos casos son superiores a las de otros materiales. Debido a sus características físicas estos poseen diferentes comportamientos, varía dependiendo del plano de corte ya sea de forma tangencial, radial o transversal sobre el cual se aplique el esfuerzo. Estas propiedades mecánicas varían de especie a especie.

#### **2.2.4.1 Compresión**

Según (Viña, 1996) menciona que la compresión es el esfuerzo máximo al que se somete la madera esto se lo realiza con dos fuerzas que van en sentidos opuestos, una de las mayores resistencias se da en la compresión paralela a las fibras.

“La madera sometida a una presión local se comprime, el grado depende de la dureza y de la dirección de la fibra cuando se aplica la presión. El aplastamiento será mayor en el sentido perpendicular a las fibras y menor en el sentido paralelo o de testa (Extremo plano y perpendicular al eje longitudinal de una pieza de madera de sección rectangular)”.

#### **2.2.4.2 Tracción**

Esta se produce cuando dos fuerzas que actúan en sentido contrario se expanden, las fuerzas que están aplicadas ya sean en sentido paralelo o en sentido perpendicular a las fibras, tienen un comportamiento diferente.

La madera en general es más resistente a la tracción en sentido paralelo que en sentido perpendicular a las fibras. En sentido paralelo se estira las fibras hasta que sean cortadas y en sentido perpendicular separamos los haces de fibras de los demás. Según en la (UNLP, 2003)) se habla de tipos de esfuerzos a la acción de fuerzas o cargas que se somete un cuerpo y que tiende a deformarse dependiendo de la carga aplicada a la misma.

#### **2.2.4.3 Flexión**

La resistencia a la flexión es aquella que al aplicar una determinada carga y a una velocidad constante, alcanza un módulo de rotura la cual se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$ , en respuesta al contenido de humedad, llamamos flexión también al tipo de deformación que se encuentre en un material estructural, este se presenta de forma alargada en dirección perpendicular al eje longitudinal.

La flexión es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza están sometida a un esfuerzo de flexión (se alargan), las inferiores se acortan, o viceversa, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo. El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector (Viña, 1996).

#### **2.2.4.4 Dureza Brinell**

La dureza Brinell, es un método que se determina mediante la huella dejada por una esfera de acero de 10 mm de diámetro (D), la cual es sometida a una carga (F), sobre una superficie plana que varía según la densidad de la madera, 10 kp para densidades menores de 0,3  $\text{g/cm}^3$ ; 50 kp para densidades comprendidas entre 0,3 y 0,7  $\text{g/cm}^3$ ; y 100 kp para densidades superiores a 0,7  $\text{g/cm}^3$ .

Debe alcanzarse la carga máxima en al menos 10 a 15 segundos, y esta debe de permanecer constante durante unos 30 segundos, volver a 0 en otros 15 segundos, se puede llegar a la conclusión de que este varía con la carga ya que tiene un máximo en un valor intermedio,

influenciado por el acabado superficial. Para poder medir la superficie dejada tras el ensayo realizado, se mide el diámetro (d) de la huella el cual depende no solo de la dureza del material si no de la carga aplicada expresada como (P) y el diámetro del penetrador (D) (Nuñez Ruiz, 2014).

#### **2.2.4.5 Tenacidad**

Es la capacidad que posee un material de absorber energía ya sea elástica o no, efectuándose antes de la fractura. Un material tenaz posee alta ductilidad y resistencia. Es allí donde se puede diferenciar, según el tipo de ensayo que se vaya a realizar, la tenacidad estática y la tenacidad dinámica, esta última da cuenta de la resistencia al impacto de la muestra o de su tenacidad cuando una entalla está presente (Mancini, 2012).

#### **2.2.4.6 Trabajabilidad**

Es la principal característica que posee la madera a la hora de su manipulación ya sea con utensilios de trabajo que sirven para cortar de forma manual o con herramientas eléctricas dejando saber si la madera es apta para un fácil aserrado, cortado, cepillado, torneado. Demostrando que la madera puede ser utilizada de formas convenientes acorde a su trabajabilidad (Aguilar & Guzowski, 2011).

### **2.2.5 Propiedades físicas y mecánicas según las normas**

#### **2.2.5.1 Normas para las propiedades físicas**

Las pruebas por realizarse serán: densidad y contenido de humedad, los ensayos se harán en condiciones verde, seca al aire y seco al horno de acuerdo con la norma COPANT 461 (Correcha R. & Granados, 1984).

#### **2.2.5.2 Normas para las propiedades mecánicas**

Normas COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos). Posteriormente se prepararon las probetas en base a especificaciones de las normas que se tomará como referencia: DIN (Deutsche Industrie Norm) DIN-52182, DIN-52183 y DIN -52184, y las normas de la sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM 1999) ASTM D-143/45-252, ASTM D-143/77-82, ASTM D-143/83-87 y ASTM D-143.

### **2.2.6 Tabla de las probetas utilizadas**

**Tabla 2**

Clasificación y dimensiones de probetas para ensayos físicos y mecánicos

| <b>Ensayo</b>                  | <b>Probeta</b> | <b>Dimensiones (cm)</b> | <b>Normas</b>     |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| Contenido de humedad           | P-e 1          | 3 x 3 x 10              | DIN-52182         |
| Densidad                       | P-e 2          | 3 x 3 x 10              | DIN-52183         |
| Contracción longitudinal,      | P-e 3          | 3 x 3 x 10              | DIN -52184        |
| Contracción Radial tangencial, | P-e 3.1        | 3 x 3 x 15              |                   |
| Contracción Volumétrica,       | P-3 3.2        | 3 x 3 x 10              |                   |
| Flexión                        | P-e 4          | 2.5 x 2.5 x 41          | ASTM D-143/45-252 |

|   |                |                |                  |
|---|----------------|----------------|------------------|
| Compresión paralela al grano,<br>Compresión perpendicular al<br>grano | P-e 5<br>P-e 6 | 5 x 5 x 20     | ASTM D-143/77-82 |
| Dureza Brinell  | P-e 7          | 5 x 5 x 5      | ASTM D-143/83-87 |
| Tracción  | P-e 8          | 2.5 x 2.5 x 45 | ASTM D-143       |
| Tenacidad   | P-e 9          | 7 x 1.5 x 1    | --               |

**Nota:** Esta tabla indica la clasificación y dimensiones de las probetas para realizar cada prueba en la especie del guarango. (Paguay, 2013)

## CAPÍTULO III. METODOLOGIA

### 3.1 Tipo de investigación

- **Exploratoria:** Mediante estudios realizados acerca de las determinaciones físico-mecánicas en especies madereras, las cuales se vienen dando desde hace tiempo atrás se tomó varios proyectos como fuentes guías para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas en la especie *Caesalpinia spinosa* “Guarango” nativa del Ecuador obteniendo la madera dentro de la provincia de Chimborazo en el cantón Guano específicamente en la parroquia Santa Fe de Galán.
- **Descriptiva:** En cada una de las pruebas realizadas al Guarango se obtienen resultados para saber si la madera se encuentra dentro de los rangos establecidos.
- **Explicativa:** Se elaboraron varias probetas con diferentes medidas según las normas DIN y ASTM D, con 5 repeticiones en entado verde, seco al aire y seco al horno, las mismas que fueron utilizadas en varias pruebas que demuestran cual es la utilización y eficacia de dicha especie.
- **De campo:** Para la ejecución sobre las determinación de las propiedades físicas y mecánicas, se aplicó las fórmulas respectivas en cada prueba realizada en los laboratorios de Ingeniería Civil e Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Chimborazo del campus Norte “Edison Riera” en el año 2022, el resultado previo se comparó con las tablas de calificaciones que cada prueba posee, lo cual sirvió para saber en qué rango se encuentra según las normas, una vez que se haya completado la parte de la metodología se hará una comparencia entre la especie nativa Guarango (*Caesalpinia spinosa*) con la especie exótica Eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Que nos dirá que tipo de madera es el Guarango, en este caso si la madera es suave o dura.
- **Bibliográfica:** Se tomó como referencia varios autores de diferentes investigaciones que se han dado a lo largo de los años y que se encuentran presentes en documentos, tesis, artículos científicos, manuales, guías entre otras, las cuales se verán reflejadas en el presente proyecto de investigación.

### 3.2 Diseño de investigación

#### 3.2.1 Toma y preparación de muestras

La obtención de la materia prima para la realización de dicho proyecto de investigación se dio origen en la parroquia Santa Fe de Galán específicamente en el cantón Guano

procediendo a buscar la especie del “Guarango” *Caesalpinia spinosa*, una vez localizada esta especie se cortó varios troncos de madera con la que se elaboró varias probetas con diferentes medidas según las normas, las cuales se las dejaron secar al aire, después del tiempo de secado al aire se volvió a elaborar el doble de probetas en estado verde que servirán para realizar las pruebas en los laboratorios con la ayuda de maquinaria y equipos adecuados, estas probetas también serán sometidas a secado al horno durante 8 horas por 2 días a una temperatura mínima de secado.

### **3.2.2 Descripción de la realización de cada prueba**

#### **3.2.2.1 Secado al aire**

Se elaboraron probetas con diferentes medidas con 5 repeticiones para cada una de las pruebas físicas y mecánicas, las cuales se sometieron al proceso de secado al aire libre donde el medio ambiente era el principal factor para llevar a cabo dicho proceso, se dejó las probetas bajo techo con el cuidado de no ser expuestas al sol ni a la lluvia, este proceso duro alrededor de un mes para obtener un resultado mas aceptable al momento de aplicar cada prueba.

#### **3.2.2.2 Secado al horno**

Las probetas realizadas para cada prueba se sometieron a un secado al horno a una temperatura de 103 °C durante 8 horas por dos días, con el fin de tener un secado más rápido y en poco tiempo, esto se realizó en un horno industrial en el laboratorio de procesos Agroindustriales de Ingeniería Agroindustrial.

#### **3.2.2.3 Pruebas físicas**

##### **3.2.2.3.1 Humedad**

Con la ayuda de una balanza expresada en gramos pesando las probetas en estado seco al aire, en verde y así mismo tomamos los pesos de las probetas antes del secado al horno y después del secado al horno se realizó los cálculos mediante las ecuaciones expuestas a continuación.

Con probetas de 3 x 3 x 10 cm de largo, norma DIN 52182 se determinara la humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno con las ecuaciones

- **Contenido de humedad en verde (CHv)**

$$CHv = \frac{Pv - Ps}{Ps} \times 100$$

- **Peso seco al horno calculado (PSHC)**

$$PSHC = \left( \frac{Pv}{(CHx + 100)} \right) \times 100$$

- **Contenido de humedad en verde – diferentes fechas (CHv)**

$$CHv = \left( \frac{Pv}{PSHC} - 1 \right) \times 100$$



### 3.2.2.3.2 Densidad y Peso específico

Con la ayuda de un calibrador digital en milímetros se tomó medidas de dos caras y de largo de las probetas en estado seco al aire, verde y seca al horno para proceder a realizar los cálculos mediante las siguientes ecuaciones.

Probetas de 3 x 3 x 10 cm de largo, norma DIN 52183, determinaremos la densidad en estado verde, seco al aire, seco al horno con las ecuaciones:

- **Volumen**

$$V = \frac{S1 + S2}{2} \times H$$

- **Densidad verde**

$$Dv = \frac{Pv}{Vv}$$

- **Densidad seca al aire**

$$DSa = \frac{PSa}{V Sa}$$

- **Densidad seca al horno**

$$DSH = \frac{PSH}{V Sh}$$

- **Densidad básica**

$$Db = \frac{PSH}{Vv}$$

### 3.2.2.3.3 Contracción de la madera

Con los datos y resultados obtenidos en los cálculos de la densidad se logró encontrar las contracciones en dos estados que son de verde a seca al aire y de verde a seca al horno

Las probetas 3 x 3 x 10 cm de largo para la contracción longitudinal y volumétrica, norma DIN 52184 son las misma utilizadas en la densidad, determinaremos dos tipos de estado con la ecuación expuesta a continuación:

- **Contracción Longitudinal y contracción Volumétrica**

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$

- **Contracción Radial y Tangencial**

Con probetas de 3 x 3 x 1.5 cm de largo determinaremos dos tipos de estado de verde a seca al aire y de verde a seca al horno con la misma fórmula:

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$

### 3.2.2.4 Pruebas mecánicas

#### 3.2.2.4.1 Resistencia a la comprensión

Para determinar la comprensión paralela al grano y perpendicular al grano se colocó las probetas y con la ayuda de un calibrador digital tomamos las medidas de las dos caras de cada una de las probetas y del largo de estas, para realizar esta prueba usamos una prensa hidráulica modelos 1780 KN, la cual estuvo disponible en el laboratorio de Ingeniería civil, en cada una de las probetas se podrá apreciar la deformación y el momento de ruptura al momento de aplicar su fuerza.

Las probetas utilizadas con medidas 5 x 5 x 20 cm de largo en estado verde, seco al aire, seco al horno según las normas ASTM D-143/77-82 utilizando la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

#### 3.2.2.4.2 Flexión

Para la prueba de flexión se elaboraron probetas en estado verde, seco al aire y seco al horno con medidas de 2.5 x 2.5 x 41 cm de largo según la norma ASTM D-143/45-252, con la ayuda de un calibrador digital expresado en mm y una libreta anotamos las medidas de las caras 1 y 2 de las probetas, de igual manera tomamos un metro y sacamos las medidas del largo de las probetas. Colocamos en la prensa hidráulica 3000 KN, en sección longitudinal en el medio de las mordazas a una distancia de 30 cm, y aplicamos una carga máxima de 2.896 kN con una resistencia máxima de 2895.581 MPa, todo esto hasta tener la ruptura o quiebre de la probeta para saber que tan resistente es la madera.

Aplicamos la siguiente fórmula para obtener un resultado por el método de flexión estática calculando el módulo de ruptura:

- **Momento máximo flector (M máx.)**

$$M \text{ máx} = \frac{P \times L}{4}$$

- **Momento de inercia**

$$I = \frac{a^2 \times b^2}{12}$$

- **Simetría**

$$c = \frac{b}{2}$$

- **Esfuerzo flector o módulo de ruptura**

$$\sigma_f = \frac{M \times C}{I}$$

#### 3.2.2.4.3 Resistencia a la Tracción

Para este método elaboramos probetas de 2.5 x 2.5 x 45 cm de largo con una reducción en su sección transversal, según las normas ASTM D-143 en estado verde, seco al aire y seco al horno con un metro y un calibrador digital tomamos las medidas para ingresar en la computadora, procediendo a realizar el ensayo, se colocó las probetas en sección transversal sosteniéndolas con las mordazas adecuadas en la máquina universal UH-F500 kNX, para calcular:

- Resistencia a la ruptura
- Carga máxima
- Polígonos Esfuerzo vs Deformación.

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

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

#### 3.2.2.4.4 Método de Dureza Brinell y Tenacidad

No se logró concretar los ensayos de dureza Brinell y Tenacidad por la falta de predisposición de los laboratorios a los cuales se envió con anticipación la documentación requerida para el uso de los equipos en los ensayos ya expuestos, se pretendían utilizar equipos para madera y al momento de recibir la aprobación supieron manifestar que los equipos solicitados son solo para el uso de material de acero y aluminio es por ello por lo que las dos pruebas no se realizaron dentro de este proyecto de investigación.

#### 3.2.2.4.5 Trabajabilidad

- Trabajabilidad del Guarango

**Tabla 3**

Trabajabilidad del Guarango

| Espece          | Código | Aserrado             | Cepillado            | Torneado             |
|-----------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <u>Guarango</u> | G      | Medianamente difícil | Medianamente difícil | Medianamente difícil |

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

El guarango es una especie que se adapta a diferentes tipos de ecosistemas, además de cumplir con varias funciones como la protección y enriquecimiento del suelo, también sirve para controlar la erosión, tiene capacidad para fijar nitrógeno. La especie guarango es una especie muy resistente a las heladas y tolera la competencia por luz por lo cual la vuelve resistente a la sequía.

En la presente investigación se evaluaron las características físicas y mecánicas de la madera del guarango, se elaborando tablas con los pesos y medidas respectivas en cada probeta elaborada para las pruebas físicas y mecánicas, así mismo reemplazando datos en las fórmulas expuestas anteriormente para obtener un resultado promediado que sirvió para la comparación que nos dirá si se encuentra dentro de los rangos establecidos, a continuación, se detalla el resultado en promedio de cada prueba realizada así como su análisis.

### 4.2 Pruebas físicas

#### 4.2.1 Contenido de humedad del guarango

El contenido de humedad en la madera es el estado en el cual la humedad adquiere un equilibrio con las condiciones climático-ambientales, alterándose por las variaciones de humedad relativa y temperatura del aire circundante.

**Tabla 4**

*Contenido de humedad.*

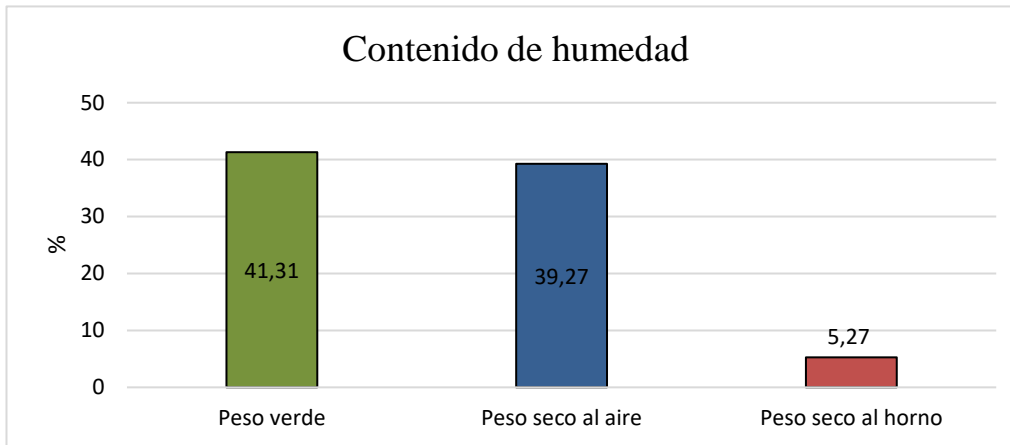
| Variables                   | Probetas (g) |       |       |       |       | Promedio de humedad (%) |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|
|                             | P1           | P2    | P3    | P4    | P5    |                         |
| Peso verde                  | 112.3        | 106.3 | 106.8 | 110.7 | 110.3 | 41.31                   |
| Peso seco (antes del horno) | 80.5         | 78.9  | 75.4  | 78.6  | 73.6  | -                       |
| Peso seco al aire           | 75.1         | 76.3  | 79.8  | 79.0  | 82.6  | 39.27                   |
| Peso seco al horno          | 79.0         | 77.8  | 74.5  | 76.3  | 72.2  | 5.27                    |

#### **Análisis**

En la tabla 4 se presenta el contenido de humedad de las cinco probetas las cuales no presentan una gran variación, encontrando que las probetas 1 y 4 tienen mayor peso, mientras que las probetas 2 y 3 el menor. Al calcular el valor promedio en porcentaje del contenido de humedad tenemos una tendencia creciente ya que la madera en verde muestra un 41.31 %, madera seca al aire 39.27 % y la madera seca al horno 5.27%. Este tipo de variaciones están correlacionados con las condiciones ambientales que varían constantemente, ya que están influenciadas con la altitud y lugar donde se obtuvieron las probetas por lo cual ninguna madera se va a encontrar en equilibrio estable (Perez et al., 2011)

**Figura 1**

*Contenido de humedad*



**Analisis**

Para la toma de datos se utilizaron 5 muestras (probetas) de las cuales se obtuvo un valor promedio, teniendo el máximo valor en el peso en verde con 41,3 y el mínimo luego de haberse secado en el horno con 5,27. Perdiendo un contenido de humedad de casi 8 veces el peso inicial.

La mayoría de las probetas utilizadas durante la investigación sufrieron desperfecto como cuarteadas, rajaduras y resquebrajamiento durante el proceso de secado esto debido a la cantidad de agua almacenada en las muestras generando dichos defectos por alto contenido de humedad.

**4.2.2 Clasificación de la madera del Guarango por su densidad**

Según los resultados obtenidos en la aplicación de la fórmula para saber la densidad de la madera de la especie del Guarango obtuvimos 1.07 kg/dcm<sup>3</sup> en verde, 0.76 kg/dcm<sup>3</sup> en seca al aire respectivamente. Para Morgado y sus colaboradores (2019) La densidad de la madera varía principalmente por la temperatura, pero también existen factores como la tensión, compresión y genéticos que pueden determinar sus condiciones físico-mecánicas de esta.

Al realizar la clasificación por su densidad se puede decir que la madera del Guarango se considerada como madera pesada ya que su rango esta dentro de los 0.8 kg/dcm<sup>3</sup>. Demostrando así que la relación entre la densidad y el contenido de humedad son directamente proporcionales, es decir, que mientras mayor sea la cantidad de humedad, mayor será la densidad de la muestra.

**Tabla 5**

*Tabla resumen de los valores de volumen promedio del guarango*

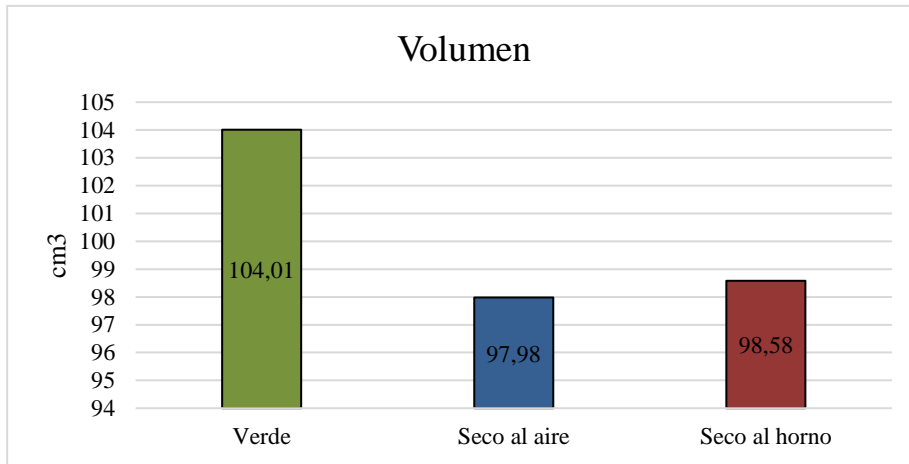
| Variables     | Probetas (cm <sup>3</sup> ) |        |        |        |        | Promedio |
|---------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
|               | P1                          | P2     | P3     | P4     | P5     |          |
| Verde         | 101.60                      | 105.26 | 103.62 | 103.67 | 105.90 | 104.01   |
| Seco al aire  | 90.47                       | 92.98  | 89.20  | 88.69  | 128.57 | 97.98    |
| Seco al horno | 101.05                      | 101.85 | 97.19  | 96.67  | 96.13  | 98.58    |

## Analisis

Para el volumen promedio del guarango de las cinco probetas utilizadas tomamos medidas de la cara a y b de cada una de las muestras así como su longitud, obteniendo así un resultado S1 y S2 las cuales se reemplazan en la formula del volumen dándonos un resultado final expresado en  $cm^3$ , esto se representa en la tabla 5 con un promedio para las variables en estado verde, seco al aire y seco al horno.

### Figura 2

Valores de volumen promedio del guarango



### Análisis

Los valores presentados en la figura 2 corresponden al volumen de cada probeta que se utilizo para sacar el promedio general en estado verde, seco al aire y seco al horno.

#### 4.2.3 Clasificación de la madera del Guarango por su peso específico

Con los datos finales obtenidos en la densidad básica y densidad seca al horno de la especie del Guarango podemos saber en qué rango se encuentra dentro del cuadro de clasificación de la madera y obtuvimos que esta madera está dentro de la madera tipo Pesadas ya que el rango debe de ser Mayor de 0.50 y nuestra especie tiene un rango que va desde 0.77 hasta 0.81.

#### 4.2.4 Contracción del guarango

##### 4.2.4.1 Contracción longitudinal de estado verde a seco al aire

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{104.01 \text{ cm}^3 - 97.98 \text{ cm}^3}{97.98 \text{ cm}^3} \times 100\text{cm}$$
$$B = 6.15 \%$$

#### 4.2.4.2 Contracción longitudinal de estado verde a seco al horno

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{104.01 \text{ cm}^3 - 98.57 \text{ cm}^3}{98.57 \text{ cm}^3} \times 100\text{cm}$$
$$B = 5.51 \%$$

#### Análisis de la contracción longitudinal del guarango

Mediante los resultados obtenidos en los cálculos de la contracción longitudinal de la especie del Guarango se establece que el **6.25%** de su volumen se contrae al perder humedad en seco al aire, mientras que el **5.51%** de su volumen se contrae al perder humedad en seco al horno.

#### 4.2.5 Contracción tangencial y radial del Guarango

##### 4.2.5.1 Contracción tangencial y radial de estado verde a seco al aire

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{148.21 \text{ cm}^3 - 147.37 \text{ cm}^3}{147.37 \text{ cm}^3} \times 100\text{cm}$$
$$B = 0.57 \%$$

##### 4.2.5.2 Contracción tangencial y radial de estado verde a seco al horno

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{148.21 \text{ cm}^3 - 147.53 \text{ cm}^3}{147.53 \text{ cm}^3} \times 100\text{cm}$$
$$B = 0.46 \%$$

#### Análisis de la contracción radial y tangencial del Guarango

En la contracción radial y tangencial de la especie del Guarango de estado verde a seco al aire obtuvimos un resultado de **B = 0.57 %** mientras que en la contracción radial y tangencial de estado verde a seco al horno se obtuvo **B = 0.46 %** lo que quiere decir que se encuentra en la clasificación **Baja**, ya que estas van en un rango de **3.6%** y **1.5%**.

#### 4.2.6 Contracción volumétrica del Guarango

##### 4.2.6.1 Contracción volumétrica de estado verde a seco al aire

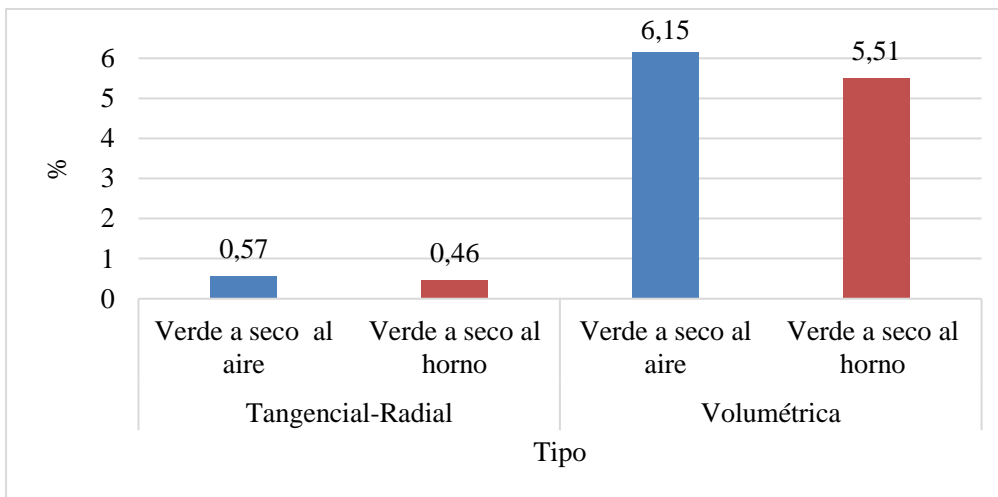
$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{104.01 \text{ cm}^3 - 97.98 \text{ cm}^3}{97.98 \text{ cm}^3} \times 100\text{cm}$$
$$B = 6.15 \%$$

#### 4.2.6.2 Contracción volumétrica de estado verde a seco al horno

$$B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$$
$$B = \frac{104.01 \text{ cm}^3 - 98.57 \text{ cm}^3}{98.57 \text{ cm}^3} \times 100$$
$$B = 5.51 \%$$

**Figura 3**

*Contracción total*



Analizando la contracción volumétrica se determinó un porcentaje **6.15%** de verde a seco al aire y **5.51%** de verde a seco al horno, lo que demuestra que la especie arbórea no es propensa a contraer durante el proceso de secado, lo que corrobora los datos obtenidos de la relación tangencial-radial, dándonos un porcentaje de 0.57% de verde a seco y 0.46%, lo que demuestra que no existe una contracción significativa durante el proceso de secado (Bustos, 2020).

#### **Análisis de la contracción volumétrica del Guarango**

En la contracción volumétrica del Guarango se obtuvo resultados en seco al aire de 6.15% y en la seca al horno de 5.51%, catalogándolo según la tabla de la clasificación volumétrica como una especie de contracción volumétrica muy baja debido a que presenta valores por debajo del 10%, según (Paulina, 2015) Imagen: Límite de valores para la clasificación de especies.

### **4.3 Pruebas mecánicas**

#### **4.3.1 Resistencia a la compresión**

##### **4.3.1.1 Compresión paralela al grano**

###### **4.3.1.1.1 Promedio de la compresión paralela al grano en estado verde**



**Tabla 6***Promedio de la compresión paralela al grano en estado verde*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | deformación lineal ( $\Delta l$ ) mm<br>10 <sup>-2</sup> | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm<br>10 <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---|
| 200        | 205.6                | 27.35                   | 21.81  | 202.8         | 7.52                           | 1.07                                      |
| 400        | 422.9                | 27.35                   | 32.03  | 202.8         | 15.46                          | 1.58                                      |
| 600        | 609.7                | 27.35                   | 43.22  | 202.8         | 22.29                          | 2.13                                      |
| 800        | 828.4                | 27.35                   | 56.06  | 202.8         | 30.29                          | 2.76                                      |
| 1000       | 1019                 | 27.35                   | 61.64  | 202.8         | 37.26                          | 3.04                                      |
| 1200       | 1231.5               | 27.35                   | 71.61  | 202.8         | 45.03                          | 3.53                                      |
| 1400       | 1454.6               | 27.35                   | 82.08  | 202.8         | 53.18                          | 4.05                                      |
| 1600       | 1625.9               | 27.35                   | 96.52  | 202.8         | 59.45                          | 4.76                                      |
| 1800       | 1867.2               | 27.35                   | 104.82   | 202.8         | 68.27                          | 5.17                                      |
| 2000       | 2011                 | 27.35                   | 115.93   | 202.8         | 73.53                          | 5.72                                      |
| 2200       | 2229.5               | 27.35                   | 123.53   | 202.8         | 81.52                          | 6.09                                      |
| 2400       | 2432.5               | 27.35                   | 132.15   | 202.8         | 88.94                          | 6.52                                      |

- Área = 27.56 + 27.56 + 27.04 + 27.56 + 27.04 = **27.35 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 203 + 202 + 202 + 204 + 203 = **202.8 mm**

➤ **Esfuerzo**

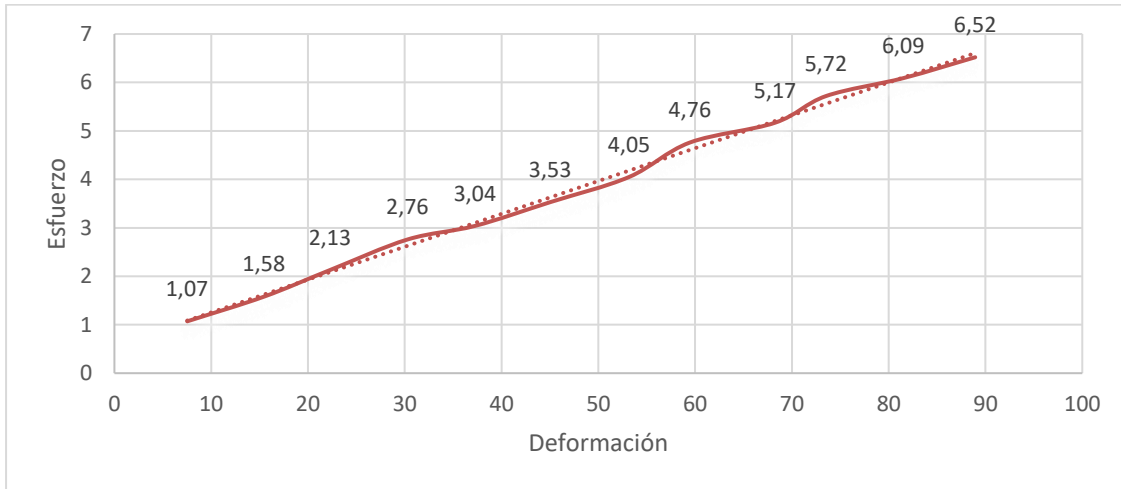
$$\theta = \frac{205.6 \text{ kg}}{27.35 \text{ cm}^2} = 7.52 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{21.81 \text{ mm}}{202.8 \text{ mm}} = 1.07 \times 10^{-3}$$

**Figura 4**

*Promedio de la carga paralela al grano en estado verde*



**4.3.1.1.2 Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al aire**

**Tabla 7**

*Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al aire*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\frac{\Delta L}{L}$ ) mm 10 <sup>-2</sup> | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm 10 <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------|-------------------------|---|---------------|--------------------------------|--|
| 200        | 204.4                | 27.67                   | 22.42   | 203           | 7.39                           | 1.10                                   |
| 400        | 427.7                | 27.67                   | 34.42   | 203           | 15.46                          | 1.69                                   |
| 600        | 632.7                | 27.67                   | 44.44   | 203           | 22.86                          | 2.19                                   |
| 800        | 851.3                | 27.67                   | 53.23   | 203           | 30.77                          | 2.62                                   |
| 1000       | 1037.6               | 27.67                   | 66.04   | 203           | 37.50                          | 3.25                                   |
| 1200       | 1231.4               | 27.67                   | 75.81   | 203           | 44.50                          | 3.73                                   |
| 1400       | 1441.6               | 27.67                   | 86.03   | 203           | 52.10                          | 4.24                                   |
| 1600       | 1633.7               | 27.67                   | 94.24   | 203           | 59.04                          | 4.64                                   |
| 1800       | 1841.3               | 27.67                   | 98.67   | 203           | 66.54                          | 4.86                                   |
| 2000       | 2010                 | 27.67                   | 106.3   | 203           | 72.64                          | 5.23                                   |

- Área = 27.56 + 27.03 + 28.09 + 27.04 + 28.62 = **27.67 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 203 + 202 + 203 + 205 + 202 = **203 mm**

➤ **Esfuerzo**

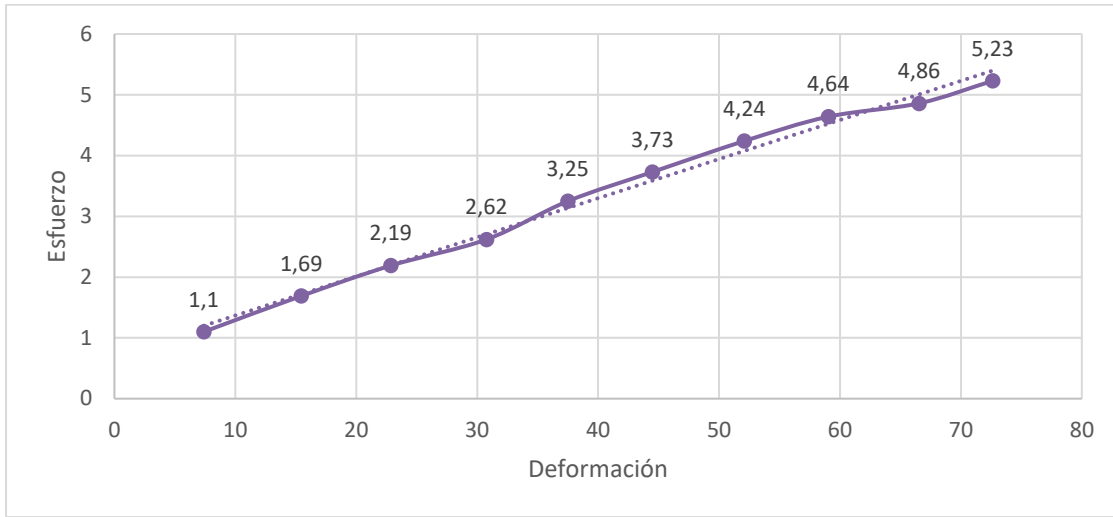
$$\theta = \frac{204.4 \text{ kg}}{27.67 \text{ cm}^2} = 7.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.42 \text{ mm}}{203 \text{ mm}} = 1.10 \times 10^{-3}$$

**Figura 5**

*Promedio de la carga paralela al grano en estado seco al aire*



**4.3.1.1.3 Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al horno**

**Tabla 8**

*Promedio de la compresión paralela al grano en estado seco al horno*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 204.3                | 26.42                   | 23.23  | 202.2         | 7.73                           | 1.15                            |
| 400        | 422.3                | 26.42                   | 33.24  | 202.2         | 15.98                          | 1.64                            |
| 600        | 635.8                | 26.42                   | 44.42  | 202.2         | 24.06                          | 2.20                            |
| 800        | 826.6                | 26.42                   | 52.44  | 202.2         | 31.29                          | 2.59                            |
| 1000       | 1040.4               | 26.42                   | 64.44  | 202.2         | 39.38                          | 3.19                            |
| 1200       | 1256.3               | 26.42                   | 73.84  | 202.2         | 47.55                          | 3.65                            |
| 1400       | 1433.4               | 26.42                   | 86.63  | 202.2         | 54.25                          | 4.28                            |
| 1600       | 1651.6               | 26.42                   | 97.41  | 202.2         | 62.51                          | 4.82                            |
| 1800       | 1831.1               | 26.42                   | 106.65   | 202.2         | 69.31                          | 5.27                            |
| 2000       | 2029.2               | 26.42                   | 117.25   | 202.2         | 76.80                          | 5.80                            |
| 2200       | 2258.4               | 26.42                   | 128.70   | 202.2         | 85.48                          | 6.36                            |
| 2400       | 2445.1               | 26.42                   | 136.65   | 202.2         | 92.55                          | 6.76                            |

- Área = 25 + 26.52 + 27.56 + 27.03 + 26.01 = **26.42 cm<sup>2</sup>**
- Longitud = 202 + 203 + 202 + 202 + 202 = **202.2 mm**
- **Esfuerzo**

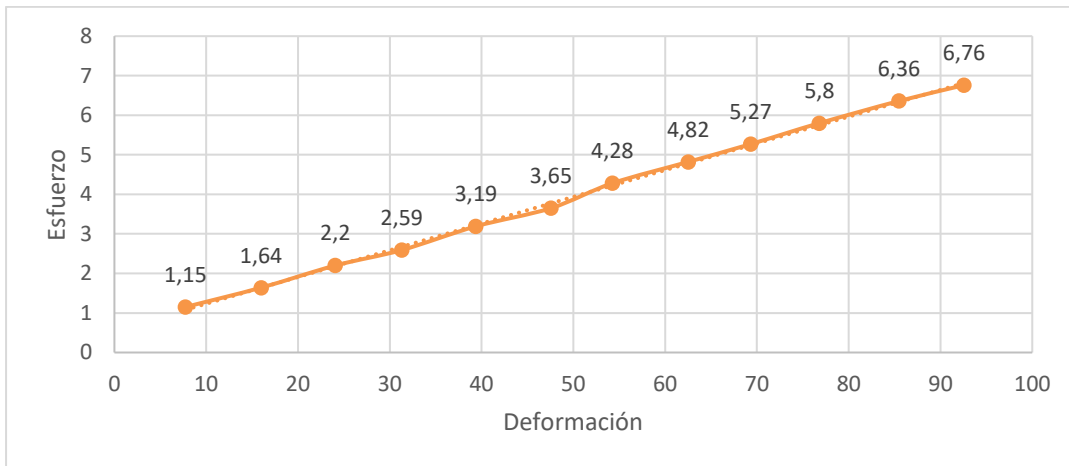
$$\theta = \frac{204.3 \text{ kg}}{26.42 \text{ cm}^2} = 7.73 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{23.23 \text{ mm}}{202.2 \text{ mm}} = 1.10 \times 10^{-3}$$

**Figura 6**

*Promedio de la carga paralela al grano en estado seco al horno*



#### 4.3.1.2 Compresión perpendicular al grano

##### 4.3.1.2.1 Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado verde

**Tabla 9**

*Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado verde*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\frac{\Delta L}{10^{-2}}$ ) mm | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 206.2                | 27.35                   | 22.64  | 202.8         | 7.54                           | 1.12                            |
| 400        | 426.1                | 27.35                   | 36.21  | 202.8         | 15.58                          | 1.78                            |
| 600        | 622.3                | 27.35                   | 47.82  | 202.8         | 22.75                          | 2.36                            |
| 800        | 832.7                | 27.35                   | 59.05  | 202.8         | 30.45                          | 2.91                            |
| 1000       | 1033                 | 27.35                   | 69.62  | 202.8         | 37.77                          | 3.43                            |
| 1200       | 1234.4               | 27.35                   | 80.26  | 202.8         | 45.13                          | 3.96                            |
| 1400       | 1448.5               | 27.35                   | 88.91  | 202.8         | 52.96                          | 4.38                            |
| 1600       | 1635.8               | 27.35                   | 101.77   | 202.8         | 59.81                          | 5.02                            |
| 1800       | 1866.4               | 27.35                   | 110.83   | 202.8         | 68.24                          | 5.46                            |
| 2000       | 2034                 | 27.35                   | 113.00   | 202.8         | 74.37                          | 5.57                            |

- Área = 27.56 + 27.56 + 27.04 + 27.56 + 27.08 = **27.35 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 203 + 202 + 202 + 204 + 203 = **202.8 mm**

➤ **Esfuerzo**

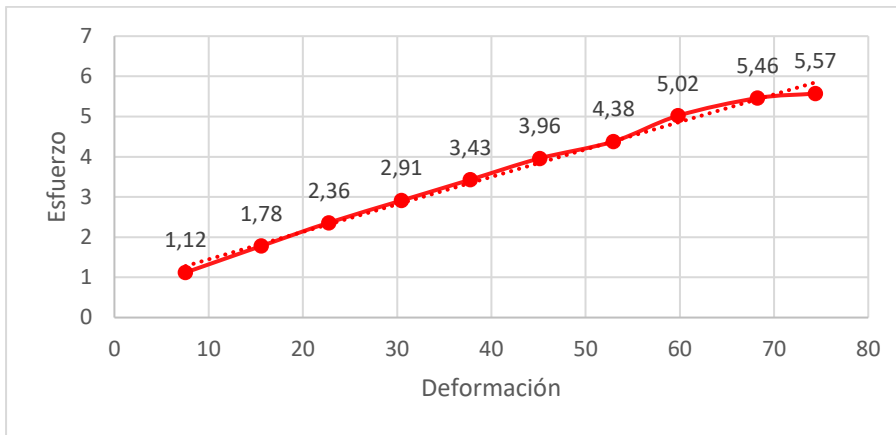
$$\theta = \frac{206.2 \text{ kg}}{27.35 \text{ cm}^2} = 7.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.64 \text{ mm}}{202.8 \text{ mm}} = 1.12 \times 10^{-3}$$

**Figura 7**

*Promedio de la carga perpendicular al grano en estado verde*



#### 4.3.1.2.2 Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al aire

**Tabla 10**

*Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al aire*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\frac{\Delta L}{L}$ ) mm 10 <sup>-2</sup> | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (ε) mm/mm 10 <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------|-------------------------|---|---------------|--------------------------------|--|
| 200        | 205.4                | 27.66                   | 22.84   | 203           | 7.42                           | 1.12                                   |
| 400        | 430.1                | 27.66                   | 32.21   | 203           | 15.55                          | 1.59                                   |
| 600        | 634.5                | 27.66                   | 46.23   | 203           | 22.94                          | 2.28                                   |
| 800        | 853.7                | 27.66                   | 57.01   | 203           | 30.86                          | 2.81                                   |
| 1000       | 1039.8               | 27.66                   | 67.04   | 203           | 37.59                          | 3.30                                   |
| 1200       | 1233.2               | 27.66                   | 79.45   | 203           | 44.58                          | 3.91                                   |
| 1400       | 1443.8               | 27.66                   | 92.38   | 203           | 52.20                          | 4.55                                   |
| 1600       | 1635.3               | 27.66                   | 103.81  | 203           | 59.12                          | 5.11                                   |
| 1800       | 1844.8               | 27.66                   | 116.23  | 203           | 66.69                          | 5.72                                   |
| 2000       | 2014.5               | 27.66                   | 128.00  | 203           | 72.83                          | 6.30                                   |

- Área = 27.56 + 27.03 + 28.09 + 27.04 + 28.62 = **27.66 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 203 + 202 + 203 + 205 + 202 = **203 mm**

➤ **Esfuerzo**

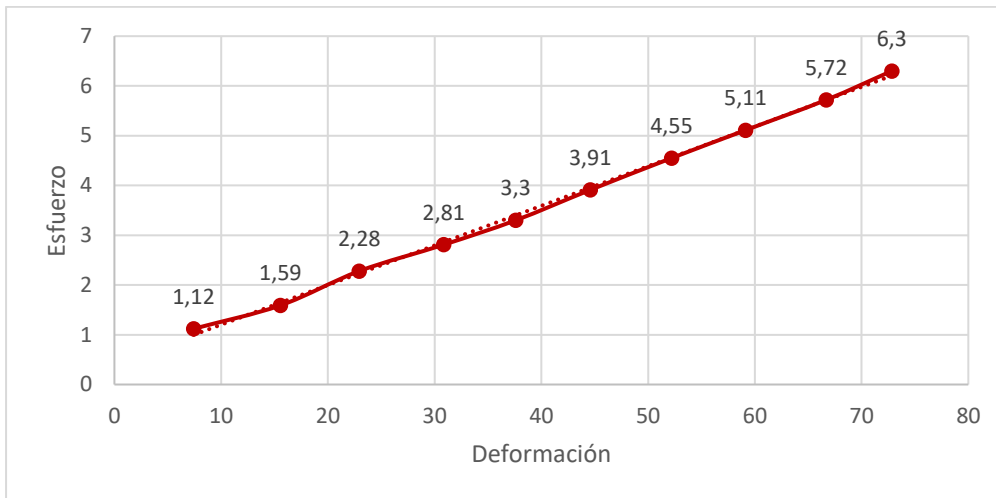
$$\theta = \frac{205.4 \text{ kg}}{27.66 \text{ cm}^2} = 7.42 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.84 \text{ mm}}{203 \text{ mm}} = 1.12 \times 10^{-3}$$

**Figura 8**

*Promedio de la carga perpendicular al grano en estado seco al aire*



#### 4.3.1.2.3 Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al horno

**Tabla 11**

*Promedio de la compresión perpendicular al grano en estado seco al horno*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 205.3                | 26.42                   | 22.64  | 202.2         | 7.77                           | 1.12                            |
| 400        | 424.1                | 26.42                   | 30.83  | 202.2         | 16.05                          | 1.52                            |
| 600        | 638.2                | 26.42                   | 44.22  | 202.2         | 24.15                          | 2.19                            |
| 800        | 830.6                | 26.42                   | 54.41  | 202.2         | 31.44                          | 2.69                            |
| 1000       | 1043.8               | 26.42                   | 67.04  | 202.2         | 39.51                          | 3.31                            |
| 1200       | 1258.3               | 26.42                   | 75.47  | 202.2         | 47.63                          | 3.73                            |
| 1400       | 1441.4               | 26.42                   | 86.24  | 202.2         | 54.56                          | 4.26                            |
| 1600       | 1655.0               | 26.42                   | 95.86  | 202.2         | 62.64                          | 4.74                            |
| 1800       | 1832.9               | 26.42                   | 108.19   | 202.2         | 69.37                          | 5.35                            |
| 2000       | 2030.2               | 26.42                   | 125.01   | 202.2         | 76.84                          | 6.18                            |
| 2200       | 2252.2               | 26.42                   | 135.50   | 202.2         | 85.25                          | 6.70                            |
| 2400       | 2436.1               | 26.42                   | 156.20   | 202.2         | 92.21                          | 7.72                            |

- Área = 25 + 26.52 + 27.56 + 27.03 + 26.01 = **26.42 cm<sup>2</sup>**
- Longitud = 202 + 203 + 202 + 202 + 202 = **202.2 mm**
- **Esfuerzo**

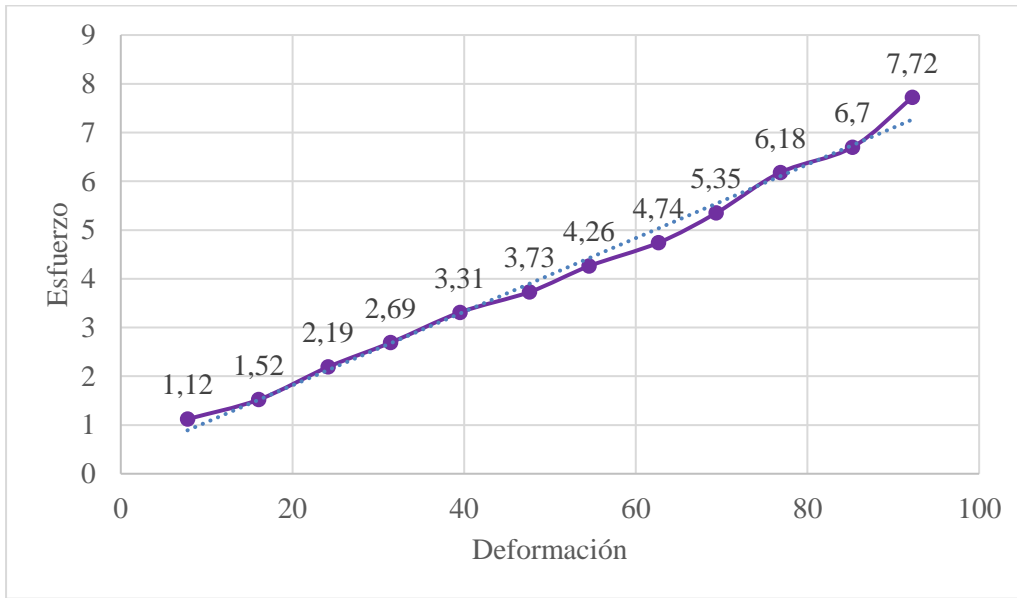
$$\theta = \frac{205.3 \text{ kg}}{26.42 \text{ cm}^2} = 7.77 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.64 \text{ mm}}{202.8 \text{ mm}} = 1.12 \times 10^{-3}$$

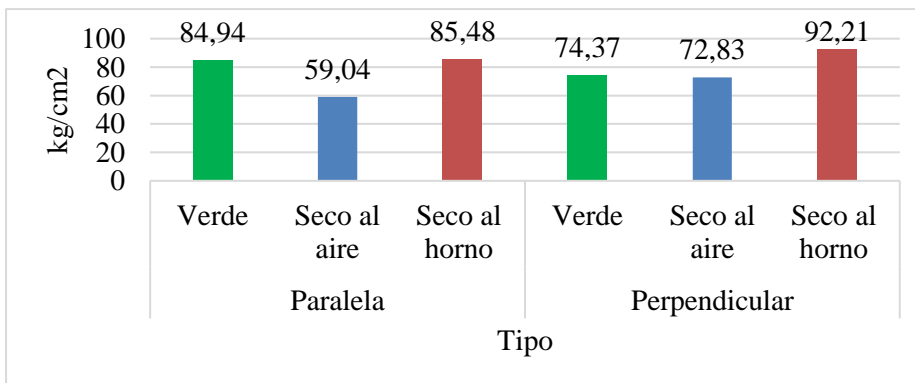
**Figura 9**

*Promedio de la carga perpendicular al grano en estado seco al horno*



**Figura 10**

*Compresión total*



Para el cálculo de la compresión paralela y perpendicular se colocó las probetas en forma que las fibras estaban paralelas y perpendiculares a la presión emitida por la prensa, sin embargo en la compresión perpendicular la carga fue aplicada hasta el límite proporcional y para la compresión paralela la carga fue aplicada hasta el punto en que la máquina automáticamente deajo de arrojar valores.

### Análisis de la comprensión paralela al grano del Guarango

De acuerdo con los resultados obtenidos en la comprensión paralela se puede decir que en estado verde tenemos ( $84.94 \text{ kg/cm}^2$ ), en seca al aire con ( $59.04 \text{ kg/cm}^2$ ), seco al horno ( $85.48 \text{ kg/cm}^2$ ), tomando en cuenta los rangos de la imagen: Limite de valores para la clasificación de especies según (Paulina, 2015), se encuentra dentro del rango Muy Bajo.

### Análisis de la comprensión perpendicular al grano del Guarango

Con respecto a los resultados obtenidos de la comprensión perpendicular al grano en los tres estados verde, seco al aire, seco al horno tenemos como carga inicial 200 kg, en verde ( $74.37 \text{ kg/cm}^2$ ), en seco al aire ( $72.83 \text{ kg/cm}^2$ ), mientras que en el estado seco al horno ( $92.21 \text{ kg/cm}^2$ ) se presenta un valor medio, lo que en la tabla de la imagen: Limite de valores para la Clasificación de especies (Paulina, 2015), se encuentra dentro del rango Muy Bajo.

#### 4.3.2 Flexión estática

**Tabla 12**

*Flexión estática*

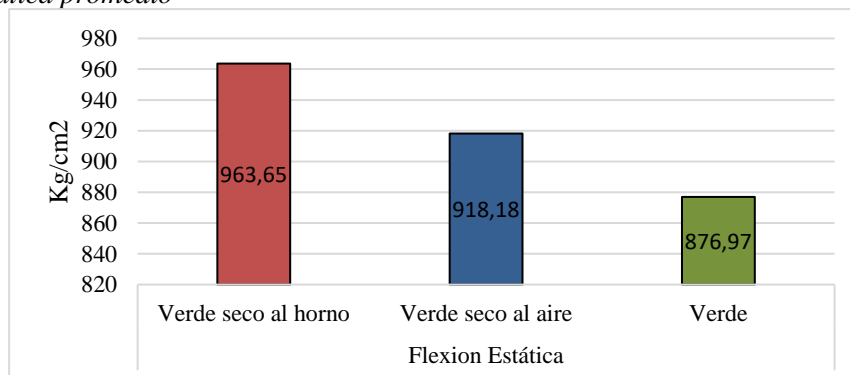
| Variables     | Probetas ( $\text{kg/cm}^2$ ) |         |         |         |        | Promedio |
|---------------|-------------------------------|---------|---------|---------|--------|----------|
|               | P1                            | P2      | P3      | P4      | P5     |          |
| Verde         | 949.15                        | 1090.22 | 1038.46 | 446.42  | 860.58 | 876.97   |
| Seco al aire  | 973.34                        | 873.35  | 884.95  | 1047.91 | 811.32 | 918.18   |
| Seco al horno | 743.44                        | 1430.77 | 856.81  | 902.65  | 884.61 | 963.65   |

### Análisis de la Flexión estática del Guarango

Aplicando la flexión estática en la especie del Guarango *Caesalpinia spinosa* podemos analizar mediante los resultados obtenidos se presenta en estado verde con un total de  $876.97 \text{ kg/cm}^2$ , en estado seco al aire  $918.18 \text{ kg/cm}^2$  y en estado seco al horno un total de  $963.65 \text{ kg/cm}^2$  lo cual nos indica mediante el cuadro de la clasificación por flexión estática que nuestra especie en los tres estados se encuentra dentro del rango Moderadamente bajo, ya que va desde los  $750 \text{ kg/cm}^2$  a  $1092 \text{ kg/cm}^2$ , según (Paulina, 2015) Imagen: Limite de valores para la clasificación de especies.

**Figura 11**

*Flexión estática promedio*





### 4.3.3 Resistencia a la tracción

#### 4.3.3.1 Promedio de la Tracción en estado verde

Tabla 13

Promedio en la Tracción en estado verde

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación ( $\epsilon$ ) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|--|
| 20         | 26.56                | 25.82                   | 24.35  | 349.2         | 1.03                           | 0.07                                       |
| 40         | 44.61                | 25.82                   | 46.36  | 349.2         | 1.73                           | 0.13                                       |
| 60         | 63.40                | 25.82                   | 69.61  | 349.2         | 2.45                           | 0.20                                       |
| 80         | 83.16                | 25.82                   | 94.70  | 349.2         | 3.22                           | 0.27                                       |
| 100        | 110.41               | 25.82                   | 118.74   | 349.2         | 4.28                           | 0.34                                       |
| 120        | 126.08               | 25.82                   | 144.29   | 349.2         | 4.88                           | 0.41                                       |
| 140        | 145.55               | 25.82                   | 187.84   | 349.2         | 5.64                           | 0.54                                       |
| 160        | 163.19               | 25.82                   | 233.25   | 349.2         | 6.32                           | 0.67                                       |
| 180        | 186.49               | 25.82                   | 266.37   | 349.2         | 7.22                           | 0.76                                       |
| 200        | 209.55               | 25.82                   | 320.54   | 349.2         | 8.11                           | 0.92                                       |
| 220        | 226.26               | 25.82                   | 359.65   | 349.2         | 8.76                           | 1.03                                       |
| 240        | 243.94               | 25.82                   | 414.80   | 349.2         | 9.45                           | 1.19                                       |
| 260        | 264.83               | 25.82                   | 451.18   | 349.2         | 10.26                          | 1.29                                       |
| 280        | 282.45               | 25.82                   | 500.30   | 349.2         | 10.94                          | 1.43                                       |
| 300        | 307.77               | 25.82                   | 469.75   | 349.2         | 11.92                          | 1.34                                       |
| 320        | 324.38               | 25.82                   | 529.31   | 349.2         | 12.56                          | 1.51                                       |
| 340        | 348.31               | 25.82                   | 575.73   | 349.2         | 13.49                          | 1.65                                       |
| 360        | 370.26               | 25.82                   | 604.14   | 349.2         | 14.34                          | 1.73                                       |
| 380        | 392.51               | 25.82                   | 630.35   | 349.2         | 15.20                          | 1.80                                       |

- Área = 25.75 + 25.97 + 25.25 + 25.92 + 26.23 = **25.82 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 349 + 350 + 350 + 349 + 348 = **349.2 mm**

➤ **Esfuerzo**

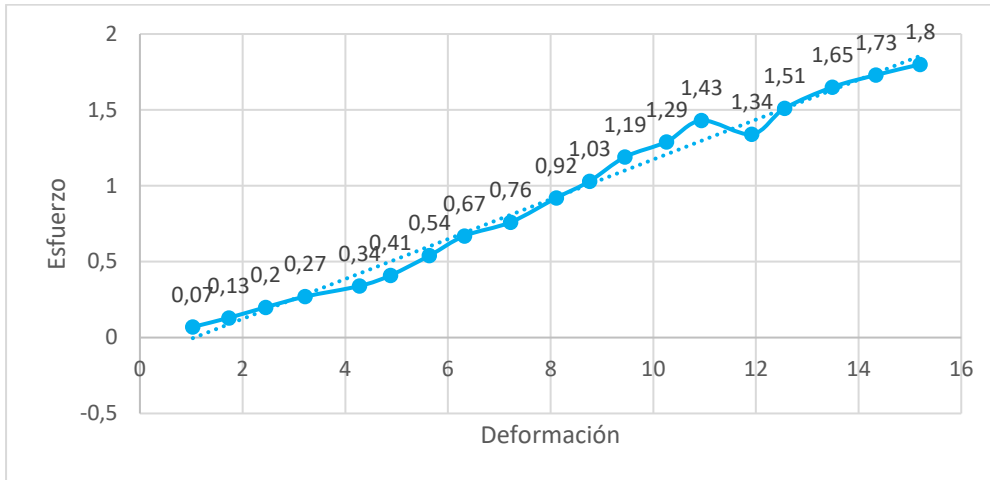
$$\theta = \frac{26.56 \text{ kg}}{25.82 \text{ cm}^2} = 1.03 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\epsilon = \frac{24.35 \text{ mm}}{349.2 \text{ mm}} = 0.07 \times 10^{-3}$$

**Figura 12**

*Promedio de la resistencia a la tracción en estado verde*



**4.3.3.2 Promedio de la Tracción en estado seco al aire**

**Tabla 14**

*Promedio en la Tracción en estado seco al aire*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 20         | 24.52                | 25.30                   | 22.62  | 349.2         | 0.97                           | 0.06                            |
| 40         | 43.95                | 25.30                   | 54.97  | 349.2         | 1.74                           | 0.16                            |
| 60         | 65.62                | 25.30                   | 91.54  | 349.2         | 2.59                           | 0.26                            |
| 80         | 84.00                | 25.30                   | 149.01   | 349.2         | 3.32                           | 0.43                            |
| 100        | 108.71               | 25.30                   | 224.53   | 349.2         | 4.30                           | 0.64                            |
| 120        | 126.09               | 25.30                   | 281.27   | 349.2         | 4.98                           | 0.80                            |
| 140        | 146.74               | 25.30                   | 343.57   | 349.2         | 5.80                           | 0.98                            |
| 160        | 164.57               | 25.30                   | 355.29   | 349.2         | 6.50                           | 1.02                            |
| 180        | 187.52               | 25.30                   | 367.11   | 349.2         | 7.41                           | 1.05                            |
| 200        | 208.28               | 25.30                   | 431.86   | 349.2         | 8.23                           | 1.24                            |
| 220        | 226.23               | 25.30                   | 478.16   | 349.2         | 8.94                           | 1.37                            |
| 240        | 248.89               | 25.30                   | 523.36   | 349.2         | 9.84                           | 1.50                            |
| 260        | 264.08               | 25.30                   | 519.70   | 349.2         | 10.44                          | 1.49                            |

- Área = 25.75 + 25.30 + 24.42 + 25.66 + 25.36 = **25.30 cm<sup>2</sup>**

- Longitud = 348 + 350 + 351 + 349 + 348 = **349.2 mm**

➤ **Esfuerzo**

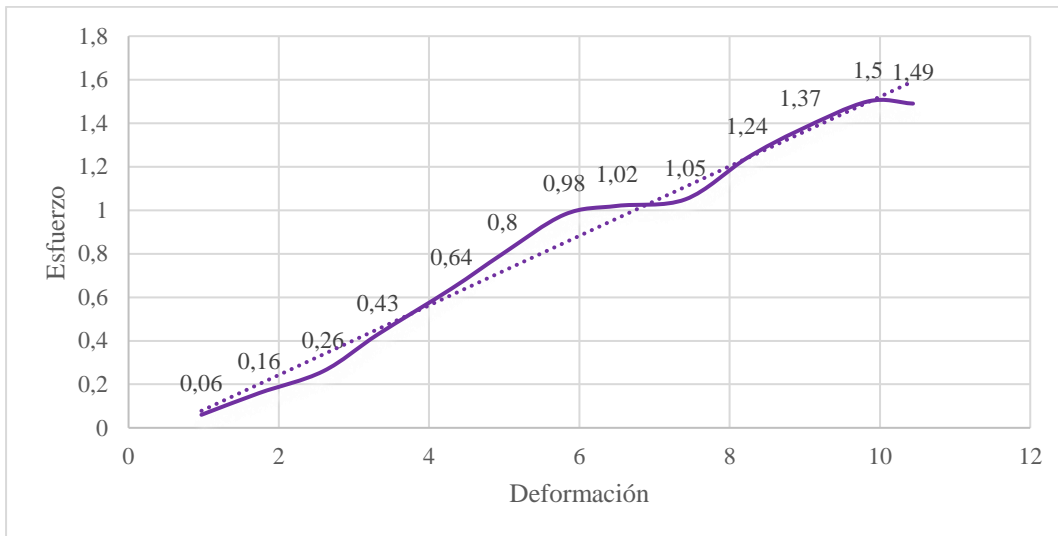
$$\theta = \frac{24.52 \text{ kg}}{25.30 \text{ cm}^2} = 0.97 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.62 \text{ mm}}{349.2 \text{ mm}} = 0.06 \times 10^{-3}$$

**Figura 13**

*Promedio de la resistencia a la tracción en estado seco al aire*



#### 4.3.3.3 Promedio de la Tracción en estado seco al horno

**Tabla 15**

*Promedio en la Tracción en estado seco al horno*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 20         | 27.93                | 25.15                   | 22.53  | 349.2         | 1.11                           | 0.06                            |
| 40         | 42.73                | 25.15                   | 51.83  | 349.2         | 1.70                           | 0.15                            |
| 60         | 65.34                | 25.15                   | 80.42  | 349.2         | 2.60                           | 0.23                            |
| 80         | 84.46                | 25.15                   | 123.74   | 349.2         | 3.36                           | 0.35                            |
| 100        | 107.42               | 25.15                   | 183.72   | 349.2         | 4.27                           | 0.53                            |
| 120        | 127.28               | 25.15                   | 235.68   | 349.2         | 5.06                           | 0.67                            |
| 140        | 145.84               | 25.15                   | 289.42   | 349.2         | 5.80                           | 0.83                            |
| 160        | 165.38               | 25.15                   | 354.29   | 349.2         | 6.57                           | 1.01                            |
| 180        | 184.25               | 25.15                   | 396.45   | 349.2         | 7.33                           | 1.13                            |
| 200        | 210.51               | 25.15                   | 456.16   | 349.2         | 8.37                           | 1.31                            |
| 220        | 225.42               | 25.15                   | 498.77   | 349.2         | 8.96                           | 1.43                            |
| 240        | 245.13               | 25.15                   | 526.17   | 349.2         | 9.75                           | 1.51                            |
| 260        | 265.90               | 25.15                   | 571.94   | 349.2         | 10.57                          | 1.64                            |
| 280        | 288.21               | 25.15                   | 635.07   | 349.2         | 11.46                          | 1.82                            |

• Área = 24.91 + 25.11 + 25.15 + 24.44 + 26.14 = **25.15 cm<sup>2</sup>**

• Longitud = 350 + 348 + 351 + 348 + 349 = **349.2 mm**

➤ **Esfuerzo**

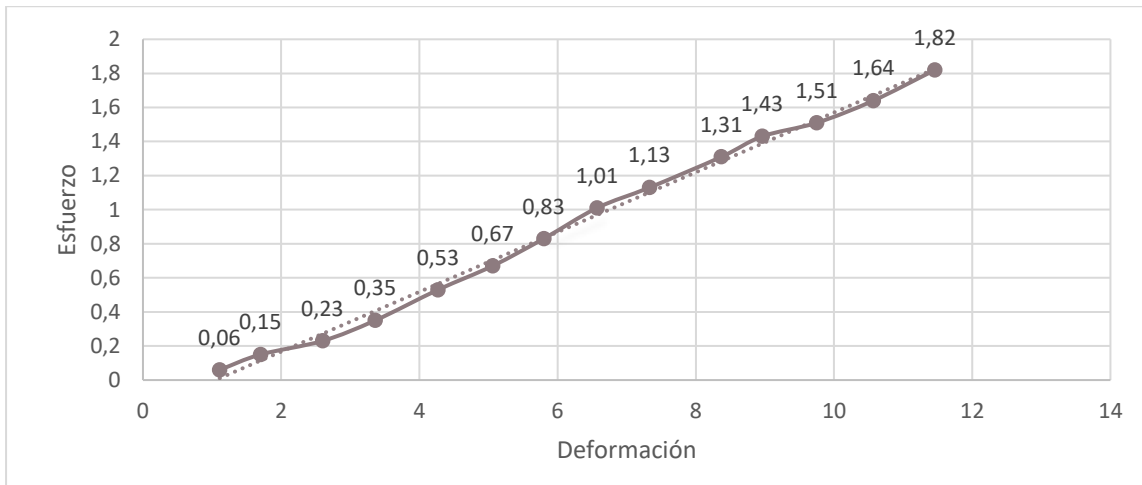
$$\theta = \frac{27.93 \text{ kg}}{25.15 \text{ cm}^2} = 1.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.53 \text{ mm}}{349.2 \text{ mm}} = 0.06 \times 10^{-3}$$

**Figura 14**

*Promedio de la resistencia a la tracción en estado seco al horno*

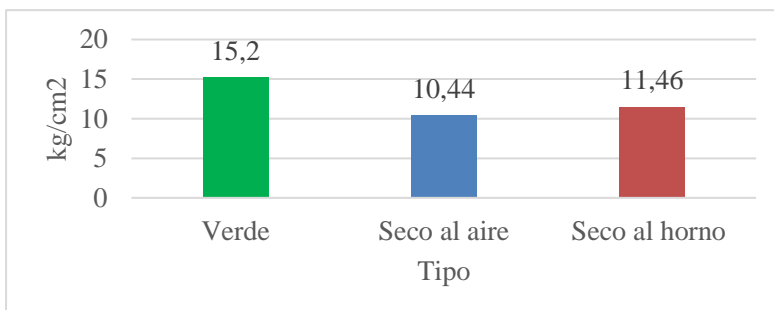


**Análisis de la resistencia a la Tracción del Guarango**

En los datos obtenidos con la aplicación de la resistencia a la tracción en los tres estados de la madera con una carga inicial de 20kg en estado verde en la deformación tenemos en la Deformación límite de ruptura cuando llego al 1.80 mm/mm 10<sup>-3</sup>, con un Esfuerzo de 15.20 kg/cm<sup>2</sup>, seca al aire una Deformación de 1.49 mm/mm 10<sup>-3</sup>, con un Esfuerzo de 10.44 kg/cm<sup>2</sup>, seco al horno con una Deformación de 1.82 mm/mm 10<sup>-3</sup> y un Esfuerzo de 11.46 kg/cm<sup>2</sup> tenemos una representación gráfica en la que se ve el esfuerzo y la deformación de los tres estados de la madera, lo que quiere decir que el Guarango no puede ser utilizado en cargas tan pesadas o que tengan que ver con la resistencia a la tracción.

**Figura 15**

*Resistencia a la tracción*



#### 4.4 Utilización del guarango en la agroindustria

Según (Játiva, 2011) el Guarango tiene una buena producción de madera, esta especie también ayuda en la recuperación de la fertilidad y producción del suelo, esto sucede por la fijación de nitrógeno del aire. Dentro del campo de la agroindustria se busca obtener productos de materiales orgánicos, en este caso el Guarango es utilizado para la curtiembre de cueros ya que se puede obtener taninos (sustancias astringentes y de sabor amargo) que van de 40 y 53%, los cuales se encuentran en sus frutos o vainas, esto quiere decir que tiene una alta capacidad para formar combinados insolubles con las proteínas, entre los principales usos que se le puede dar están:

- Curtición de pieles.
- Sustitutivo de malta para elaborar cerveza y también para la clarificación de los vinos.
- Agentes de pigmentación que sirven para la aplicación de tintes en tejidos y en la industria del caucho.
- Elaboración de harina o pasta de la semilla del Guarango para uso alimenticio y también para el uso en animales, de este se extrae aceites y gomas aptos para la elaboración de yogurt, salsas, mostaza, mermelada, helados entre otros actuando como espesante en los mismos (Figuerola, 2006).

#### 4.5 Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre Guarango y Eucalipto.

##### 4.5.1 Resultado de las propiedades físicas

En la tabla 34 se observa las propiedades físicas de 2 especies arbóreas Guarango *Caesalpinia spinosa* y Eucalipto *Eucalyptus globulus*, agrupadas mediante las propiedades físicas (contenido de humedad, densidad y contracción total) con las variables en verde, seco al aire y seco al horno.

**Tabla 16**

*Propiedades físicas de las especies Caesalpinia spinosa y Eucalyptus globulus*

| Propiedades Físicas      | Variable            | Guarango | Eucalipto |
|--------------------------|---------------------|----------|-----------|
|                          | Probetas            | Promedio | Promedio  |
| Contenido de humedad (%) | Verde               | 41.31    |           |
|                          | Seco al aire        | 39,27    | 117.95    |
|                          | Seco al horno       | 5,27     |           |
|                          | Probetas            | Promedio | Promedio  |
| Densidad ( $g/cm^3$ )    | verde               | 1,07     | 1.2       |
|                          | Seco al aire        | 0,76     | 0.6       |
|                          | Seco al horno       | 0,81     | 0.6       |
|                          | Densidad básica     | 0,77     | 0.53      |
|                          | Valores             | Promedio | Promedio  |
| Contracción total (%)    | Volumétrica         | 5.51     | 20.13     |
|                          | Radial - tangencial | 0.46     | 1.93      |

**Nota:** Comparación de las 2 especies arbóreas (Propiedades físicas)

##### 4.5.1.1 Contenido de Humedad

En nuestro caso después del proceso de secado al horno el contenido de humedad para el guarango fue de 41,28%, al contrario del eucalipto que fue superior con un 117.95%. Como lo menciona Freire, la capacidad de una especie para almacenar humedad está relacionada con su

edad, presentando valores más altos en especies jóvenes a diferencia de las especies maduras (Freire, 2019). El contenido de humedad es la relación entre la cantidad de agua y el peso seco o anhidrido de la madera expresado en %, depende de su estado (verde= menor a 12%; húmeda =13-18%; secado al aire =20-30% y secado en cámaras = 70-150%).

Según la investigación realizada por Bustos (2020), menciona que la especie eucalipto en su momento de apeo supera el 100% de (CH%), por lo que contiene mayor porcentaje de agua que de madera, influyendo directamente en los costes de aprovechamiento y secado debido a la cantidad de agua que se debe desalojar, siendo una variable a considerar debido al contenido de humedad liberado por la madera que es más del 50% y que pudo ser evidenciada durante la investigación.

A su vez el estudio realizado por Baptista & Voulminot (2005), afirman que en especies como el Eucalipto el contenido de humedad fue del 109% con respecto a su estado verde, variando su contenido de humedad dependiendo de la humedad relativa del ambiente el día de apeo, siendo una variable importante que considerar al momento de realizar el proceso de secado de la madera.

Según Solórzano y Suarez (2016) en su estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de diversas especies arbóreas entre ellas el guarango, mencionan que el contenido de humedad está relacionado con su densidad, obteniendo valores más altos de contenido de humedad, las especies livianas a comparación de especies pesadas como el guarango, lo que corrobora los resultados obtenidos en la investigación.

#### 4.5.1.2 Densidad

Una vez realizado el proceso de secado al horno, las especies arbóreas presentaron valores de densidad promedio de  $0.81 \text{ g/cm}^3$  (guarango) y  $0.6 \text{ g/cm}^3$  (eucalipto). Tomando en cuenta dichos valores y con base en la clasificación publicada por Maderas Colombianas, se presentan 3 tipos, pesadas ( $0.76\text{--}1 \text{ g/cm}^3$ ), semipesados ( $0.56\text{--}0.75 \text{ g/cm}^3$ ) y livianas ( $0.35\text{--}0.55 \text{ g/cm}^3$ ). Determinando así que las especies guarango y eucalipto fueron categorizadas en pesadas y medianamente pesadas respectivamente, siendo ideales para uso de pasta celulósica, pisos, estructuras y muebles en general (Mastrandrea & Martinez, 2017).

**Tabla 17**

*Clasificación de la especie arbórea según su densidad*

| Categoría            | Rango ( $\text{kg/cm}^2$ ) | Valor ( $\text{kg/cm}^2$ ) | Especie   |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| Livianas             | 0.35 – 0.55                | -                          | -         |
| Medianamente pesadas | 0.56 – 0.75                | 0.58                       | Eucalipto |
| Pesadas              | 0.76 – 1                   | 0.81                       | Guarango  |

**Nota:**

Comparación de las 2 especies arbóreas por su densidad (Propiedades físicas)

El estudio realizado por Bustos (2020) afirma que la densidad de especies arbóreas ubicadas en la misma plantación presenta variación en su densidad por sección y por árbol,

determinado así que la densidad de la madera depende de factores climáticos y por consiguiente las condiciones ambientales de la planta.

Segun los datos obtenidos y relacionándolos con la investigación de Calvo (2006) quien determinó la densidad de diversas especies de Eucalipto en Argentina, afirma que la especie globulus es la que posee menor densidad en comparación a las demás especies, al rededor de  $0.55 \text{ g/cm}^3$ , lo que demuestra que a pesar de la ubicación geográfica los resultados no varían mucho a los obtenidos en la investigación.

#### 4.5.1.3 Contracción total

Analizando la contracción volumétrica total de las especies arbóreas, el guarango y el eucalipto obtuvieron un valor de 5.51 y 20.13% respectivamente, lo que muestra que ambas especies no se contraen demasiado durante los procesos de secado, lo que corrobora la relación radial-tangencial de las especies, dándonos valores de 0.46 y 1.93% respectivamente, indicando así que no se produce una contracción significativa de la madera por causa del proceso de secado en ambas especies.

**Tabla 18**

*Clasificación de la especie arbórea por su contracción*

| Categoría | Rango   | Valor | Especie   |
|-----------|---------|-------|-----------|
| Baja      | <10     | 5.51  | Guarango  |
| Moderada  | 10 – 15 | -     | -         |
| Alta      | 15 – 25 | 20    | Eucalipto |

**Nota:** Comparación de las 2 especies arbóreas por su contracción (Propiedades físicas)

En cuanto a la contracción volumétrica, se las clasificó en 3 tipos: baja (<10%), moderada (10-15%) y alta (15-25%). Tomando en cuenta los resultados, las especies guarango y eucalipto son consideradas de baja y alta contracción, respectivamente. Considerando la relación de contracciones tangencial/radial se afirma que el guarango es más estable dimensionalmente a diferencia del eucalipto, que presenta una baja estabilidad dimensional, como lo menciona (Cespedes & Gaitán, 2020).

**Tabla 19**

*Clasificación de la especie arbórea según su relación tangencial/radial*

| Relación<br>(tangencial/radial) | Valor | Especie   | Tipo de madera                |
|---------------------------------|-------|-----------|-------------------------------|
| Menos de 1.5                    | 0.46  | Guarango  | Muy estable dimensionalmente  |
| Mas de 1.8                      | 2.11  | Eucalipto | Poco estable dimensionalmente |

**Nota:** Comparación de las 2 especies arbóreas por su contracción (Propiedades físicas)

#### 4.5.2 Resultado de las propiedades mecánicas

En la tabla 38 se visualizan las propiedades mecánicas de las especies arbóreas Guarango *Caesalpinia spinosa* y Eucalipto *Eucalyptus globulus*, agrupadas según sus propiedades mecánicas (compresión perpendicular, paralela, flexión estática y resistencia a la tracción).

**Tabla 20**

*Propiedades mecánicas de las especies Caesalpinia spinosa y Eucalyptus globulus*

| Propiedad Mecánica        | Variable      | Guarango Promedio<br>( $kg/cm^2$ ) | Eucalipto Promedio<br>( $kg/cm^2$ ) |
|---------------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Compresión perpendicular  | Verde         | 74.37                              |                                     |
|                           | Seco al aire  | 72.83                              |                                     |
|                           | Seco al horno | 92.21                              | 48.92                               |
| Compresión paralela       | Verde         | 88.94                              |                                     |
|                           | Seca al aire  | 59.04                              |                                     |
|                           | Seca al horno | 85.48                              | 128                                 |
| Flexión estática radial   | Verde         | 876.97                             |                                     |
|                           | Seco al aire  | 918.18                             |                                     |
|                           | Seco al horno | 963.65                             | 715.01                              |
| Resistencia a la tracción | Verde         | 15.2                               |                                     |
|                           | Seco al aire  | 10.44                              |                                     |
|                           | Seco al horno | 11.46                              | 76.17                               |

**Nota:** Comparación de las 2 especies arbóreas (Propiedades mecánicas)

##### 4.5.2.1 Compresión Perpendicular

Con base en los datos promedios de compresión perpendicular, se realizó la relación esfuerzo/deformación con la finalidad de determinar la carga media y obtener la resistencia al límite proporcional (RLP). La especie eucalipto obtuvo un valor RLP de  $48.92 kg/cm^2$  y el guarango un valor promedio de  $92.21 kg/cm^2$ . Este tipo de esfuerzo es aplicado en pequeñas superficies quienes deben ser capaces de dispersar la carga sin sufrir aplastamiento o deformaciones. Por ello, se determinó que la especie con mayor capacidad de soporte de carga fue el guarango, seguido del eucalipto (Céspedes & Gaitán, 2020)

Según el estudio realizado por Sánchez & Torran (2005) en el que analizaron tres especies de eucalipto, calculo un valor de compresión perpendicular de  $88.72 kg/cm^2$ , los mismos que varían mucho dependiendo a su procedencia y edad, demostrando así que las especies no presentan diferencias significativas entre sí, pero pueden variar con individuos de otra locación.

##### 4.5.2.2 Compresión Paralela

Según los datos obtenidos tras la compresión paralela, se determinó que la especie con mayor resistencia máxima fue el eucalipto con un valor de  $128 kg/cm^2$ , por otro lado, el guarango presento un valor de  $85.48 kg/cm^2$ . La madera posee una resistencia superior a la compresión



paralela debido a que sus fibras están orientadas a su eje longitudinal en esta dirección y que coinciden a su vez a la orientación de las microfibras que conforman la cubierta de la pared celular de la planta (González & Leguizamón , 2012).

La investigación desarrollada por Solórzano y Suarez (2016) afirma que especies con densidades bajas como el guarango y eucalipto no poseen la capacidad de carga adecuada para soportar esfuerzos paralelos a sus fibras, siendo inadecuadas para su uso en estructuras pesadas.

#### 4.5.2.3 Flexión estática

Analizando los datos obtenidos de la flexión estática, la especie del Guarango presentó los valores más alto, con un valor de  $963.65 \text{ kg/cm}^2$  lo que indica mediante el cuadro de la clasificación por flexión estática que esta especie se encuentra dentro del rango moderadamente bajo, por otro lado, la especie eucalipto con un valor de  $715 \text{ kg/cm}^2$  está catalogado con un coeficiente de flexión bajo, determinando que la especie eucalipto posee una gran capacidad de carga pero un coeficiente de flexión estática bajo siendo propensa a la deformación ante la aplicación de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal y viceversa con respecto a la especie del guarango quien posee un coeficiente de flexión estática moderadamente bajo siendo menos propenso a deformaciones ante la aplicación de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal. (Sotomayor, 2014).

Según Crespo y colaboradores (2008), mencionan que la flexión de la madera depende del contenido de humedad (CH) debido a que al poseer un mayor contenido de humedad su flexión estática aumenta, corroborando de esta manera los datos obtenidos durante la investigación.

#### 4.5.2.4 Resistencia a la tracción

Tomando en cuenta los datos promedio de resistencia a la tracción, la especie guarango obtuvo un valor promedio de  $11.46 \text{ kg/cm}^2$  y el eucalipto  $76.17 \text{ kg/cm}^2$  catalogadas ambas con un coeficiente de resistencia a la tracción bajo.

**Tabla 21**

*Clasificación de la especie arbórea según su resistencia a la tracción*

| <b>Categoría</b> | <b>Rango ( <math>\text{kg/cm}^2</math> )</b> | <b>Valor ( <math>\text{kg/cm}^2</math> )</b> | <b>Especie</b>        |
|------------------|--|--|-----------------------|
| Bajo             | 0 – 85                                       | 1.04<br>76.17                                | Guarango<br>Eucalipto |
| Mediado          | 85 – 100                                     | --   | --                    |
| Alto             | Mayor a 100                                  | --   | --                    |

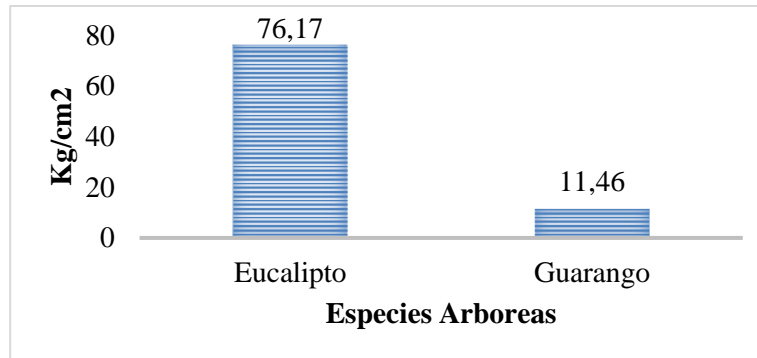
**Nota:** Comparación de las 2 especies arbóreas por su resistencia a la tracción, (Propiedades físicas)gg

Según Solorzano y Suarez (2016) menciona que existe una relación entre los valores de cizallamiento (resistencia a la tracción) y la densidad, teniendo una relación directamente proporcional, es decir, que a medida que la densidad aumenta , el valor de esfuerzo de esta

propiedad aumenta de igual manera, en otras palabras, la densidad influye en el módulo de rigidez de la madera, lo que corrobora los resultados obtenidos en la investigación (Solorzano & Suarez, 2016).

### Gráfico 16

*Resistencia a la tracción*



### Análisis

Tomando en cuenta los datos promedio de resistencia a la tracción, la especie guarango obtuvo un valor promedio de  $11.46 \text{ kg/cm}^2$  y el eucalipto  $76.17 \text{ kg/cm}^2$  catalogadas ambas con un coeficiente de resistencia a la tracción bajo que se justifica por las escasas fibras que tiene la madera en la dirección perpendicular al eje del árbol.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Mediante los objetivos planteados inicialmente en la presente investigación se obtuvo resultados apropiados, por lo tanto:

- El contenido de humedad, densidad y peso específico del Guarango en estado verde, seca al aire y seca al horno, mostro los siguientes resultados: humedad 41.31%; 39.27% y 5.27% respectivamente. Densidad  $1.07 \text{ k/cm}^3$ ,  $0.76 \text{ k/cm}^3$ , considerada como madera pesada, mientras que para su peso específico una densidad básica de 0.77 y densidad seca al horno 0.81 considerada de tipo pesada. Se ha demostrado así que la relación entre la densidad y el contenido de humedad son directamente proporcionales.
- Dentro de las propiedades mecánicas se identifico que la compresión paralela al grano como en la compresión perpendicular al grano del Guarango se encuentran dentro del rango Muy Bajo, mientras que en la Flexión estática del Guarango se localiza en el rango Moderadamente Bajo y en cuanto a la tracción del Guarango se puede decir que esta especie no puede ser expuesta a cargas pesadas o que tengan que ver con la resistencia, en la trabajabilidad el Guarango es medianamente difícil de manejar al momento del aserrado, cepillado y torneado.
- Para la comparación se logró determinar en cuanto a las propiedades físicas que el Eucalipto posee un porcentaje muy elevado (117.95%), Guarango 41.28%. Densidad (Guarango) madera pesada, (eucalipto) medianamente pesadas ideales para pisos, estructuras y muebles en general. Contracción radial y tangencial ambas especies no se contraen demasiado por causas del proceso de secado en ambas especies, mientras que en la contracción volumétrica se consideraron al Guarango una madera mas estable dimensionalmente a diferencia del Eucalipto como baja estabilidad dimensional.
- Dentro de las propiedades mecánicas de las dos especies arbóreas: Guarango y Eucalipto en la compresión paralela el Guarango tiene mayor capacidad de soporte, compresión paralela el Eucalipto tienen mayor resistencia. En cuanto a la Flexión estática el Guarango está dentro del rango moderadamente bajo y el Eucalipto con un coeficiente de flexión bajo. Y por último en la resistencia a la tracción ambas especies tienen un coeficiente de resistencia a la tracción bajo.
- Tomando en cuenta las propiedades del guarango, podemos afirmar que dicha especie puede ser utilizado en la industria de la construcción para la elaboración de postes, vigas, entre otros materiales debido a su flexión estática y resistencia a cargas livianas, así como en la industria textil, alimentaria y farmacéuticas, mismas que utilizan los extractos de taninos obtenidos de la maceración de la cascara de sus vainas y usados en adhesivos, curtido de pieles, clarificación de cerveza, elaboración de plásticos y productos farmacéuticos.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar todas las pruebas mecánicas para obtener resultados más profundos a cerca de esta madera.
- Realizar más estudios de esta especie con el fin de obtener más resultados que sean aptos para algún tipo de comparación con las futuras investigaciones.
- Utilizar un mayor número de muestras o probetas con el fin de obtener un mayor número de datos que ayuden en la obtención de los resultados.
- Según la norma NTE INEN 2580:2011 se recomienda utilizar la madera del Guarango de manera estructural ya que por ser clase de uso “A” considerada como madera pesada o dura se puede utilizar para estructuras como vigas, pilotes, elementos de puentes y columnas, así mismo como madera de recubrimiento en: puertas, ventanas, pasamanos; en tabiquería (tablas, tablones y tabloncillos vistos) en ebanistería para muebles tallados y chapas decorativas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, J., & Guzowski, E. (2011). Materiale y materias primas: Madera. Ministerio de Educación. *Ciencia y Tecnología-Instituto Nacional de Educación Tecnológica*, 13-14.
- Baptista, P., & Voulminot, C. (2005). Propiedades mecánicas de Eucalyptus grandis Maiden del norte de Uruguay. *LATU - Departamento de proyectos forestales*, 40-63.
- Bustos, J. J. (2020). Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de eucalyptus grandis hill ex maiden procedente de la estación experimental la favorita, santo domingo de los tsachilas. *Universidad Tecnica del Norte*.
- Calvo, C. (2006). Variación radial y axial del hinchamiento, del factor anisotrópico y de la densidad, en el eucalyptus grandis de Argentina. *Ciencia y tecnología*.
- Cespedes, J. A., & Gaitán, J. N. (2020). Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las especies de madera de acacia, eucalipto y pino caribe. *Universidad Santo Tomas*.
- Cordoba, R. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. *Kurú: Revista Forestal*.
- Correcha, E., & Granados, G. (1984). Algunas propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la Acacia melanoxylon. *Ingeniería e Investigación*, (8), 34-38.
- Crespo, R., Jimenez, E., Pedro, S., Guillermo, L., & Carlos, S. (2008). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (Tectona grandis L.F.) de Quevedo y Balzar. *UNIRIOJA*.
- Fabara, V. S. (2012). Estudio de factibilidad para la producción de guarango (Caesalpinia spinosa) en el cantón de Guano-Chimborazo-Ecuador. *Universidad San Francisco de Quito*, 54-56.
- Franco, J. E., Cataño, N., & Ortiz, L. M. (2009). Secado natural, manejo y transformación de la madera. *Instituto Amazonico de Investigaciones científicas "SINCHI"*.
- Freire, J. M. (2019). 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. *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*.
- González, J., & Leguizamón, R. (2012). Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de la guadua (angustifolia kunth) en función del contenido de humedad. *Universidad Gran Colombia*.
- Játiva, S. (2011). Determinación del contenido de taninos procedentes del guarango (Caesalpinia spinosa) y evaluación de su uso como fungicida. *Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*.
- Mastrandrea, C., & Martinez, M. (2017). Propiedades de la madera. *Instituto Nacional de tecnología agropecuaria*.

- Morgado, G., Gómez, A., Villanueva, J., Terrazas, T., Ramírez, C., & de la Rosa, P. H. (2019). Densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lind. en dos niveles altitudinales y de exposición. *Agrociencia*, 53(4), 645-660.
- Navas, A. V. (2011). Inventariación y Evaluación de Árboles de Guarango (*Caesalpinia spinosa*) y Determinación de Áreas Potenciales para su Cultivo en Cuatro Comunidades del cantón Guano. *Escuela Superior Politecnica de Chimbozezo*, 6-8.
- Paguay, I. P. (2013). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (*Styloceras* sp), yagual (*Polylepis racemosa*), nogal (*Juglans neotropica*). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de recursos naturales*.
- Perez, N., Valenzuela, L., Diaz, J. E., & Ananias, R. A. (2011). Prediction of equilibrium moisture content in wood in relation to the specific gravity of the cell wall and environmental variables. *Laboratorio Silvotecnológico de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción*, 13(3), 253-266. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
- Refort, M. M., & Keil, G. D. (2012). Importancia y determinación de las propiedades mecánicas de la madera. *Universidad Nacional de la Plata*, 4-5.
- Sanchez Ana, Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2020). *Sector maderero Ecuador*. Obtenido de Cedia: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Sector-maderero-Ecuador-aprobado.pdf>
- Sanchez, M., & Torran, E. (2003). Propiedades físico mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis* de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), Huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Estación Experimental Concordia, Argentina*, 1-10.
- Solorzano, J., & Suarez, S. (2016). Potencialidad de uso de la madera de 15 especies forestales, procedentes de la uof yarí-caguán, departamento de caquetá. *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*.
- Sotomayor, J. (2014). Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de *Picea abies*. *Revista Electrónica Nova Scientia*.
- UNLP. (2003). Introducción a las estructuras de madera. Esfuerzos y sollicitaciones. *Universidad Nacional de la Plata*, 3.
- Viña, F. J. (1997). La madera como materia de expresión plástica estructural y tratamiento en escultura para interior y exterior. *Universidad de La Laguna*.

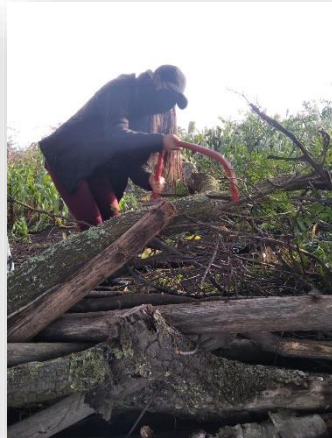
## ANEXOS

### *Anexo 1. Limite de valores para la clasificación de las especies*

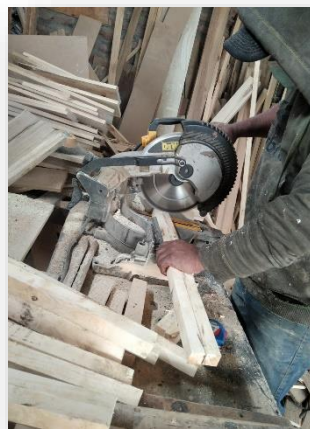
| Propiedad     | Densidad<br>seca al aire<br>verde-seco<br>horno<br>gr/cm <sup>3</sup> | Contracción<br>volumétrica:<br>verde-seco<br>horno<br>% | Relación T/R<br>verde-seco<br>horno | Modulo de<br>ruptura en<br>flexión<br>kg/cm <sup>2</sup> | Resistencia<br>máxima en<br>compresión<br>paralela<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo al<br>l.p en<br>compresión<br>perpendicular<br>kg/cm <sup>2</sup> | Dureza<br>(lados)<br>kg | Cizalla<br>miento<br>kg/cm <sup>2</sup> | Tenacidad<br>kg/m |
|---------------|---|---|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------|---|-------------------|
| Clasificación |   |   |                                     |  |  |  |                         |   |                   |
| Muy Bajo      | 0.35  | 8   | 1.4                                 | 481  | 256  | 21   | 140                     | 47                                      | 0.66              |
| Bajo          | 0.50  | 10  | 1.7                                 | 750  | 750  | 39   | 289                     | 71                                      | 1.09              |
| Mod Bajo      | 0.65  | 12  | 2.0                                 | 1092   | 1092   | 64   | 518                     | 98                                      | 1.58              |
| Mediano       | 0.85  | 15  | 2.3                                 | 1458   | 1458   | 105  | 912                     | 135                                     | 2.32              |
| Mod. Alto     | 1.00  | 17  | 2.6                                 | 1787   | 1787   | 142  | 1285                    | 164                                     | 2.90              |
| Muy Alto      | 1.15  | 19  | 3.0                                 | 2138   | 2138   | 192  | 1725                    | 194                                     | 3.53              |

*Nota:* (Paulina, 2015)

*Anexo 2. Recolección de la materia prima en Santa fe de Galán, Guano – Chimborazo*

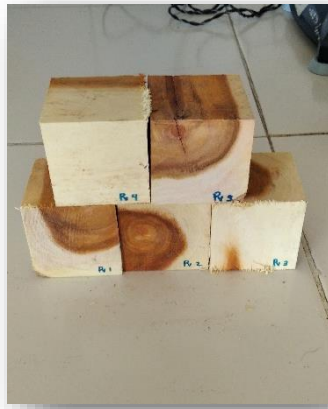


*Anexo 3. Elaboración de las probetas, Riobamba – Chimborazo*





*Anexo 4. Toma de datos para realizar pruebas físicas*



*Anexo 5. Toma de datos antes y después del secado al horno para pruebas físicas y mecánicas*



*Anexo 6. Pruebas de compresión en paralelo y perpendicular al grano*



*Anexo 7. Prueba de flexión*





*Anexo 8. Prueba de tracción*





*Anexo 9. Pruebas físicas*

*Anexo 10. Contenido de humedad*

**Contenido de humedad en verde**

$$Chv = \frac{Pv - Ps}{Ps} * 100$$

$$Ch = \frac{112.3 \text{ g} - 80.5 \text{ g}}{80.5 \text{ g}} * 100$$

$$= 39.50 \%$$

**Contenido de humedad en seco al aire**

$$Chsa = \frac{Pv - Psa}{Psa} * 100$$

$$Chsa = \frac{112.3 \text{ g} - 75.1 \text{ g}}{75.1 \text{ g}} * 100$$

$$= 49.53 \%$$

**Contenido de humedad en seco al horno**

$$Chsh = \frac{Pv - Psh}{Psh} * 100$$

$$Chsh = \frac{112.3 \text{ g} - 79.0 \text{ g}}{79.0 \text{ g}} * 100$$

$$= 12.19 \%$$

*Anexo 11. Contenido de humedad promedio*

- **Verde:** 39.50% + 34.73% + 41.46% + 40.84% + 49.86% = **41.31%**

- **Seco al aire:** 49.53% + 39.32% + 33.83% + 40.13% + 33.54% = **39.27%**
- **Seco al horno:** 12.19% + 4.73% + 4.20% + 4.43% + 0.82% = **5.27%**

*Peso seco al horno calculado*

$$PSHC = \frac{Pv}{CHpro + 100} * 100$$

$$PSHC = \frac{112.3 \text{ g}}{41.31 \% + 100} * 100\%$$

$$= 79.47 \text{ g}$$

*Contenido de humedad en cualquier fecha (22/03/2022)*

$$Chv = \left( \left( \frac{Pv}{PshC} \right) - 1 \right) * 100$$

$$Ch = \left( \left( \frac{112.3 \text{ g}}{79.47 \text{ g}} \right) - 1 \right) * 100$$

$$= 41.31 \%$$

*Anexo 12. Volumen del Guarango*

**Volumen verde**

**Tabla 22**

*Valores de la cara 1 y 2 en estado verde*

| Volumen verde |              |              |              |        |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Cara a1 (cm)  | Cara a2 (cm) | Cara b1 (cm) | Cara b2 (cm) | L (cm) |
| 3.18          | 3.18         | 3.15         | 3.22         | 10.04  |
| 3.27          | 3.22         | 3.24         | 3.23         | 10.03  |
| 3.25          | 3.22         | 3.31         | 3.19         | 9.86   |
| 3.17          | 3.25         | 3.14         | 3.27         | 10.08  |
| 3.27          | 3.16         | 3.31         | 3.20         | 10.12  |

$$S1 = a1x b1$$

$$S1 = 3.18 \text{ cm} x 3.15 \text{ cm}$$

$$S1 = 10.01 \text{ cm}^2$$

$$S2 = a2x b2$$

$$S2 = 3.18 \text{ cm} x 3.22 \text{ cm}$$

$$S2 = 10.23 \text{ cm}^2$$

$$Vv = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$Vv = \frac{10.01 \text{ cm}^2 + 10.23 \text{ cm}^2}{2} \times 10.04 \text{ cm}$$

$$Vv = 101.60 \text{ cm}^3$$

*Anexo 13. Densidad verde*

$$Dv = \frac{112.3 \text{ g}}{104.01 \text{ cm}^3}$$

$$Dv = 1.07 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

**Volumen seco al aire**

**Tabla 23**

*Volumen en estado seco al aire*

| Volumen seca al aire |              |              |              |        |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Cara a1 (cm)         | Cara a2 (cm) | Cara b1 (cm) | Cara b2 (cm) | L (cm) |
| 3.04                 | 2.98         | 2.99         | 3.01         | 10.03  |
| 3.00                 | 3.07         | 2.99         | 3.09         | 10.08  |
| 3.01                 | 3.01         | 2.92         | 2.99         | 10.04  |
| 3.02                 | 2.94         | 2.99         | 2.99         | 9.96   |
| 3.57                 | 3.48         | 3.54         | 3.39         | 10.53  |

$$S1 = a1 \times b1$$

$$S1 = 3.04 \text{ cm} \times 2.99 \text{ cm}$$

$$S1 = 9.08 \text{ cm}^2$$

$$S2 = a2 \times b2$$

$$S2 = 2.98 \text{ cm} \times 3.01 \text{ cm}$$

$$S2 = 8.96 \text{ cm}^2$$

$$VSa = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$VSa = \frac{9.08 \text{ cm}^2 + 8.96 \text{ cm}^2}{2} \times 10.03 \text{ cm}$$

$$VSa = 90.47 \text{ cm}^3$$

*Anexo 14. Densidad seca al aire*

$$DSa = \frac{PSa}{VSa}$$

$$DSa = \frac{75.1 \text{ g}}{97.98 \text{ cm}^3}$$

$$DSa = 0.76 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

### Volumen seco al horno

Tabla 24

*Volumen en estado seco al horno*

| Volumen seca al horno |              |              |              |        |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Cara a1 (cm)          | Cara a2 (cm) | Cara b1 (cm) | Cara b2 (cm) | L (cm) |
| 3.20                  | 3.12         | 3.24         | 3.12         | 10.06  |
| 3.24                  | 3.13         | 3.23         | 3.13         | 10.06  |
| 3.09                  | 3.13         | 3.13         | 3.11         | 10.02  |
| 3.05                  | 3.18         | 3.04         | 3.13         | 10.06  |
| 3.15                  | 3.12         | 3.10         | 3.10         | 10.04  |

$$S1 = a1 \times b1$$

$$S2 = a2 \times b2$$

$$S1 = 3.20 \text{ cm} \times 3.24 \text{ cm}$$

$$S2 = 3.12 \text{ cm} \times 3.12 \text{ cm}$$

$$S1 = 10.36 \text{ cm}^2$$

$$S2 = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$VSa = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$VSh = \frac{10.36 \text{ cm}^2 + 9.73 \text{ cm}^2}{2} \times 10.06 \text{ cm}$$

$$VSh = 101.05 \text{ cm}^3$$

*Anexo 15. Densidad seca al horno*

$$DSh = \frac{PSh}{VSh}$$

$$DSh = \frac{80.5}{98.57}$$

$$DSh = 0.81$$

*Anexo 16. Densidad básica*

$$DSh = \frac{PSh}{VSh}$$



$$Db = \frac{80.5}{104.01}$$

$$Db = 0.77$$

**Transformación de  $g/cm^3$  a  $kg/dcm^3$**

- Densidad en verde

$$1.07 g/cm^3 * 1kg / 1000g * 1000 cm^3 / 1dcm^3 = 1.07 kg/dcm^3$$

- Densidad seca al aire

$$0.76 g/cm^3 * 1kg / 1000g * 1000 cm^3 / 1dcm^3 = 0.76 kg/dcm^3$$

*Anexo 17. Peso específico*

- Densidad básica = **0.77**

Densidad seca al horno = **0.81**

*Anexo 18. Contracciones del Guarango*

*Anexo 19. Contracción longitudinal del Guarango*

| Contracción longitudinal de estado verde a seco al aire   | Contracción longitudinal de estado verde a seco al horno  |
|---|---|
| $B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$ $B = \frac{104.01 cm^3 - 97.98 cm^3}{97.98 cm^3} \times 100cm$ <p style="text-align: center;"><b>B = 6.15 %</b></p> | $B = \frac{V1 - V2}{V2} \times 100$ $B = \frac{104.01 cm^3 - 98.57 cm^3}{98.57 cm^3} \times 100cm$ <p style="text-align: center;"><b>B = 5.51 %</b></p> |

*Anexo 20. Contracción tangencial y radial del Guarango*

**Tabla 25**

*Contracción tangencial y radios del Guarango*

| Volumen en estado verde |              |              |              |        |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Cara a1 (cm)            | Cara a2 (cm) | Cara b1 (cm) | Cara b2 (cm) | L (cm) |
| 3.27                    | 3.12         | 3.11         | 3.17         | 15.09  |
| 3.01                    | 2.99         | 3.12         | 3.21         | 15.03  |
| 3.11                    | 3.16         | 3.24         | 3.17         | 15.05  |
| 3.20                    | 2.99         | 3.01         | 3.15         | 14.97  |
| 3.14                    | 3.32         | 3.15         | 3.14         | 15.12  |

$$S1 = a1 \times b1$$

$$S1 = 3.27 \text{ cm} \times 3.11 \text{ cm}$$

$$S1 = 10.16 \text{ cm}^2$$

$$S2 = a2 \times b2$$

$$S2 = 3.12 \text{ cm} \times 3.17 \text{ cm}$$

$$S2 = 9.89 \text{ cm}^2$$

$$Vv = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$Vv = \frac{10.16 \text{ cm}^2 + 9.89 \text{ cm}^2}{2} \times 15.09 \text{ cm}$$

$$Vv = 151.27 \text{ cm}^3$$

- *Volumen verde promedio:*

$$Vv = 148.21 \text{ cm}^3$$

**Tabla 26**

*Volumen en estado verde promedio*

| Volumen en estado seco al aire |              |              |              |        |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Cara a1 (cm)                   | Cara a2 (cm) | Cara b1 (cm) | Cara b2 (cm) | L (cm) |
| 3.13                           | 3.18         | 3.15         | 3.13         | 15.01  |
| 3.15                           | 3.14         | 3.11         | 3.28         | 15.06  |
| 3.21                           | 3.13         | 3.02         | 3.13         | 15.03  |
| 3.12                           | 3.19         | 2.92         | 3.15         | 15.07  |
| 3.06                           | 3.12         | 3.19         | 3.18         | 14.88  |

$$S1 = a1 \times b1$$

$$S1 = 3.13 \text{ cm} \times 3.15 \text{ cm}$$

$$S1 = 9.85 \text{ cm}^2$$

$$S2 = a2 \times b2$$

$$S2 = 3.18 \text{ cm} \times 3.13 \text{ cm}$$

$$S2 = 9.95 \text{ cm}^2$$

$$VSa = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$VSa = \frac{9.85 \text{ cm}^2 + 9.95 \text{ cm}^2}{2} \times 15.01 \text{ cm}$$

$$VSa = 148.59 \text{ cm}^3$$

- *Volumen seco al aire promedio:*

$$VSa = 147.37 \text{ cm}^3$$

**Tabla 27:***Volumen en estado seco al aire promedio*

| <b>Estado seco al horno</b> |                     |                     |                     |               |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| <b>Cara a1 (cm)</b>         | <b>Cara a2 (cm)</b> | <b>Cara b1 (cm)</b> | <b>Cara b2 (cm)</b> | <b>L (cm)</b> |
| 3.12                        | 3.17                | 3.11                | 3.08                | 15.16         |
| 3.20                        | 3.12                | 3.10                | 3.14                | 15.14         |
| 3.14                        | 3.10                | 3.12                | 3.13                | 15.08         |
| 3.16                        | 3.00                | 3.21                | 3.16                | 15.02         |
| 3.11                        | 3.11                | 3.13                | 3.15                | 15.03         |

$$S1 = a1 \times b1$$

$$S2 = a2 \times b2$$

$$S1 = 3.12 \text{ cm} \times 3.11 \text{ cm}$$

$$S2 = 3.17 \text{ cm} \times 3.08 \text{ cm}$$

$$S1 = 9.70 \text{ cm}^2$$

$$S2 = 9.76 \text{ cm}^2$$

$$VSa = \frac{S1 + S2}{2} \times L$$

$$VSh = \frac{9.70 \text{ cm}^2 + 9.76 \text{ cm}^2}{2} \times 15.16 \text{ cm}$$

$$VSh = 147.50 \text{ cm}^3$$

- *Volumen seco al horno:*

$$VSh = 147.53 \text{ cm}^3$$

*Anexo 21. Pruebas mecánicas**Anexo 22. Resistencia a la compresión**Compresión paralela al grano en estado verde***Tabla 28***Compresión paralela al grano en estado verde*

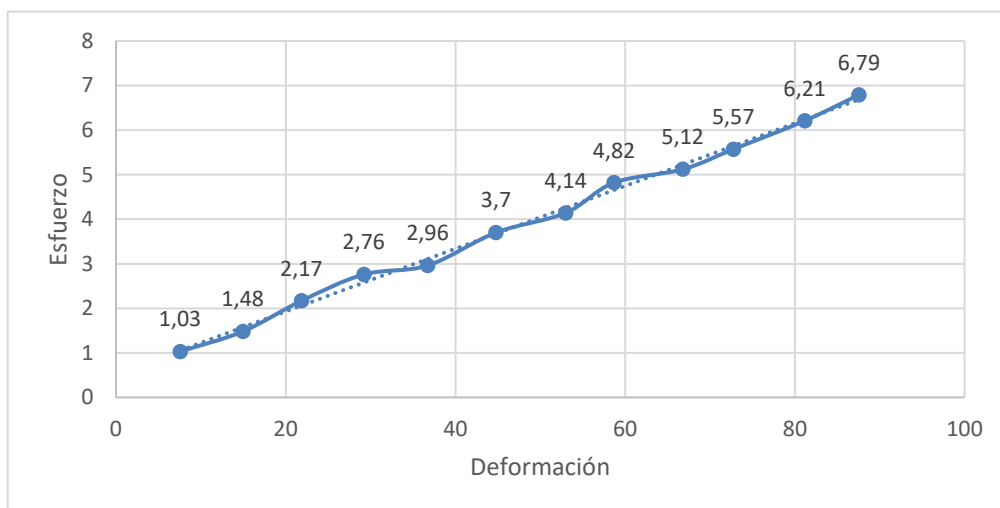
| <b>Carga (kg)</b> | <b>Carga recorrida (kg)</b> | <b>Área (cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Deformación lineal (<math>\Delta L</math>) mm <math>10^{-2}</math></b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Deformación (e) mm/mm <math>10^{-3}</math></b> |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|---|----------------------|-------------------------------------|---|
| 200               | 208.4                       | 27.56                        | 21.02   | 203                  | 7.56                                | 1.03  |
| 400               | 412.1                       | 27.56                        | 30.03   | 203                  | 14.95                               | 1.48  |
| 600               | 602.9                       | 27.56                        | 44.07   | 203                  | 21.87                               | 2.17  |
| 800               | 805.1                       | 27.56                        | 56.00   | 203                  | 29.21                               | 2.76  |
| 1000              | 1012                        | 27.56                        | 60.01   | 203                  | 36.72                               | 2.96  |
| 1200              | 1234.3                      | 27.56                        | 75.05   | 203                  | 44.78                               | 3.70  |
| 1400              | 1460.1                      | 27.56                        | 84.08   | 203                  | 52.98                               | 4.14  |

|      |        |       |        |     |       |      |
|------|--------|-------|--------|-----|-------|------|
| 1600 | 1617.4 | 27.56 | 98.00  | 203 | 58.69 | 4.82 |
| 1800 | 1840.8 | 27.56 | 104.00 | 203 | 66.79 | 5.12 |
| 2000 | 2005   | 27.56 | 113.01 | 203 | 72.75 | 5.57 |
| 2200 | 2237.2 | 27.56 | 126.06 | 203 | 81.17 | 6.21 |
| 2400 | 2412.9 | 27.56 | 137.90 | 203 | 87.55 | 6.79 |

- Área =  $5.3 \times 5.2 = 27.56 \text{ cm}^2$
- Longitud = 203 mm

**Figura 17**

*Carga paralela al grano en estado verde*



*Compresión paralela al grano en estado seco al aire*

**Tabla 29**

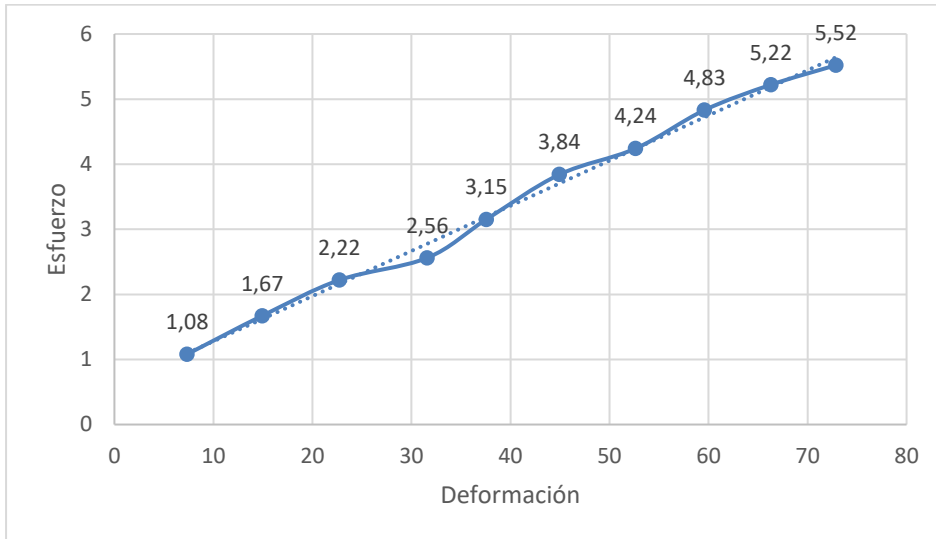
*Compresión paralela al grano en estado seco al aire*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área ( $\text{cm}^2$ ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) $\text{mm } 10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | Deformación (e) $\text{mm}/\text{mm } 10^{-3}$ |
|------------|----------------------|------------------------|--|---------------|--------------------------------------|--|
| 200        | 202.2                | 27.56                  | 22.03  | 203           | 7.34                                 | 1.08   |
| 400        | 411.1                | 27.56                  | 34.06  | 203           | 14.92                                | 1.67   |
| 600        | 626.3                | 27.56                  | 45.07  | 203           | 22.72                                | 2.22   |
| 800        | 870.4                | 27.56                  | 52.02  | 203           | 31.58                                | 2.56   |
| 1000       | 1035                 | 27.56                  | 64.01  | 203           | 37.55                                | 3.15   |
| 1200       | 1238.1               | 27.56                  | 78.00  | 203           | 44.92                                | 3.84   |
| 1400       | 1450.2               | 27.56                  | 86.08  | 203           | 52.62                                | 4.24   |
| 1600       | 1642.0               | 27.56                  | 98.00  | 203           | 59.58                                | 4.83   |
| 1800       | 1826.9               | 27.56                  | 106.00   | 203           | 66.29                                | 5.22   |
| 2000       | 2008                 | 27.56                  | 112.10   | 203           | 72.85                                | 5.52   |

- Área =  $5.2 \times 5.3 = 27.56 \text{ cm}^2$
- Longitud = 203 mm

**Figura 18**

*Carga paralela al grano en estado seco al aire*



**Compresión paralela al grano en estado seco al horno**

**Tabla 30**

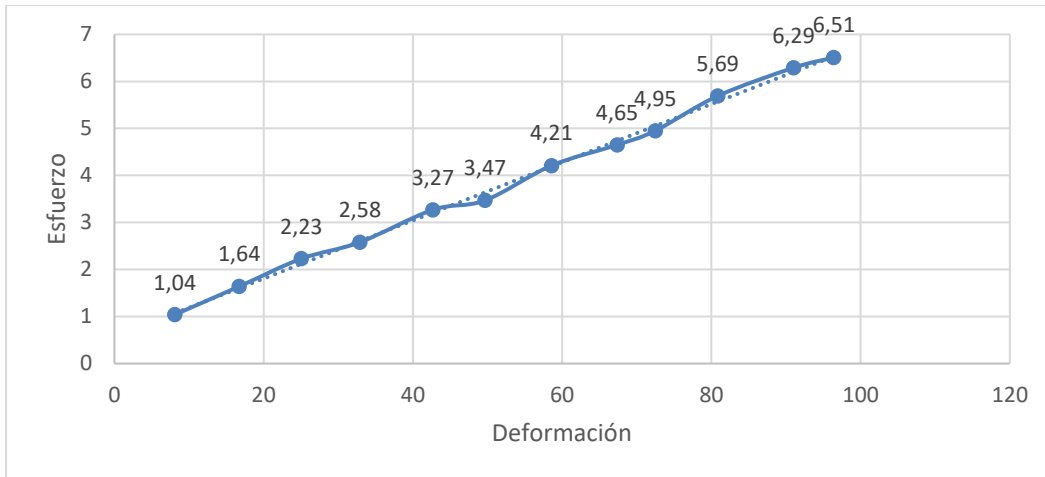
*Compresión paralela al grano en estado seco al horno*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm 10 <sup>-2</sup> | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm 10 <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------|-------------------------|---|---------------|--------------------------------|--|
| 200        | 202.4                | 25                      | 21.02   | 202           | 8.10                           | 1.04                                   |
| 400        | 418.0                | 25                      | 33.05   | 202           | 16.72                          | 1.64                                   |
| 600        | 626.3                | 25                      | 45.07   | 202           | 25.05                          | 2.23                                   |
| 800        | 822.1                | 25                      | 52.07   | 202           | 32.89                          | 2.58                                   |
| 1000       | 1067                 | 25                      | 66.00   | 202           | 42.68                          | 3.27                                   |
| 1200       | 1241.4               | 25                      | 70.02   | 202           | 49.66                          | 3.47                                   |
| 1400       | 1464.3               | 25                      | 85.04   | 202           | 58.57                          | 4.21                                   |
| 1600       | 1684.1               | 25                      | 94.01   | 202           | 67.36                          | 4.65                                   |
| 1800       | 1812.0               | 25                      | 100.08  | 202           | 72.48                          | 4.95                                   |
| 2000       | 2021                 | 25                      | 115.04  | 202           | 80.84                          | 5.69                                   |
| 2200       | 2275.3               | 25                      | 127.00  | 202           | 91.01                          | 6.29                                   |
| 2400       | 2410                 | 25                      | 131.60  | 202           | 96.4                           | 6.51                                   |

- Área =  $5.0 \times 5.0 = 25 \text{ cm}^2$
- Longitud = 202 mm

**Figura 19**

*Carga paralela al grano en estado seco al horno*



**Compresión perpendicular al grano**

*Compresión perpendicular al grano en estado verde*

**Tabla 31**

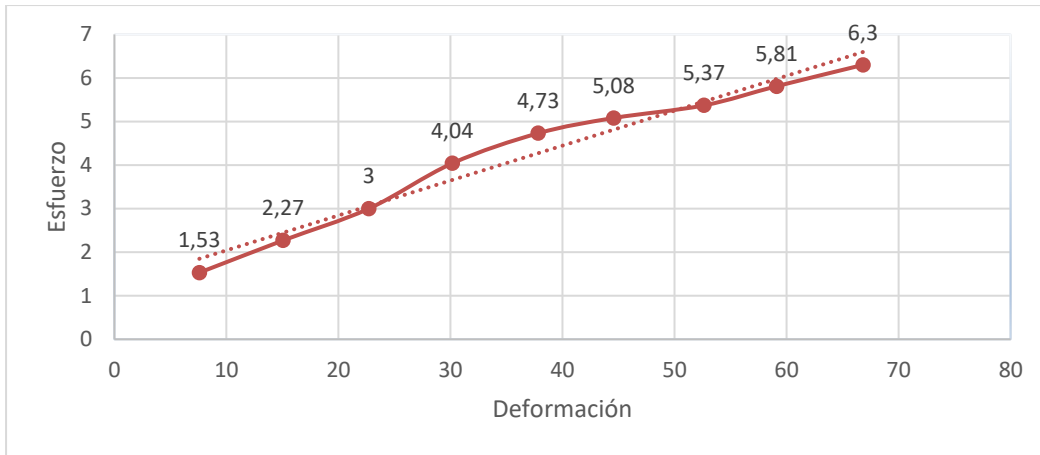
*Compresión perpendicular al grano en estado verde*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 208.8                | 27.56                   | 31.07  | 203           | 7.58                           | 1.53                            |
| 400        | 415.1                | 27.56                   | 46.01  | 203           | 15.06                          | 2.27                            |
| 600        | 625.8                | 27.56                   | 61.00  | 203           | 22.71                          | 3.00                            |
| 800        | 831.1                | 27.56                   | 82.05  | 203           | 30.16                          | 4.04                            |
| 1000       | 1043                 | 27.56                   | 96.04  | 203           | 37.84                          | 4.73                            |
| 1200       | 1228.2               | 27.56                   | 103.08   | 203           | 44.56                          | 5.08                            |
| 1400       | 1450.3               | 27.56                   | 109.02   | 203           | 52.62                          | 5.37                            |
| 1600       | 1629.1               | 27.56                   | 118.00   | 203           | 59.11                          | 5.81                            |
| 1800       | 1841.9               | 27.56                   | 126.20   | 203           | 66.83                          | 6.30                            |

- Área = 5.3 x 5.2 = 27.56 cm<sup>2</sup>
- Longitud = 203 mm

**Figura 20**

*Carga perpendicular al grano en estado verde*



**Compresión perpendicular al grano en estado seco al aire**

**Tabla 32**

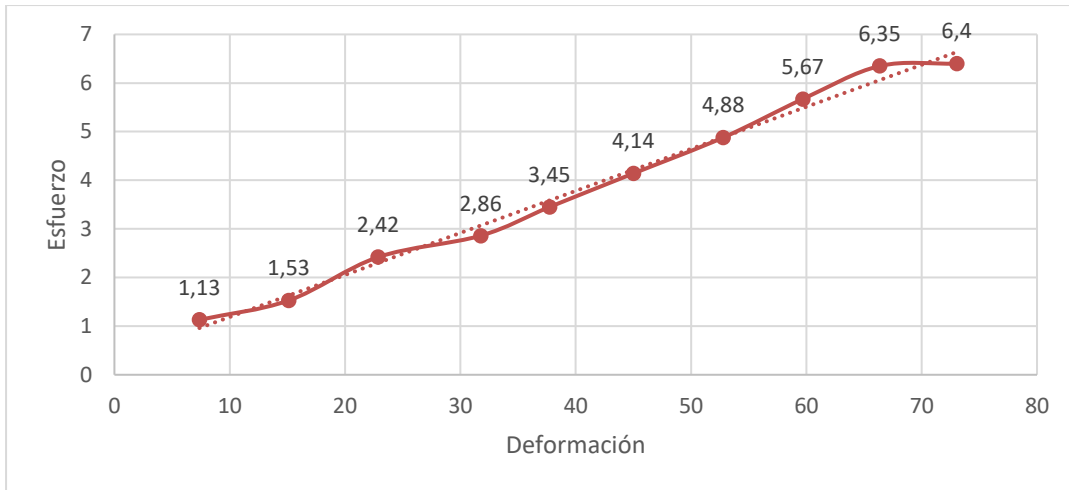
Compresión perpendicular al grano en estado seco al aire

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (E) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 203.2                | 27.56                   | 23.06  | 203           | 7.37                           | 1.13                            |
| 400        | 417.1                | 27.56                   | 31.00  | 203           | 15.13                          | 1.53                            |
| 600        | 630.3                | 27.56                   | 49.05  | 203           | 22.87                          | 2.42                            |
| 800        | 875.4                | 27.56                   | 58.02  | 203           | 31.76                          | 2.86                            |
| 1000       | 1040                 | 27.56                   | 70.01  | 203           | 37.73                          | 3.45                            |
| 1200       | 1240.1               | 27.56                   | 84.07  | 203           | 45.00                          | 4.14                            |
| 1400       | 1455.2               | 27.56                   | 99.03  | 203           | 52.80                          | 4.88                            |
| 1600       | 1645.0               | 27.56                   | 115.08   | 203           | 59.69                          | 5.67                            |
| 1800       | 1828.9               | 27.56                   | 129.02   | 203           | 66.36                          | 6.35                            |
| 2000       | 2013                 | 27.56                   | 130.00   | 203           | 73.04                          | 6.40                            |

- Área = 5.2 x 5.3 = 27.56 cm<sup>2</sup>
- Longitud = 203 mm

**Figura 21**

Carga perpendicular al grano en estado seco al aire



**Compresión perpendicular al grano en estado seco al horno**

**Tabla 33**

*Compresión perpendicular al grano en estado seco al horno*

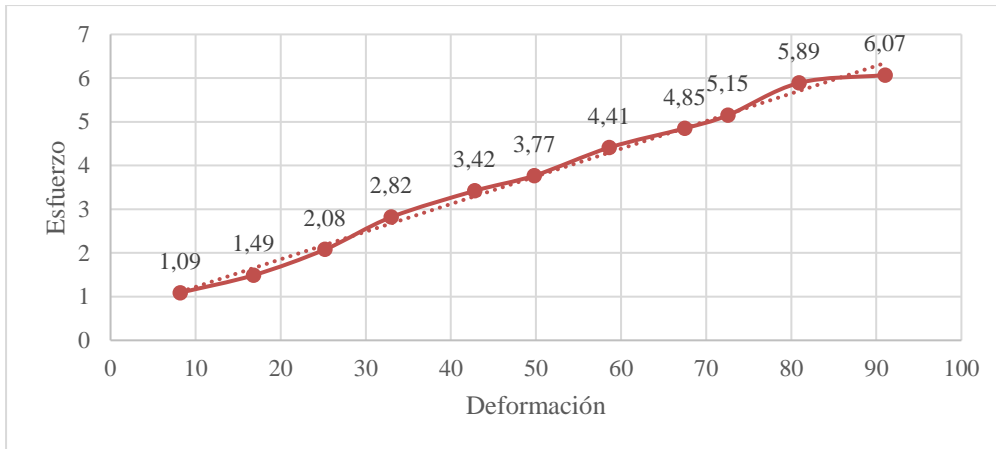
| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (e) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 200        | 204.4                | 25                      | 22.09  | 202           | 8.18                           | 1.09                            |
| 400        | 420.0                | 25                      | 30.05  | 202           | 16.8                           | 1.49                            |
| 600        | 630.3                | 25                      | 42.01  | 202           | 25.21                          | 2.08                            |
| 800        | 825.1                | 25                      | 57.00  | 202           | 33.00                          | 2.82                            |
| 1000       | 1070                 | 25                      | 69.02  | 202           | 42.8                           | 3.42                            |
| 1200       | 1245.4               | 25                      | 76.08  | 202           | 49.82                          | 3.77                            |
| 1400       | 1465.3               | 25                      | 89.06  | 202           | 58.61                          | 4.41                            |
| 1600       | 1687.1               | 25                      | 98.07  | 202           | 67.48                          | 4.85                            |
| 1800       | 1814.0               | 25                      | 104.04   | 202           | 72.56                          | 5.15                            |
| 2000       | 2023                 | 25                      | 119.00   | 202           | 80.92                          | 5.89                            |
| 2200       | 2276.3               | 25                      | 122.60   | 202           | 91.05                          | 6.07                            |

- Área = 5.0 x 5.0 = 25 cm<sup>2</sup>
- Longitud = 202 mm

**Figura 22**

*Carga perpendicular al grano en estado seco al horno*





### Anexo 23. Flexión estática

#### Flexión estática en estado verde

Tabla 34

*Flexión Estática en estado verde*

| Parámetros (verde) | Datos   |
|--------------------|---------|
| Carga (P)          | 350 kg  |
| Luz                | 30 cm   |
| Espesor (b)        | 2.57 cm |
| Ancho (a)          | 2.54 cm |

- **Momento máximo flector**

$$Mf = \frac{P \times L}{4}$$

$$Mf = \frac{350 \text{ kg} \times 30 \text{ cm}}{4} = 2625 \text{ kg cm}$$

- **Momento de inercia**

$$I = \frac{a^2 \times b^2}{12}$$

$$I = \frac{(2.54 \text{ cm})^2 \times (2.57 \text{ cm})^2}{12}$$

$$I = \frac{6.45 \text{ cm}^2 \times 6.60 \text{ cm}^2}{12} = 3.54 \text{ cm}^4$$

- **Eje de simetría**

$$C = \frac{b}{2}$$

$$C = \frac{2.57}{2} = 1.28 \text{ cm}$$

- **Esfuerzo flector**

$$Gf = \frac{Mf \times c}{I}$$

$$Gf = \frac{2625 \text{ kg cm} \times 1.28 \text{ cm}}{3.54 \text{ cm}^4} = 949.15 \text{ kg/cm}^2$$

*Promedio de la flexión estática estado verde*

$$876.97 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Moderadamente bajo en estado verde

**Flexión estática estado seco al aire**

**Tabla 35**

*Flexión Estática en estado seco al aire*

| <b>Parámetros (seco al aire)</b> | <b>Datos</b> |
|----------------------------------|--------------|
| Carga (P)                        | 340 kg       |
| Luz                              | 30 cm        |
| Espesor (b)                      | 2.43 cm      |
| Ancho (a)                        | 2.54 cm      |

- **Momento máximo flector**

$$Mf = \frac{P \times L}{4}$$

$$Mf = \frac{340 \text{ kg} \times 30 \text{ cm}}{4} = 2550 \text{ kg cm}$$

- **Momento de inercia**

$$I = \frac{a^2 \times b^2}{12}$$

$$I = \frac{(2.54\text{cm})^2 \times (2.43\text{cm})^2}{12}$$

$$I = \frac{6.45 \text{ cm}^2 \times 5.90 \text{ cm}^2}{12} = 3.17 \text{ cm}^4$$

- **Eje de simetría**

$$C = \frac{b}{2}$$

$$C = \frac{2.43}{2} = 1.21 \text{ cm}$$

- **Esfuerzo flector**

$$Gf = \frac{Mf \times c}{I}$$

$$Gf = \frac{2550 \text{ kg cm} \times 1.21 \text{ cm}}{3.17 \text{ cm}^4} = 973.34 \text{ kg/cm}^2$$

*Promedio de la flexión estática estado seco al aire*

$$918.18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Moderadamente bajo

### **Flexión estática estado seco al horno**

**Tabla 36**

*Flexión Estática en estado seco al horno*

| <b>Parámetros (seco al horno)</b> | <b>Datos</b> |
|-----------------------------------|--------------|
| Carga (P)                         | 260 kg       |
| Luz                               | 30 cm        |
| Espesor (b)                       | 2.45 cm      |
| Ancho (a)                         | 2.53 cm      |

- **Momento máximo flector**

$$Mf = \frac{P \times L}{4}$$

$$Mf = \frac{260 \text{ kg} \times 30 \text{ cm}}{4} = 1950 \text{ kg cm}$$

- **Momento de inercia**

$$I = \frac{a^2 \times b^2}{12}$$

$$I = \frac{(2.53 \text{ cm})^2 \times (2.45 \text{ cm})^2}{12}$$

$$I = \frac{6.40 \text{ cm}^2 \times 6.00 \text{ cm}^2}{12} = 3.2 \text{ cm}^4$$

- **Eje de simetría**

$$C = \frac{b}{2}$$

$$C = \frac{2.45}{2} = 1.22 \text{ cm}$$

- **Esfuerzo flector**

$$Gf = \frac{Mf \times c}{I}$$

$$Gf = \frac{1950 \text{ kg cm} \times 1.22 \text{ cm}}{3.2 \text{ cm}^4} = 743.44 \text{ kg/cm}^2$$

*Promedio de la flexión estática estado seco al horno*

$$963.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Moderadamente bajo

#### *Anexo 24. Resistencia a la tracción*

#### **Tracción en estado verde**

**Tabla 37**

*Tracción en estado verde*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (E) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 20         | 26.42                | 25.75                   | 22.71  | 349           | 1.03                           | 0.06                            |
| 40         | 45.78                | 25.75                   | 45.42  | 349           | 1.80                           | 0.13                            |
| 60         | 64.12                | 25.75                   | 72.56  | 349           | 2.52                           | 0.20                            |
| 80         | 80.05                | 25.75                   | 100.51   | 349           | 3.14                           | 0.28                            |
| 100        | 113.82               | 25.75                   | 134.32   | 349           | 4.47                           | 0.38                            |
| 120        | 127.49               | 25.75                   | 158.12   | 349           | 5.00                           | 0.45                            |
| 140        | 145.02               | 25.75                   | 220.23   | 349           | 5.70                           | 0.63                            |
| 160        | 163.41               | 25.75                   | 276.30   | 349           | 6.42                           | 0.79                            |
| 180        | 186.03               | 25.75                   | 321.12   | 349           | 7.31                           | 0.92                            |
| 200        | 209.50               | 25.75                   | 410.16   | 349           | 8.13                           | 1.17                            |
| 220        | 225.04               | 25.75                   | 451.26   | 349           | 8.74                           | 1.29                            |
| 240        | 243.02               | 25.75                   | 497.04   | 349           | 9.44                           | 1.42                            |
| 260        | 265.29               | 25.75                   | 504.09   | 349           | 10.30                          | 1.44                            |
| 280        | 271.85               | 25.75                   | 518.23   | 349           | 10.68                          | 1.48                            |

- **Esfuerzo**

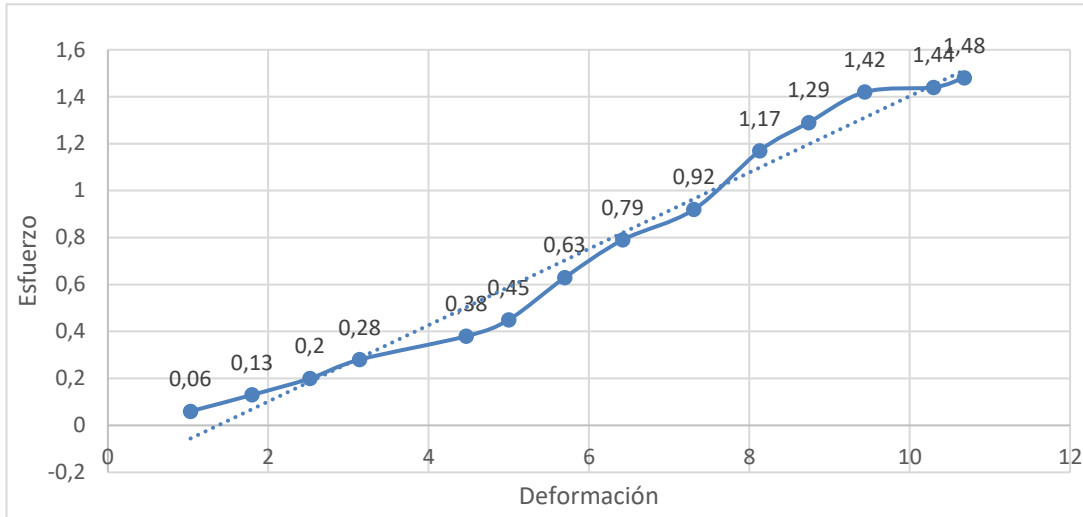
$$\theta = \frac{26.42 \text{ kg}}{25.45 \text{ cm}^2} = 1.04 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.71 \text{ mm}}{349 \text{ mm}} = 0.06 \times 10^{-3}$$

**Figura 23**

*Resistencia a la tracción en estado verde*



**Tracción en estado seco al aire**

**Tabla 38**

*Tracción en estado seco al aire*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (E) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 20         | 25.04                | 25.75                   | 22.34  | 348           | 0.97                           | 0.06                            |
| 40         | 46.21                | 25.75                   | 53.09  | 348           | 1.79                           | 0.15                            |
| 60         | 67.12                | 25.75                   | 83.12  | 348           | 2.61                           | 0.24                            |
| 80         | 83.34                | 25.75                   | 122.10   | 348           | 3.24                           | 0.35                            |
| 100        | 109.06               | 25.75                   | 203.45   | 348           | 4.23                           | 0.58                            |
| 120        | 124.83               | 25.75                   | 294.20   | 348           | 4.85                           | 0.84                            |
| 140        | 148.03               | 25.75                   | 373.23   | 348           | 5.75                           | 1.07                            |
| 160        | 156.65               | 25.75                   | 456.98   | 348           | 6.08                           | 1.31                            |

➤ **Esfuerzo**

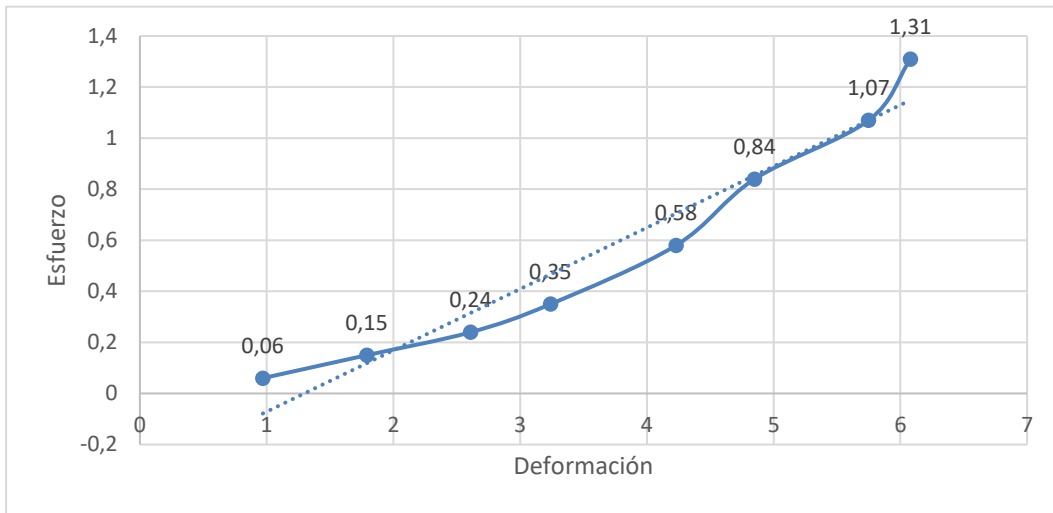
$$\theta = \frac{25.04 \text{ kg}}{25.75 \text{ cm}^2} = 0.97 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{22.34 \text{ mm}}{348 \text{ mm}} = 0.06 \times 10^{-3}$$

**Figura 24**

*Resistencia a la tracción en estado seco al aire*



**Tracción en estado seco al horno**

**Tabla 39**

*Tracción en estado seco al horno*

| Carga (kg) | Carga recorrida (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Deformación lineal ( $\Delta L$ ) mm $10^{-2}$ | Longitud (mm) | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Deformación (E) mm/mm $10^{-3}$ |
|------------|----------------------|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 20         | 25.03                | 24.91                   | 20.32  | 350           | 1.00                           | 0.06                            |
| 40         | 43.12                | 24.91                   | 47.15  | 350           | 1.73                           | 0.13                            |
| 60         | 64.33                | 24.91                   | 84.20  | 350           | 2.58                           | 0.24                            |
| 80         | 83.09                | 24.91                   | 109.45   | 350           | 3.34                           | 0.31                            |
| 100        | 109.30               | 24.91                   | 173.09   | 350           | 4.39                           | 0.49                            |
| 120        | 128.17               | 24.91                   | 233.50   | 350           | 5.14                           | 0.68                            |
| 140        | 142.05               | 24.91                   | 295.05   | 350           | 5.70                           | 0.84                            |
| 160        | 165.21               | 24.91                   | 374.38   | 350           | 6.63                           | 1.07                            |
| 180        | 184.63               | 24.91                   | 439.03   | 350           | 7.41                           | 1.25                            |
| 200        | 210.21               | 24.91                   | 502.82   | 350           | 8.44                           | 1.44                            |
| 220        | 224.90               | 24.91                   | 588.67   | 350           | 9.03                           | 1.68                            |

➤ **Esfuerzo**

$$\theta = \frac{25.03 \text{ kg}}{24.91 \text{ cm}^2} = 1.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Deformación**

$$\varepsilon = \frac{20.32 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.06 \times 10^{-3}$$

**Figura 25**

*Resistencia a la tracción en estado seco al horno*

