

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

### **Análisis de las propiedades mecánicas de rollos amarrados de totora (Schoenoplectus californicus) para su uso en la construcción**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Arquitecto


#### **Autores:**

Juan José Granda Salamea

Daniel Emilio Vintimilla Alvarado

#### **Director:**

Juan Fernando Hidalgo Cordero

ORCID:  0000-0002-2334-9569

Cuenca, Ecuador

2024-03-26

## Resumen

La totora, también conocida como *Schoenoplectus californicus*, es una fibra natural con una amplia gama de usos tradicionales, entre los cuales se incluyen: alimentación, medicina, agricultura, medio ambiente, artesanía, arquitectura y transporte. Esta planta acuática crece principalmente en lagos y humedales cercanos a comunidades del Ecuador, convirtiéndola en un material biodegradable y de uso local que podría utilizarse en la construcción, aprovechando también, la habilidad que tienen estas comunidades con el manejo de la totora.

La falta de normas técnicas específicas para el tratamiento y manipulación de la totora ha limitado sus aplicaciones en el ámbito constructivo. Por lo tanto, este estudio se centra en el análisis de las propiedades mecánicas de rollos amarrados de totora, empleando materiales con un requerimiento mínimo de recursos tecnológicos como bridas plásticas y piola, para su posterior análisis estadístico de las variables que presentan mayor incidencia en los esfuerzos obtenidos de los ensayos a compresión y flexión, con el fin de obtener información más detallada. Además, este documento servirá como guía para futuros trabajos de investigación, donde se consideren otras variables para la obtención de mejores resultados y contribuir su aplicación en elementos constructivos innovadores.

*Palabras clave:* construcción tradicional, edificaciones innovadoras, *arquitectura sustentable*.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Abstract

Totora, also known as *Schoenoplectus californicus*, is a natural fiber with a wide range of traditional uses, including food, medicine, agriculture, environment, craftsmanship, architecture, and transportation. This aquatic plant primarily grows in lakes and wetlands near communities in Ecuador, making it a biodegradable and locally sourced material that could be used in the construction industry. Additionally, it takes advantage of the communities expertise in handling totora.

The lack of specific technical standards for the treatment and handling of totora has limited its applications in the construction industry. Therefore, this study focuses on the analysis of the mechanical properties of tied totora rolls, using materials with minimal technological resource requirements such as plastic ties and springs. Afterward, a statistical analysis of the variables with the greatest impact on the compression and flexural test results is conducted to obtain more detailed information. Furthermore, this document will serve as a guide for future research projects, considering other variables to achieve better results and contribute to its application in innovative construction elements.

*Key words:* traditional construction, innovative materials, *sustainable architecture*.



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de Contenidos

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción.....  | 7  |
| 1.1. Antecedentes.....  | 7  |
| 1.2. Problema y Justificación.....  | 8  |
| 2. Objetivos.....   | 9  |
| 2.1. Objetivo General.....  | 9  |
| 2.2. Objetivos Específicos.....   | 9  |
| 3. Marco Teórico.....   | 10 |
| 4. Metodología.....   | 16 |
| 4.1. Proceso constructivo de rollos amarrados de totora con bridas plásticas..... | 17 |
| 4.2. Proceso constructivo de rollos amarrados de totora con piola.....            | 22 |
| 5. Resultados.....  | 27 |
| 5.1. Ensayo de compresión.....  | 29 |
| 5.2. Ensayo de flexión.....   | 29 |
| 5.3. Resultado de ensayos de compresión de prototipos con brida.....              | 30 |
| 5.4. Resultado de ensayos de flexión de prototipos con brida.....                 | 33 |
| 5.5. Resultado de ensayos de compresión de prototipos con piola.....              | 37 |
| 5.6. Resultado de ensayos de flexión de prototipos con piola.....                 | 40 |
| 5.7. Análisis estadístico de variables en prototipos.....                         | 43 |
| 6. Conclusiones.....  | 47 |
| Referencias.....  | 50 |
| Anexos.....   | 53 |

## Índice de Figuras

|  |    |  |    |
|--|----|--|----|
| Figura 01. Totora en estado natural.....                                 | 11 | Figura 23. Mecanismo para fabricación de rollo amarrado con piola..... | 22 |
| Figura 02. Rizoma.....   | 12 | Figura 24. Esquema sujeción de rollos.....                             | 22 |
| Figura 03. Tallo.....  | 12 | Figura 25. Esquema de fabricación de mecanismo de enrollado.....       | 23 |
| Figura 04. Hojas.....  | 12 | Figura 26. Esquema de probeta final de rollo amarrado con piola.....   | 23 |
| Figura 05. Flores.....   | 12 | Figura 27. Colocación de fibras y ubicación de bridas de apoyo.....    | 23 |
| Figura 06. Detalle de cubierta de totora.....                            | 13 | Figura 28. Unión de placas.....  | 24 |
| Figura 07. Situación geográfica de la totora en el Ecuador.....          | 13 | Figura 29. Sujeción de piola de amarre.....                            | 24 |
| Figura 08. Herramientas utilizadas en la cosecha de totora.....          | 14 | Figura 30. Colocación de peso de 15 Kg.....                            | 24 |
| Figura 09. Cosecha realizada en el Lago San Pablo.....                   | 14 | Figura 31. Proceso de enrollado.....                                   | 24 |
| Figura 10. Secado de totora en la orilla de los lagos.....               | 15 | Figura 32. Probeta final - piola.....                                  | 24 |
| Figura 11. Visita técnica en la comunidad de San Rafael de la Laguna.... | 15 | Figura 33. Máquina Shimadzu modelos concreto 2000X.....                | 28 |
| Figura 12. Esquema de proceso de fabricación.....                        | 17 | Figura 34. Ensayo a compresión.....                                    | 28 |
| Figura 13. Selección de totora.....                                      | 18 | Figura 35. Ensayo a flexión.....                                       | 28 |
| Figura 14. Corte de extremos.....  | 18 | Figura 36. Ensayo a compresión de prototipo C 1.1.3.....               | 36 |
| Figura 15. Volteado de mitad de fibras.....                              | 18 | Figura 37. Ensayo a flexión de prototipo F 2.1.5.....                  | 36 |
| Figura 16. Bridas y herramientas a usar.....                             | 18 | Figura 38. Ensayo a compresión de prototipo C 4.1.1.....               | 42 |
| Figura 17. Separación de bridas.....                                     | 19 | Figura 39. Ensayo a flexión de prototipo F 5.1.5.....                  | 42 |
| Figura 18. Fabricación de prensa.....                                    | 19 | Figura 40. Matriz de correlación de variables - compresión bridas..... | 43 |
| Figura 19. Aplicación de fuerza.....                                     | 19 | Figura 41. Matriz de correlación de variables - flexión bridas.....    | 44 |
| Figura 20. Lijado de superficies finales.....                            | 19 | Figura 42. Matriz de correlación de variables - compresión piola.....  | 45 |
| Figura 21. Probetas finales para ensayos a compresión.....               | 19 | Figura 43. Matriz de correlación de variables - flexión piola.....     | 46 |
| Figura 22. Piola cableada N°72.....                                      | 22 | Figura 44. Ejemplificación de columna de madera y totora.....          | 48 |
|  |    | Figura 45. Casa Mudhif, sur de Irak.....                               | 49 |

## Índice de Tablas

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 01. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C1..... | 30 |
| Tabla 02. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C2..... | 31 |
| Tabla 03. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C3..... | 32 |
| Tabla 04. | Resultados de ensayos de flexión prototipo F1.....    | 33 |
| Tabla 05. | Resultados de ensayos de flexión prototipo F2.....    | 34 |
| Tabla 06. | Resultados de ensayos de flexión prototipo F3.....    | 35 |
| Tabla 07. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C4..... | 37 |
| Tabla 08. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C5..... | 38 |
| Tabla 09. | Resultados de ensayos de compresión prototipo C6..... | 39 |
| Tabla 10. | Resultados de ensayos de flexión prototipo F5.....    | 40 |
| Tabla 11. | Resultados de ensayos de flexión prototipo F6.....    | 41 |
| Tabla 12. | Análisis de regresión lineal - compresión bridas..... | 43 |
| Tabla 13. | Análisis de regresión lineal - flexión bridas.....    | 44 |
| Tabla 14. | Análisis de regresión lineal - compresión piola.....  | 45 |
| Tabla 15. | Análisis de regresión lineal - flexión piola.....     | 46 |

## Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de alguna manera al desarrollo y culminación de este trabajo de titulación. En primer lugar, agradecemos al director de tesis, Juan Fernando Hidalgo, por su orientación experta y valiosas sugerencias a lo largo de todo el proceso. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

También extendemos nuestro agradecimiento a los siguientes docentes:

Arq. Armando Atancuri

Arq. Juan Uyaguari

Ing. Daniel Vélez

Agradecemos a todas las personas que estuvieron involucradas de una u otra manera en este proyecto. Finalmente, expresamos nuestra gratitud a la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca por brindarnos los recursos, la infraestructura y el ambiente propicio para llevar a cabo esta investigación.

## Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Bolívar Granda y Anita Salamea cuyo apoyo inquebrantable y amor incondicional me han guiado en cada paso de mi camino académico. A mi hermana Camila, por su constante aliento y comprensión durante este arduo proceso. A Ludi, por su compañía y ánimo en los momentos difíciles. A mis profesores, cuya sabiduría y guía han sido fundamentales en mi formación académica. Este logro es el resultado de sus contribuciones y confianza en mí. Gracias por creer en mis sueños y por ser parte de este viaje.

Juan José Granda

A mis padres, Carlos Vintimilla y Wendy Alvarado, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios invaluable que hicieron posible mi educación. A mis profesores, por su orientación, conocimiento y guía a lo largo de este camino académico. A mis hermanos, amigos y seres queridos, por su ánimo, comprensión y aliento en los momentos difíciles. Este trabajo está dedicado a todos ustedes, quienes han sido mi fuente de inspiración y motivación para alcanzar este logro. ¡Gracias!

Daniel Vintimilla

## 1. Introducción

En Ecuador, se observa una falta de control ambiental en el ámbito de la construcción. A pesar de la existencia del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, así como normas ambientales<sup>1</sup> consagradas en la Constitución de la República que determinan infracciones y fijaciones de sanciones para los contratistas de acuerdo a la gravedad de la afectación ambiental, se puede evidenciar la presencia de escombros, restos de materiales y una gestión inadecuada de residuos en distintas regiones del país. La utilización de materiales no renovables, los cuales carecen de una gestión adecuada en su ciclo de vida, ha generado un significativo impacto ambiental. En respuesta a esta problemática, se busca promover el uso de la totora como una alternativa de uso de un recurso local, biodegradable y amigable con el medio ambiente.

La aplicación de especies vegetales, como es el caso de la totora, ha sido evidente en diversos usos a lo largo de varios años. Uno de los aspectos que deseamos destacar es su aplicación en la construcción, dado que en tiempos antiguos, la utilización de materiales locales permitió abordar de manera inmediata la necesidad primaria de refugio, dando lugar a creaciones empíricas que han sido transmitidas de generación en generación. No obstante, la falta de interés en la incorporación y aplicación de estos materiales en el ámbito constructivo ha contribuido a que no se les considere como una opción viable.

El presente estudio busca analizar las propiedades mecánicas de los rollos amarrados de totora y la influencia de los diferentes parámetros considerados, con el propósito de su aplicación como elemento constructivo, respaldándose en ejemplos de uso como es el caso de las islas flotantes de los Uros en Perú o los Mudhif en Irak. En nuestro país, hay asentamientos

---

<sup>1</sup> “Entre las normas constan el Código Orgánico del Ambiente (2017) y su Reglamento (2019); el Código Orgánico Integral Penal (2014); la Ley Orgánica de Régimen Especial de la Provincia de Galápagos (2015) y su Reglamento (2017), el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (2003); entre otros” (Cuascota, 2020, p. 4)

como el situado en las proximidades del Lago San Pablo, ubicado en Otavalo, provincia de Imbabura, o el de Paccha en la provincia del Azuay, que ya cuentan con un conocimiento previo sobre el uso de este material. Sin embargo, dicho conocimiento no es completamente aprovechado, privándose así de las posibilidades que la fibra de totora podría ofrecer en el ámbito de la construcción.

Este estudio tiene como objetivo proponer un análisis físico-mecánico de rollos amarrados de totora con el fin de comprender las características, valores y resultados que las variables consideradas nos otorgan. Para llevar a cabo esta evaluación, se realizaron ensayos de laboratorio, haciendo referencia a normas técnicas establecidas para materiales similares como la madera y la guadua, dado que no existe una normativa específica para el material objeto de estudio, así como el uso de un software de análisis estadístico avanzado para el estudio correcto de la incidencia de las variables. El propósito fundamental es ampliar la comprensión sobre el comportamiento de materiales alternativos que pueda ser útil en futuras investigaciones y contribuir al diseño de proyectos arquitectónicos orientados a mitigar el cambio climático. Este enfoque permitirá informar al público acerca de las posibles aplicaciones en construcción, evitando así subestimar a la totora debido a concepciones erróneas preexistentes sobre las fibras naturales.

### 1.1. Antecedentes

La fibra natural *Schoenoplectus californicus*, comúnmente conocida como totora en Latinoamérica y junco en Europa, ha sido empleada a lo largo de generaciones. “sus registros datan desde los 8000 años antes de Cristo y se intensificaron a partir de los 800 años después de Cristo” (Hidalgo, 2007, p. 42). Los campos de aplicación mayormente se centran en usos tradicionales, abarcando aspectos como alimentación, medicina, agricultura, gestión ambiental, artesanía, arquitectura y hasta transporte, brindándonos una comprensión integral de sus características y resistencia.

En el ámbito artesanal, la totora ha encontrado diversas aplicaciones y propuestas, destacándose en Ecuador por su extenso uso en la confección de esteras y artesanías tejidas. Actualmente, se observa una amplia gama de objetos utilitarios y ornamentales que hacen uso de la totora como materia prima. Ejemplos notables incluyen la empresa comunitaria “Totora Sisa” en la parroquia San Rafael de la Laguna, Otavalo, Ecuador, así como la línea de mobiliario desarrollada por el Arquitecto Juan Hidalgo.

Una aplicación reveladora de la versatilidad de la totora es su utilización en la fabricación de embarcaciones. “(...) se han construido con el fin de realizar expediciones transoceánicas para demostrar las teorías sobre posibles contactos intercontinentales entre las culturas ancestrales.” (Hidalgo, 2019, p. 60). No obstante, una notable desventaja del contacto de la totora con el agua es “el daño que se produce por la putrefacción del material, sin embargo, un año también es un tiempo importante si consideramos que las balsas no tienen ningún tipo de impermeabilizante ni preservante” (Hidalgo, 2007, p. 51). La implementación de tratamientos específicos podría significar un aumento en su durabilidad, permitiendo, de este modo, imitar esta experiencia a elementos expuestos a la humedad en el ámbito de la construcción.

El ejemplo más destacado del empleo de la totora en la arquitectura es evidente en la comunidad de los Uros, que habita en un conjunto de islas, tanto naturales como artificiales, situadas en el lago Titicaca. Estas islas albergan viviendas mixtas que, además de utilizar la fibra de totora debido a su proximidad, también proporcionan un alto confort térmico.

“Este tipo de arquitectura vernácula ha sido un símbolo de supervivencia por más de 500 años. Las construcciones cuentan con capacidad máxima para cinco miembros de una familia. La vivienda tiene una superficie de 18 m<sup>2</sup> (6x3m), y está compuesta por una estructura de madera” (González, 2020, p. 44)

La incorporación de la totora en la arquitectura de nuestro entorno ha sido hasta ahora limitada y se ha restringido principalmente a la fabricación de

elementos de revestimiento, como muros y cielos rasos. En el contexto de las investigaciones actuales se busca aprovechar la totora como un material integral de construcción. Es el ejemplo de la tesis “Aprovechamiento de la totora como material de construcción” desarrollada por Juan Hidalgo (2007), que tiene como objetivo reconocer y revitalizar la totora debido a su considerable potencial tanto tecnológico como expresivo con el diseño de paneles que serán empleados para cubiertas, así como para muros internos y externos, resaltando en cada aplicación la expresión única que ofrece este material.

Otra línea de investigación se centra en el análisis de los factores que inciden en las propiedades mecánicas de rollos de totora amarrados, con el objetivo de viabilizar su aplicación como elementos constructivos, desarrollada por Patricio Hidalgo, Juan Hidalgo y Justo García (2019). En una investigación adicional, se lleva a cabo un análisis de la composición estructural mediante ensayos físico-mecánicos de tracción, flexión, compresión y humedad en probetas de distintos diámetros y alturas, desarrollada por Martha Zambrano (2018). Estos ensayos generan datos técnicos comparativos con fibras naturales de origen similar, tales como la guadua, la madera y el bambú.

## 1.2. Problema y Justificación

A nivel mundial, la industria de la construcción figura como uno de los sectores que genera mayor contaminación, según información proporcionada por el Arquitecto Jaume Valor, a través de la revista *Fuariens* (2022), un foro dedicado a la Universidad, Arquitectura, Industria, Ingeniería y Sociedad. De acuerdo con la mencionada fuente, “la construcción es la responsable aproximadamente del 40% del consumo de energía, el 35% de emisiones de CO<sub>2</sub>, el 50% del consumo de materiales y el 30% de agua, y del 35% de residuos a nivel global” (p. 9). Estas cifras ilustran de manera contundente los considerables impactos negativos que la industria de la construcción genera directa o indirectamente en el medio ambiente.

Los impactos adversos en el medio ambiente, el agotamiento de recursos naturales no renovables y los efectos negativos derivados de la actividad



humana han dejado de ser meras amenazas teóricas para convertirse en una realidad con la que la humanidad debe lidiar. En consecuencia, es imperativo dirigir nuestros esfuerzos hacia la atención integral de la implementación de un plan de construcción sostenible. Este enfoque implica el uso más inteligente de nuestros recursos y la adopción de materiales más amigables con el medio ambiente, preferiblemente aquellos disponibles en nuestro entorno cercano, como es el caso de la totora.

En los últimos años, ha emergido una serie de tendencias en la arquitectura, destacándose la arquitectura verde o ecológica, que busca mitigar los impactos del cambio climático. Sin embargo, la carencia de antecedentes, estudios y normas técnicas específicas acerca de la totora, particularmente en lo referente a pruebas físicas y mecánicas que permitan establecer comparaciones con otros materiales, fundamenta la necesidad de nuestra investigación. La misma se enfoca en el desarrollo de rollos amarrados, considerando distintos grosores, separaciones, materiales y métodos de amarre, con el propósito de modificar las propiedades de cada propuesta y viabilizar su empleo en la construcción. Además, esta iniciativa busca aportar una expresión formal innovadora a los proyectos y ofrecer soluciones bioclimáticas efectivas.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

- Analizar las propiedades mecánicas de rollos amarrados de totora para su uso en la construcción.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar distintas propuestas de rollos amarrados de totora para el análisis de sus propiedades mecánicas.
- Analizar la incidencia de las distintas variables en la resistencia de rollos amarrados de totora.
- Determinar qué propuestas de rollos amarrados de totora presentan las mejores propiedades mecánicas

# MARCO TEÓRICO



## Fibras Vegetales

Los elementos constitutivos de las plantas, ya sean, órganos, secciones y fibras, se designan colectivamente como fibras vegetales. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020) las describe como estructuras que se caracterizan por estar compuestas por conjuntos de células dotadas de una notable resistencia mecánica, cuyo contenido primordial se compone esencialmente de lignina<sup>1</sup> y celulosa<sup>2</sup>. La composición química de estas fibras, caracterizada por un elevado porcentaje de celulosa, se traduce en una baja asimilación por parte de los microorganismos, garantizando así su durabilidad. Asimismo, el significativo contenido de lignina confiere a estas fibras la capacidad de resistir las tensiones mecánicas inherentes a los procesos cotidianos a los que se ven sometidas.

Las fibras vegetales se encuentran presentes a nivel mundial, y existen varias especies conocidas que se utilizan en diversas aplicaciones, aunque principalmente han sido empleadas para satisfacer necesidades medicinales y alimenticias. En el ámbito de la arquitectura, el uso de fibras ha posibilitado la creación de sistemas constructivos que aprovechan los recursos del entorno. Estas aplicaciones han sido subestimadas en el campo de la construcción, pero actualmente se ha observado la implementación de diversas fibras vegetales que generan un nuevo enfoque en términos de funcionalidad, estética e impacto medioambiental.

Las fibras vegetales podrían dirigirse hacia la sustitución de materiales contaminantes y de difícil reciclaje, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental. Al ser reutilizables y requerir un bajo costo energético en su producción, representando una alternativa más sostenible.

1 Está presente en todas las plantas vasculares, y al igual que muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis. La lignina está considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial. (Chávez-Sifontes & Domine, 2013)

2 Es la sustancia que más frecuentemente se encuentra en la pared de las células vegetales, y fue descubierta en 1838. La celulosa constituye la materia prima del papel y de los tejidos de fibras naturales. (Química.es, s.f.)

## Totora

Existe una definición compartida de esta fibra natural, la cual ha sido empleada en los diferentes estudios realizados sobre la totora hasta la fecha. Esta descripción ha sido formulada por el Arquitecto Juan Hidalgo, quien la caracteriza de la siguiente manera:

“La “totora” es una planta de raíz acuática que crece en lagos y humedales, con una longitud promedio de 3.5m y diámetro de 2.5cm, su crecimiento es muy rápido y por lo tanto su capacidad de renovación, pudiendo volver a cosecharse cada seis meses. Tiene una estructura porosa al interior, formada por cámaras de aire como una esponja, que la vuelve un material muy liviano y con propiedades aislantes. (...) La especie mas común conocida como “totora” es la Schoenoplectus o Scirpus Californicus, pero en realidad existe una amplia gama de plantas de raíz acuática, que tienen características muy similares y han sido incluso utilizadas de la misma manera.” (2007, p.16)

Figura 01. Totora en estado natural.



Fuente: VirtualTech. Universidad de Cuenca 2022.

Elaboración: Arq. Sebastian Auquilla. Universidad de Cuenca, 2022.

## Morfología

### Rizoma

Son subterráneos y se desarrollan hasta la superficie del suelo, además cuentan con tallos gruesos, cuyo diámetro va desde los 1.8 a 2 cm, posee hojas escamosas y tiene una textura esponjosa de color rojo oscuro. (Titora, 1979, como se citó en Ordóñez, 2018)

### Tallo

Es erguido, liso, liviano y de forma triangular, además carecen de ramificaciones por lo que no poseen nudos. Los tallos tienen parénquimas<sup>1</sup> y crecen hasta 4m de altura. (Anne et al., 2004, como se citó en Ordóñez, 2018)

### Hojas

Delgadillo y Camacho (s.f) mencionan que las hojas se forman a nivel del nacimiento de los tallos y en forma de vaina lo rodean en la base. Se encuentran distribuidos en dos sectores, en la parte inferior de la planta tiene vainas foliares carentes de láminas, mientras que las superiores las desarrollan ocasionalmente. (p.31, como se citó en Ordóñez, 2018)

### Flores

Asimismo, Delgadillo y Camacho (s.f) describen a las flores como hermafroditas y su parte exterior está compuesta de cuatro escamas. (p.31, como se citó en Ordóñez, 2018)

### Frutos

Produce frutos secos biconvexos o aplanados convexos, lisos o transversalmente rugosos, con un pericarpio<sup>2</sup> no soldado. El fruto contiene una sola semilla de forma similar a la lenteja. (Delgadillo et al., s.f, como se citó en Ordóñez, 2018)

1 Característica de tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire.

2 Parte exterior del fruto de las plantas, que cubre las semillas.

Figura 02. Rizoma.



Fuente: Pajonal con ceibos, 2018.

Elaboración: Pajonal con ceibos, 2018.

Figura 04. Hojas.



Figura 03. Tallo.



Fuente: Album.es, s.f.

Elaboración: Album.es, s.f.

Figura 05. Flores.



Fuente: VirtualTech. Universidad de Cuenca 2022.

Elaboración: Arq. Sebastian Auquilla. Universidad de Cuenca, 2022.

## Propiedades de la fibra de totora

Jara (2018) define a la estructura interna de la totora como porosa, conformada por microcámaras de aire que le confieren una flexibilidad y esponjosidad destacadas, mientras que en su superficie exterior exhibe una capa uniforme y fibrosa de textura lisa. Estas propiedades la posicionan como un material idóneo para su implementación en sistemas constructivos y en el diseño de productos arquitectónicos sostenibles, ya sea en disposiciones verticales, horizontales u oblicuas. (p.52, como se citó en Sánchez, 2020)

Figura 06. Detalle de cubierta de totora.



Fuente: Arq. Martha Zambrano Universidad Católica de Cuenca, 2018.  
Elaboración: Arq. Martha Zambrano Universidad Católica de Cuenca, 2018.

## Localización

En la actualidad, mediante una base de datos proporcionada por la página web “iNaturalistEc”, es posible acceder a información sobre los cultivos de totora en Ecuador. Esta plataforma permite a los usuarios registrar observaciones relacionadas con plantas y animales. Este recurso electrónico ha resultado de gran utilidad para visualizar el estado de la fibra vegetal, clasificando las especies cultivadas, su cantidad, fotografías respectivas, el porcentaje de crecimiento mensual y anual, así como su ubicación, distribución y la participación de investigadores en el registro de datos.

Figura 07. Situación geográfica de la totora en el Ecuador.



Fuente: iNaturalistEc, 2024.  
Elaboración: iNaturalistEc, 2024.

■ Plantaciones de totora.

Macía & Balslev (2020) señalan que en Ecuador, la totora se desarrolla principalmente en la región de los Andes a altitudes superiores a 2000 metros sobre el nivel del mar, donde las temperaturas oscilan entre  $-2^{\circ}\text{C}$  y  $16^{\circ}\text{C}$ , y las precipitaciones anuales en humedales varían de 400 a 1200 mm. También se ha documentado su presencia en algunas localidades por debajo de los 2000 metros en la vertiente oeste andina y en áreas bajas cerca de la costa de Esmeraldas. (p. 32, como se citó en Ordóñez, 2018).

A través de varios viajes realizados a lo largo de la Sierra ecuatoriana, hemos constatado que la totora crece de manera esporádica en lagos, lagunas, humedales y estanques artificiales. Esta observación también es respaldada por el Arquitecto Juan Hidalgo, quien ha estudiado este material durante varios años y ha señalado que la totora se encuentra en los alrededores de Cuenca, manifestando que “crece en cualquier lugar donde haya humedales, desde el nivel del mar hasta altitudes de hasta 3800 metros sobre el nivel del mar, como en el caso del Lago Titicaca”.

## Cosecha de la totora

La cosecha de la totora se lleva a cabo dos veces al año. Inicia con el corte del tallo a una altura mínima de 0.20 metros sobre el nivel del agua, esto con el propósito de evitar la putrefacción en su estructura interna y fomentar el crecimiento de nuevas especies. Inquilla (2016), señala que durante el invierno se realiza el corte de la totora “macho”, mientras que el crecimiento de la totora “hembra” tiene lugar desde octubre hasta principios de enero, momento en el que se inicia el corte que se extiende hasta abril. Ambos cortes se ejecutan de manera uniforme. (p. 35, como se citó en González, 2020)

Las herramientas empleadas para el corte varían según las condiciones en las que se encuentre la fibra natural. Cuando se lleva a cabo directamente sobre el terreno, se utiliza la hoz, un instrumento que consta de un mango de madera y una hoja metálica curvada y dentada. Además, se puede emplear la “Yawiña”, “Llahuiña” o “Quinina”, una herramienta que consiste en un palo de 2 metros de longitud y un diámetro de 2.5 cm, con una hoja metálica en su extremo, como lo describe Ordóñez (2018).

Figura 08. Herramientas utilizadas en la cosecha de totora.



Fuente: González M., 2019.

Elaboración: González M., 2019.

Figura 09. Cosecha realizada en el Lago San Pablo.



Fuente: VirtualTech. Universidad de Cuenca 2022.

Elaboración: Arq. Sebastian Auquilla. Universidad de Cuenca, 2022.

## Secado de la totora

Tras realizar el corte de la fibra, se lleva a cabo el proceso de secado. Este consiste en trasladar la totora cortada hasta la orilla del lago, donde se extiende sobre una superficie plana durante aproximadamente dos semanas. Durante este período, se permite que la fibra se seque naturalmente, lo que se evidencia por el cambio de tonalidad de verde a amarillo, indicando que ha filtrado el agua que contenía en su interior. Posteriormente, se procede a recolectar toda la fibra, formando pilas de totora, para luego realizar una preselección según el uso que se le dará.

Figura 10. Secado de totora en la orilla de los lagos.



Fuente: VirtualTech. Universidad de Cuenca 2022.

Elaboración: Arq. Sebastian Auquilla. Universidad de Cuenca, 2022.

## Cuidados de la fibra

- La totora es una fibra vegetal notablemente resistente a las altas temperaturas y requiere poco mantenimiento.
- Se requiere de cuidados esporádicos para controlar la maleza y preservar su salud.
- Es crucial evitar el acceso del ganado a las zonas donde crece la totora, ya que su pastoreo puede dañar las raíces y obstaculizar su crecimiento.
- Es fundamental no cortar el tallo de la totora a menos de 50 centímetros del nivel del agua, ya que esto podría ocasionar la putrefacción interna de la fibra.

Además de la información recabada en nuestra investigación sobre la cosecha, secado y cuidado de la totora, hemos podido corroborar la efectividad de estos procesos a través de visitas técnicas, testimonios y nuestras propias experiencias en la comunidad de San Rafael de la Laguna, ubicada en Otavalo. Estas vivencias han enriquecido nuestro conocimiento sobre la manipulación adecuada de la totora al momento de elaborar prototipos.

Figura 11. Visita técnica en la comunidad de San Rafael de la Laguna.



Fuente: VirtualTech. Universidad de Cuenca 2022.

Elaboración: Arq. Sebastian Auquilla. Universidad de Cuenca, 2022.

# **METODOLOGÍA**





La metodología a aplicar en nuestra investigación será cuantitativa ya que se centrará en la medición y la comprobación mediante datos numéricos lo que nos permitirá explicar el fenómeno investigado y su magnitud a través del análisis de las variables de estudio y su relación.

Dado que no existe una normativa oficial para el análisis de las propiedades físico-mecánicas de la fibra y con el fin de llevar a cabo un estudio preciso de los rollos de totora, se llevó a cabo un análisis de normativas aplicables a materiales similares a esta fibra. Entre las normativas consideradas se encuentran la NEC-SE-Guadua, la NTC-5525, la norma ASTM D 143 y el conjunto de normas ISO para madera. Estas normativas proporcionaron parámetros iniciales cruciales para la realización del estudio y fabricación de las probetas de totora.

La normativa NTE INEN-ISO-3129-2013<sup>1</sup>, establece métodos de muestreo y requisitos generales para ensayos físicos y mecánicos de especímenes de madera clara. Según esta norma, para la determinación de la resistencia última en flexión estática<sup>2</sup> y compresión paralela a la fibra<sup>3</sup>, es necesario referirse a las normas ISO 13061-3-2014 e ISO 13061-17-2017 respectivamente. Dichas normas proporcionan pautas detalladas sobre la preparación de las muestras, el procedimiento a seguir durante el ensayo, así como los cálculos y la expresión de resultados.

#### 4.1. Proceso constructivo de rollos amarrados de totora con bridas plásticas

En el marco de la fabricación de la primera propuesta de prototipos, se emplean bridas plásticas como material de amarre y compactación de las fibras, conformando así un sistema de fácil replicación en comunidades donde los artesanos pueden utilizar esta fibra como material de construcción.

1 Revisar Anexo 01. para NTE INEN-ISO-3129-2013  
 2 Es una prueba que produce esfuerzo de tracción en el lado convexo de la muestra y tensión de compresión en el lado cóncavo. Esto crea una zona de tensión de cizallamiento a lo largo de la línea media. (Instron, s.f.)  
 3 Es una prueba utilizada para determinar el comportamiento de un material bajo cargas de aplastamiento aplicadas y, por lo general, se realizan aplicando presión de compresión a una muestra de prueba. (Instron, s.f.)

A continuación, se detalla el procedimiento constructivo del rollo amarrado de totora con bridas plásticas:

Figura 12. Esquema de proceso de fabricación.

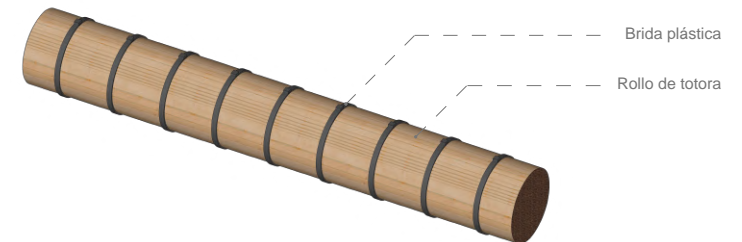
1. Colocación de brida y prensa para crear un gancho del cual poder ejercer fuerza.



3. Ejercer una fuerza  $\pm 35$  Kg con un dinamómetro sobre el gancho pre elaborado.



3. Resultado final de rollo amarrado con bridas plásticas.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
 Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Para la elaboración de los prototipos, se llevó a cabo la recolección de la totora, la cual se obtuvo de varias lagunas y humedales situados en diversos predios privados de diferentes familias alrededor de la parroquia rural de Paccha, provincia del Azuay. Los atados, una vez secos, fueron trasladados y almacenados en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, en un espacio con sombra y adecuada ventilación, con el propósito de asegurar la calidad del material.

El procedimiento comienza con la selección de un atado de totora que exhiba el máximo nivel de secado posible, lo que significa, elegir las que presentan una mayor tonalidad amarillenta. A continuación, se realiza un corte de aproximadamente 15 cm desde la base de las fibras, ya que esta región suele ser la más propensa a daños, de igual manera es importante descartar la sección superior de los atados, donde se encuentran las flores. Además, se prioriza la elección de fibras con menor curvatura y sin agrietamientos, con el propósito de garantizar la utilización de los ejemplares de totora de mayor calidad en la elaboración de las probetas.

Figura 13. Selección de totora.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Figura 14. Corte de extremos.



A continuación, se realiza el corte de las fibras de totora, ajustando su longitud de acuerdo con los requisitos específicos para cada probeta, ya sea destinada a ensayos de compresión o flexión. Una vez seleccionadas las mejores fibras, se voltea la mitad del atado, debido a la forma cónica de las mismas, lo que nos permitirá fabricar un prototipo uniforme. Luego, se lleva a cabo un amarre inicial utilizando las mismas bridas, asegurándose de no ajustarlas en exceso, con el objetivo de formar un rollo que tenga dos centímetros adicionales al diámetro final deseado para la probeta. Una vez obtenido este rollo, se procede a medir y marcar a lo largo de su longitud la separación requerida para ubicar cada una de las bridas plásticas.

Subsecuentemente, se fabrica una prensa con el fin de facilitar la creación de un gancho que posibilitará la aplicación de la fuerza necesaria para comprimir el rollo. Esta prensa se construye mediante dos pequeños trozos de madera unidos por dos pernos, los cuales permiten la compresión del extremo de la brida y proporcionan un punto de sujeción para el dinamómetro.

Figura 15. Volteado de mitad de fibras.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Figura 16. Bridas y herramientas a usar.

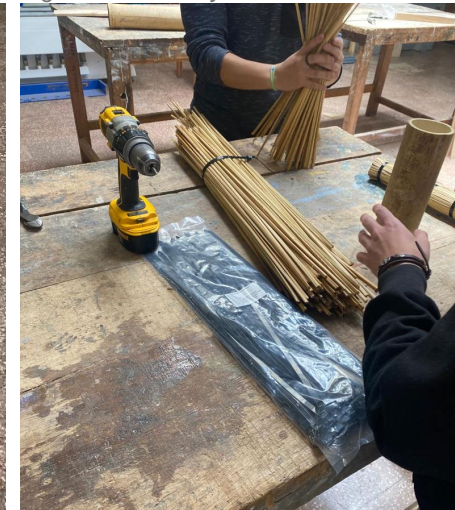


Figura 17. Separación de bridas.



Figura 18. Fabricación de prensa.



Figura 19. Aplicación de fuerza.



Figura 20. Lijado de superficies finales.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tras la ejecución del gancho, se procede a emplear el dinamómetro<sup>1</sup> con el fin de aplicar una fuerza de  $\pm 35$  kg para tensionar las bridas. Para concluir el proceso de fabricación del prototipo, se efectúa el corte de los excedentes de las bridas plásticas, se seccionan los extremos del rollo con el propósito de alcanzar la longitud requerida, y se realiza el lijado de dichos extremos para obtener una superficie nivelada y un acabado más refinado en la probeta.

Es importante destacar que las probetas finales no reciben ningún tratamiento específico que pueda afectar su durabilidad o composición natural.

<sup>1</sup> Es una herramienta que, a partir de los cambios en la elasticidad de un muelle con una determinada calibración, permite calcular el peso de un cuerpo o realizar la medición de una fuerza. Este dispositivo fue inventado por Sir Isaac Newton (1643–1727) a partir de la ley de Hooke, tomando los límites de medición a través de la capacidad de un resorte para estirarse. (Pérez & Gardey, 2023)

Figura 21. Probetas finales para ensayos a compresión.



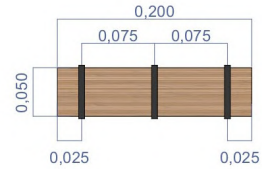
Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## Prototipo C1 (Altura = 20 cm - diámetro = 5 cm)

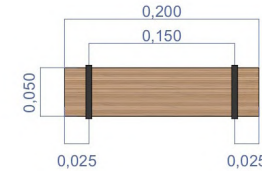
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

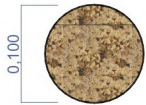


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

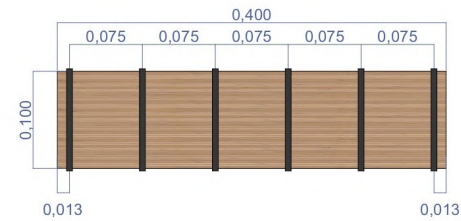


## Prototipo C2 (Altura = 40 cm - diámetro = 10 cm)

Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

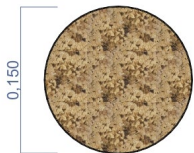


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

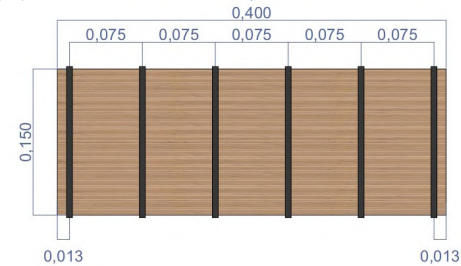


## Prototipo C3 (Altura = 40cm - diámetro = 15cm)

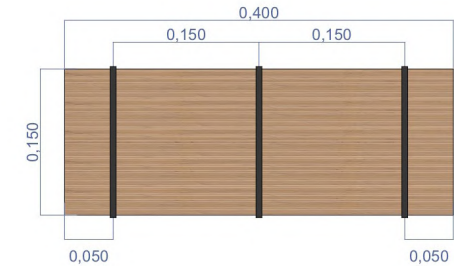
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)



Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

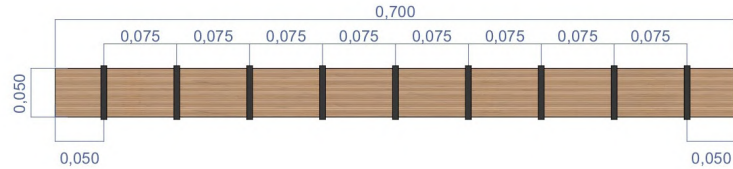
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## Prototipo F1 (Altura = 70 cm - diámetro = 5 cm)

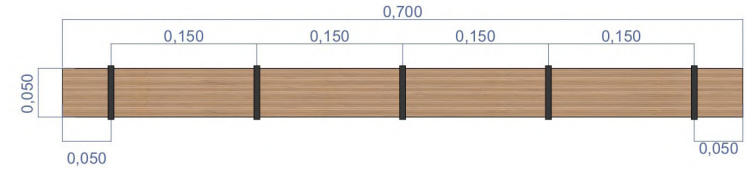
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

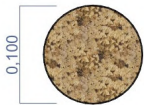


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

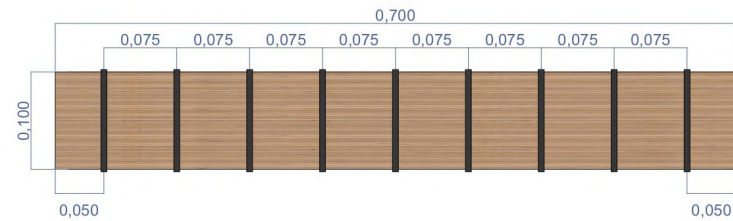


## Prototipo F2 (Altura = 70 cm - diámetro = 10 cm)

Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

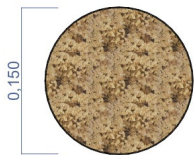


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

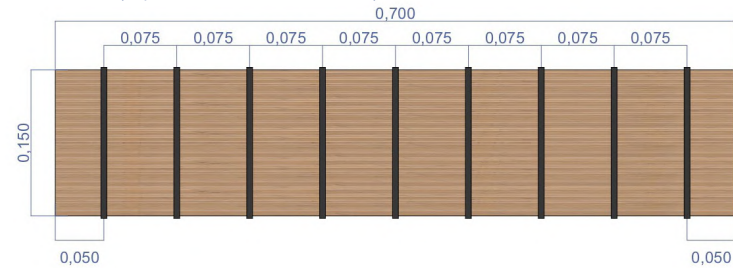


## Prototipo F3 (Altura = 70 cm - diámetro = 15 cm)

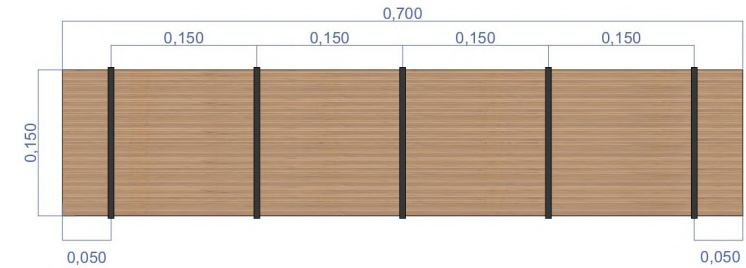
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)



Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## 4.2. Proceso constructivo de rollos amarrados de totora con piola

En el contexto de la fabricación de la segunda propuesta de prototipos, se utiliza una piola cableada N° 72 como material de amarre y compactación de las fibras. A diferencia del planteamiento anterior, esta se distingue por la implementación de un tipo de amarre diagonal, lo que configura un procedimiento más complejo que el anterior. Esta variación implica la fabricación de un sistema especial diseñado para aplicar una tensión constante similar al enrollado de filamentos para facilitar la elaboración de las probetas.

Figura 22. Piola cableada N°72.



Figura 23. Mecanismo para fabricación de rollo amarrado con piola.

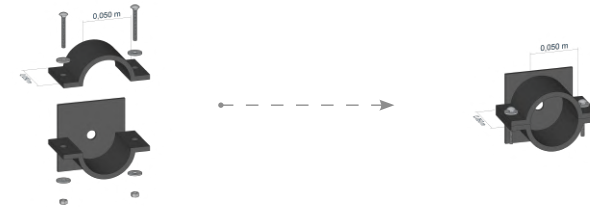


Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

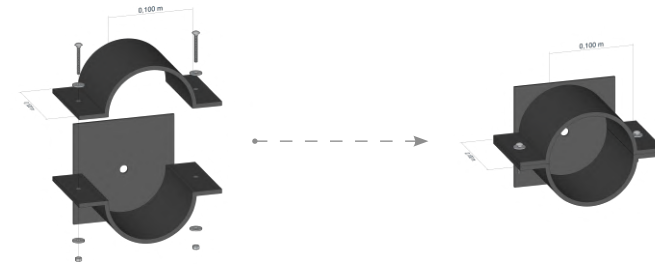
A continuación, se detalla el procedimiento de la fabricación del sistema de enrollado para la fabricación de las probetas:

Figura 24. Esquema sujeción de rollos.

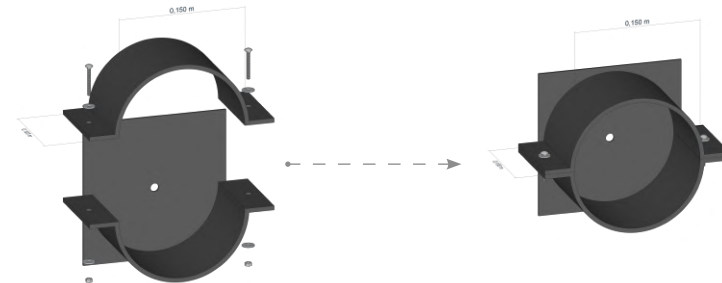
1. Placa de sujeción  $\phi$  5 cm.



2. Placa de sujeción  $\phi$  10 cm.

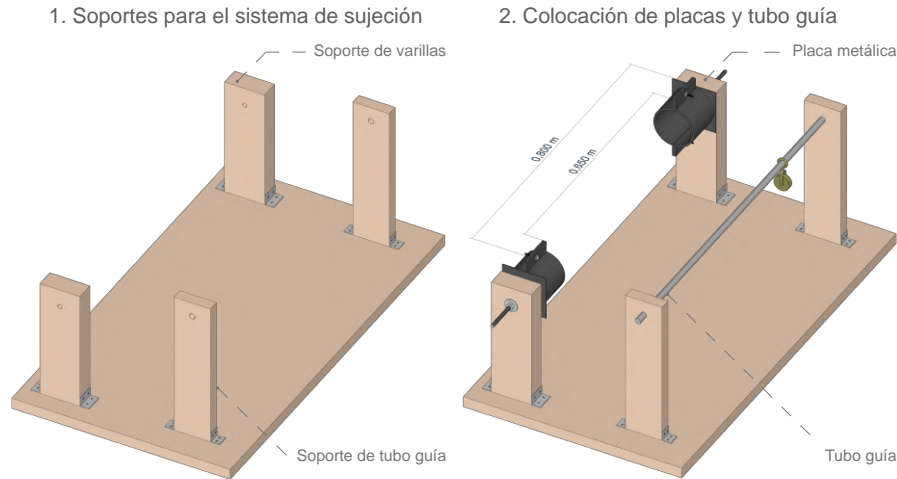


3. Placa de sujeción  $\phi$  15 cm.

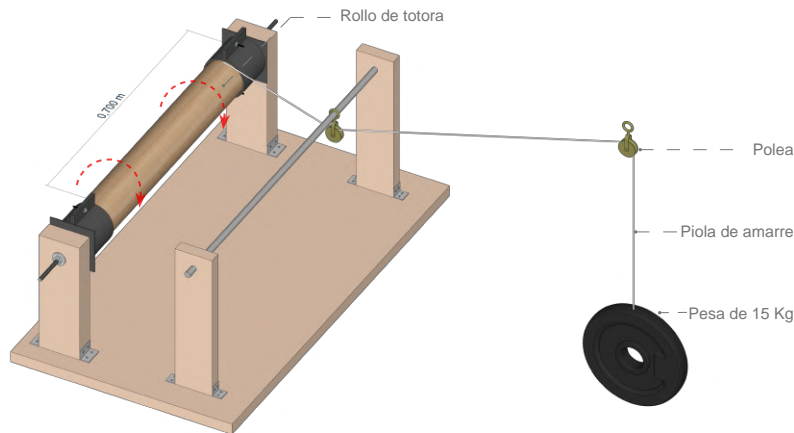


Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Figura 25. Esquema de fabricación de mecanismo de enrollado.

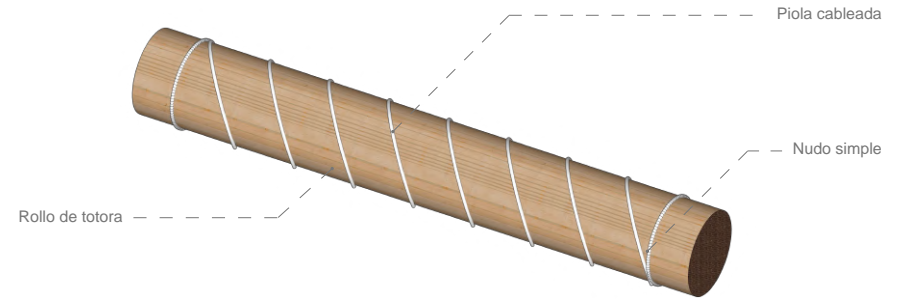


3. Colocación de las fibras de totora en el mecanismo, para el posterior giro del rollo con una tensión constante de 15 Kg a través de las poleas.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Figura 26. Esquema de probeta final de rollo amarrado con piola.



El procedimiento inicial para la fabricación de los prototipos, en lo que respecta a la recolección y limpieza de los atados, guarda total similitud con la propuesta previa. En este sentido, el proceso da inicio con la disposición de las fibras de totora en el sistema de sujeción de rollos.

Tras la disposición de las fibras en el mecanismo, se procede a fijar bridas plásticas en los tercios de la longitud del rollo, lo que facilita la manipulación del elemento y reduce el riesgo de daño en las fibras al momento de su rotación. Subsecuentemente, se lleva a cabo la unión de las placas metálicas mediante pernos, posibilitando así la fijación de uno de los extremos de la piola. A partir de este punto, se inicia el proceso de enrollado.

Figura 27. Colocación de fibras y ubicación de bridas de apoyo.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Figura 28. Unión de placas.



Figura 29. Sujeción de piola de amarre.



Figura 30. Colocación de peso de 15 Kg.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Una vez establecido el sistema de sujeción de los rollos, se procede a sujetar el extremo opuesto de la piola a un peso de 15 kg, el cual se encuentra suspendido. Esta configuración posibilita la aplicación de una tensión constante durante todo el proceso de enrollado. A partir de este punto, se retiene la piola cableada por medio del giro de la misma, tres veces en el mismo sitio, logrando inmovilizar el extremo para que en el momento de retirar el rollo del mecanismo, no haya pérdida de la tensión inicial.

Para lograrlo, se establecen marcas a distancias específicas, ya sea de 7,5 cm o 15 cm, según el tipo de prototipo que se esté elaborando. Al completar el proceso, se realizan nudos simples en los extremos apoyadas de nudos simples secundarios con una piola de menor diámetro para liberar el rollo del sistema de sujeción, permitiendo así su posterior corte con la longitud deseada. Además, se lleva a cabo el lijado de los extremos para proporcionar una superficie estable y obtener el acabado deseado como la propuesta con bridas plásticas. Asimismo, es importante destacar que las probetas finales no reciben ningún tratamiento específico.

Figura 31. Proceso de enrollado.



Figura 32. Probeta final - piola.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

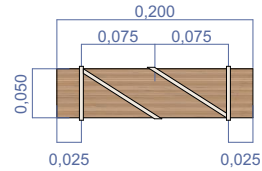


## Prototipo C4 (Altura = 20 cm - diámetro = 5 cm)

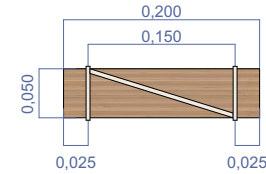
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

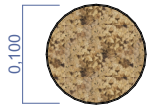


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

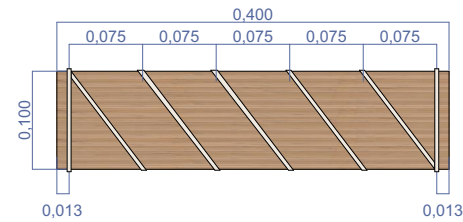


## Prototipo C5 (Altura = 40 cm - diámetro = 10 cm)

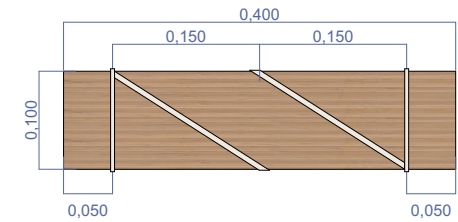
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)



Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

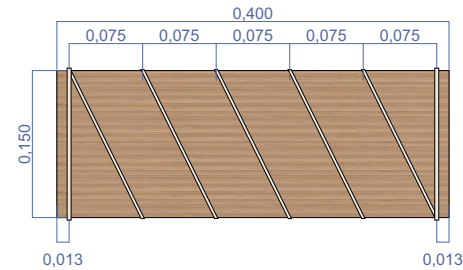


## Prototipo C6 (Altura = 40 cm - diámetro = 15 cm)

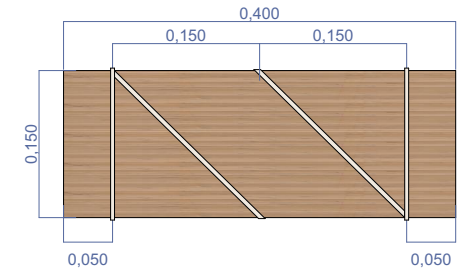
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)



Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

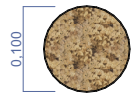
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## Prototipo F1 (Altura = 70cm - diámetro = 5cm)

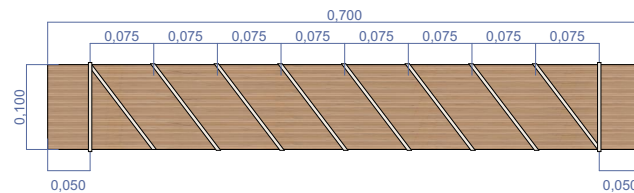
La producción y evaluación de estas probetas estaban programadas; sin embargo, la falta de resistencia observada durante los ensayos de flexión de sus similares con bridas plásticas condujo a la conclusión de que su fabricación resultaba innecesaria.

## Prototipo F2 (Altura = 70 cm - diámetro = 10 cm)

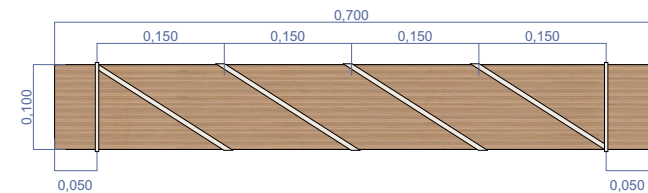
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)

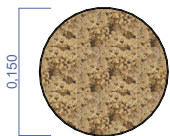


Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)

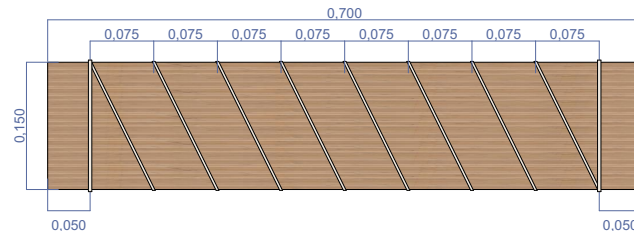


## Prototipo F3 (Altura = 70 cm - diámetro = 15 cm)

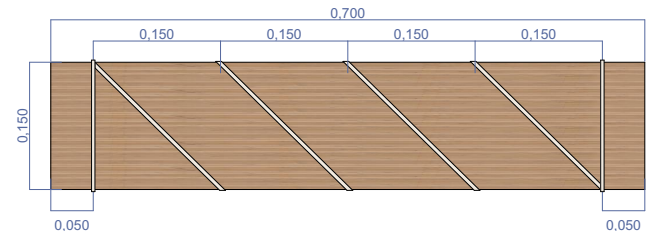
Sección transversal



Elevación lateral (Separación 7,5 cm - cantidad = 5 u)



Elevación lateral (Separación 15 cm - cantidad = 5 u)



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

# **RESULTADOS**



Para el análisis de las propiedades mecánicas de todas las probetas, se contó con el respaldo del Laboratorio de Geotécnica y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, donde se llevaron a cabo los ensayos de compresión y flexión en los rollos amarrados de totora. Previo a cada ensayo, se procedió a medir y pesar cada prototipo utilizando una báscula digital, con el fin de obtener valores con la máxima precisión posible

Los ensayos de compresión y flexión fueron realizados utilizando una máquina Shimadzu modelo Concreto 2000X. Esta máquina, diseñada para pruebas de compresión, permite llevar a cabo ensayos con diversos materiales de manera segura, eficiente y precisa. Su versatilidad se refleja en la capacidad de ajustar las unidades de carga en función de los valores requeridos, así como configurar velocidades bajas y altas según las necesidades del ensayo. Además, cuenta con un sistema que presenta los resultados de cada prueba en tablas y gráficos al término de la misma, facilitando así un análisis detallado de cada probeta.

Se fabricaron cinco probetas de cada uno de los tipos previamente descritos en capítulos anteriores. Esta elección se realizó con el propósito de obtener una diversidad de resultados, lo que, a su vez, proporciona una amplia gama de variables para llevar a cabo un análisis estadístico adecuado. Este enfoque nos permite obtener una visión más confiable y precisa del comportamiento del material al someterse a una carga constante, tanto en ensayos de compresión como en flexión.

Figura 33. Máquina Shimadzu modelos concreto 2000X.



Figura 34. Ensayo a compresión.



Figura 35. Ensayo a flexión.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## 5.1. Ensayo de compresión

Durante el ensayo de compresión, se siguió el procedimiento establecido por la norma ISO 13061-17-2017. Esta norma especifica que la altura de la probeta de ser de 1,5 a 4 veces su lado, y debe ser sometida a una carga constante mediante un dispositivo de carga uniforme. La velocidad utilizada en el ensayo fue de 0,6 mm/min, tomando esta referencia la NTC-5525<sup>1</sup>, ya que la norma ISO no proporciona una velocidad específica para este tipo de ensayo.

Para garantizar una superficie estable y aplicar una carga uniforme sobre toda la superficie de contacto, se emplearon neoprenos tanto en la parte inferior como en la superior del prototipo. El cálculo del esfuerzo se llevó a cabo mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F_{\text{máximo}}}{A}$$

$\sigma$  = Esfuerzo de compresión (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\text{máximo}}$  = Carga máxima (N)

$A$  = Área de superficie de contacto (mm<sup>2</sup>)

---

1 Revisar Anexo 02. para NTC-5525.

## 5.2. Ensayo de flexión

En el procedimiento del ensayo de flexión, se adoptó como referencia la norma ISO 13061-3-2014, la cual establece un ensayo en tres puntos con una distancia entre los apoyos de 12 a 16 veces la longitud de la probeta. Esta norma sugiere que los apoyos deben tener longitud, espesor y ancho suficientes para proporcionar una superficie firme y garantizar un esfuerzo de apoyo uniforme en todo el ancho de la probeta.

La velocidad utilizada durante el ensayo fue de 4,8 mm/min, aproximadamente el doble de la velocidad indicada en la norma ASTM D 143<sup>1</sup>. Esta elección se hizo debido al tiempo prolongado del ensayo al utilizar la velocidad original, optándose por duplicar su valor para mejorar la eficiencia del proceso. Para el cálculo del esfuerzo se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{FL}{4S}$$

$\sigma$  = Esfuerzo de flexión (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Carga máxima (N)

$L$  = Longitud entre apoyos (mm)

$S$  = Módulo de resistencia dependiendo de la sección (mm)











Módulo de resistencia del círculo =  $\frac{\pi d^3}{32}$

---

1 Revisar Anexo 03. para norma ASTM D 143.

### 5.3. Resultado de ensayos de compresión de prototipos con brida











Tabla 01. Resultados de ensayos de compresión prototipo C1.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| C 1.1.1          | 104.90   | 20.20         | 5.80          | 533.70        | 196.55           | 2901.40          | 1.098          |    |
| C 1.1.2          | 109.00   | 20.00         | 5.80          | 528.42        | 206.28           | 3127.42          | 1.184          |    |
| C 1.1.3          | 100.00   | 20.00         | 5.60          | 492.60        | 203.00           | 3093.40          | 1.256          |    |
| C 1.1.4          | 101.50   | 20.00         | 5.60          | 492.60        | 206.05           | 2410.89          | 0.979          |    |
| C 1.1.5          | 109.70   | 20.30         | 5.80          | 536.34        | 204.53           | 2455.08          | 0.929          |    |
| C 1.2.1          | 101.70   | 20.10         | 5.90          | 549.53        | 185.07           | 2727.51          | 0.998          |    |
| C 1.2.2          | 106.30   | 20.00         | 6.25          | 613.59        | 173.24           | 2291.36          | 0.747          |  |
| C 1.2.3          | 98.30    | 20.20         | 6.00          | 571.14        | 172.11           | 2580.33          | 0.913          |  |
| C 1.2.4          | 107.90   | 20.00         | 6.30          | 623.45        | 173.07           | 2719.56          | 0.872          |  |
| C 1.2.5          | 97.80    | 20.00         | 6.00          | 565.49        | 172.95           | 2765.66          | 0.978          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.











Tabla 02. Resultados de ensayos de compresión prototipo C2.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| C 2.1.1          | 652.10   | 40.00         | 10.95         | 3766.85       | 173.12           | 2201.40          | 0.234          |    |
| C 2.1.2          | 588.40   | 39.90         | 10.50         | 3454.95       | 170.31           | 1727.74          | 0.200          |    |
| C 2.1.3          | 514.60   | 39.90         | 10.10         | 3196.73       | 160.98           | 2876.60          | 0.359          |    |
| C 2.1.4          | 642.40   | 39.00         | 11.30         | 3911.21       | 164.25           | 2581.91          | 0.257          |    |
| C 2.1.5          | 578.80   | 40.20         | 9.90          | 3094.47       | 187.04           | 2376.56          | 0.309          |    |
| C 2.2.1          | 561.60   | 40.00         | 11.00         | 3801.33       | 147.74           | 3616.97          | 0.381          |    |
| C 2.2.2          | 564.50   | 40.00         | 10.00         | 3141.59       | 179.69           | 2038.32          | 0.260          |   |
| C 2.2.3          | 461.50   | 39.80         | 9.70          | 2941.14       | 156.91           | 2670.29          | 0.361          |  |
| C 2.2.4          | 547.40   | 39.90         | 11.15         | 3895.94       | 140.51           | 2360.03          | 0.242          |  |
| C 2.2.5          | 519.40   | 40.10         | 10.60         | 3538.72       | 146.78           | 2749.13          | 0.312          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 03. Resultados de ensayos de compresión prototipo C3.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|---|
| C 3.1.1          | 938.00   | 40.80         | 14.00         | 6280.67                    | 149.35                        | 2582.55          | 0.168          |    |
| C 3.1.2          | 1032.00  | 41.30         | 14.30         | 6633.03                    | 155.58                        | 4755.34          | 0.296          |    |
| C 3.1.3          | 946.00   | 41.20         | 14.35         | 6663.32                    | 141.97                        | 4490.22          | 0.278          |    |
| C 3.1.4          | 984.00   | 41.00         | 14.13         | 6429.22                    | 153.05                        | 4389.45          | 0.280          |    |
| C 3.1.5          | 1034.00  | 41.45         | 14.45         | 6797.51                    | 152.11                        | 5440.08          | 0.332          |    |
| C 3.2.1          | 961.00   | 40.50         | 15.13         | 7276.72                    | 132.06                        | 4637.40          | 0.258          |    |
| C 3.2.2          | 932.00   | 40.25         | 15.18         | 7279.69                    | 128.03                        | 6620.41          | 0.366          |   |
| C 3.2.3          | 957.00   | 40.50         | 14.88         | 7038.16                    | 135.97                        | 5725.86          | 0.329          |  |
| C 3.2.4          | 977.00   | 40.30         | 14.93         | 7050.56                    | 138.57                        | 5327.86          | 0.305          |  |
| C 3.2.5          | 986.00   | 40.40         | 15.40         | 7525.11                    | 131.03                        | 5793.25          | 0.311          |  |











Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.



## 5.4. Resultado de ensayos de flexión de prototipos con brida




Tabla 04. Resultados de ensayos de flexión prototipo F1.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|---|
| F 1.1.1          | 348.12   | 69.80         | 5.20          | 1482.35                    | 234.84                        | -                | -              |    |
| F 1.1.2          | 364.25   | 70.00         | 5.50          | 1663.08                    | 219.02                        | -                | -              |    |
| F 1.1.3          | 355.90   | 69.90         | 5.50          | 1660.70                    | 214.31                        | -                | -              |    |
| F 1.1.4          | 370.50   | 69.90         | 5.65          | 1752.52                    | 211.41                        | -                | -              |    |
| F 1.1.5          | 373.50   | 64.40         | 5.60          | 1586.18                    | 235.47                        | -                | -              |    |
| F 1.2.1          | 333.61   | 69.80         | 5.75          | 1812.51                    | 184.06                        | -                | -              |    |
| F 1.2.2          | 335.28   | 69.70         | 5.85          | 1873.42                    | 178.97                        | -                | -              |   |
| F 1.2.3          | 331.78   | 69.90         | 5.58          | 1706.31                    | 194.44                        | -                | -              |  |
| F 1.2.4          | 328.05   | 69.80         | 5.78          | 1828.31                    | 179.43                        | -                | -              |  |
| F 1.2.5          | 338.16   | 60.00         | 6.03          | 1710.63                    | 197.68                        | -                | -              |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.











Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 05. Resultados de ensayos de flexión prototipo F2.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| F 2.1.1          | 950.00   | 70.20         | 10.55         | 6136.66       | 154.81           | 540.41           | 0.703          |    |
| F 2.1.2          | 965.00   | 70.20         | 10.60         | 6194.96       | 155.77           | 616.71           | 0.791          |    |
| F 2.1.3          | 848.00   | 70.20         | 10.30         | 5849.27       | 144.98           | 525.47           | 0.735          |    |
| F 2.1.4          | 859.00   | 70.10         | 10.10         | 5616.30       | 152.95           | 504.81           | 0.749          |    |
| F 2.1.5          | 869.00   | 70.00         | 10.00         | 5497.79       | 158.06           | 536.28           | 0.819          |    |
| F 2.2.1          | 857.00   | 70.00         | 10.85         | 6472.13       | 132.41           | 453.63           | 0.543          |    |
| F 2.2.2          | 903.00   | 70.20         | 11.28         | 7009.07       | 128.83           | 520.71           | 0.555          |   |
| F 2.2.3          | 883.00   | 70.00         | 10.58         | 6148.21       | 143.62           | 486.37           | 0.628          |  |
| F 2.2.4          | 877.00   | 70.10         | 11.03         | 6692.14       | 131.05           | 535.65           | 0.611          |  |
| F 2.2.5          | 899.00   | 70.25         | 10.80         | 6435.52       | 139.69           | 544.23           | 0.660          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
 Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

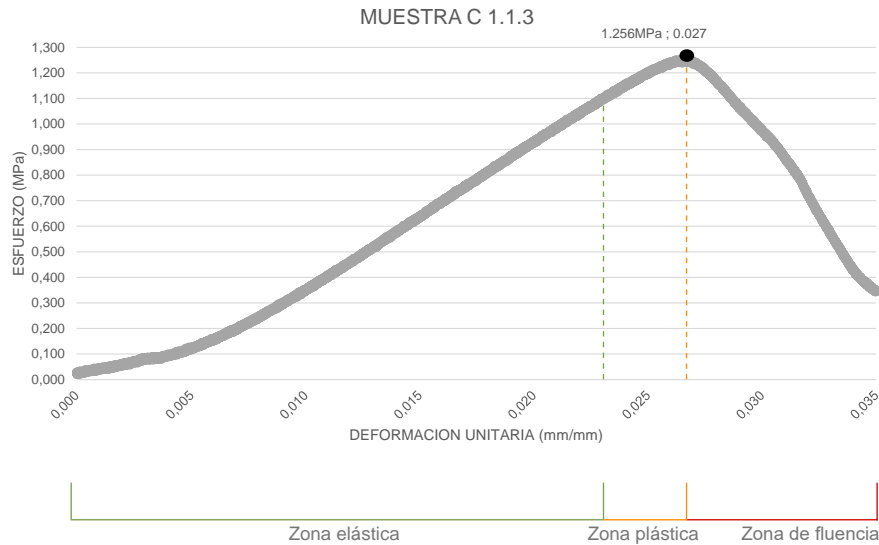
Tabla 06. Resultados de ensayos de flexión prototipo F3.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| F 3.1.1          | 1889.40  | 70.10         | 14.82         | 12092.17      | 156.25           | 888.82           | 0.417          |    |
| F 3.1.2          | 1541.00  | 70.20         | 14.50         | 11592.12      | 132.94           | 963.85           | 0.483          |    |
| F 3.1.3          | 1801.30  | 69.95         | 14.40         | 11392.07      | 158.12           | 843.05           | 0.431          |    |
| F 3.1.4          | 1603.10  | 69.90         | 15.20         | 12683.94      | 126.39           | 984.51           | 0.428          |    |
| F 3.1.5          | 1877.60  | 70.10         | 14.50         | 11575.61      | 162.20           | 571.89           | 0.287          |    |
| F 3.2.1          | 1860.80  | 70.10         | 16.07         | 14218.04      | 130.88           | 917.12           | 0.338          |    |
| F 3.2.2          | 1694.90  | 70.05         | 15.25         | 12794.92      | 132.47           | 912.03           | 0.393          |   |
| F 3.2.3          | 1740.10  | 69.95         | 14.93         | 12246.08      | 142.09           | 777.56           | 0.357          |  |
| F 3.2.4          | 1736.90  | 70.00         | 15.50         | 13208.43      | 131.50           | 963.53           | 0.395          |  |
| F 3.2.5          | 1763.20  | 69.85         | 15.30         | 12842.19      | 137.30           | 804.90           | 0.343          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
 Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## Análisis de gráfico de ensayo a compresión de probetas con bridas

Figura 36. Ensayo a compresión de prototipo C 1.1.3.



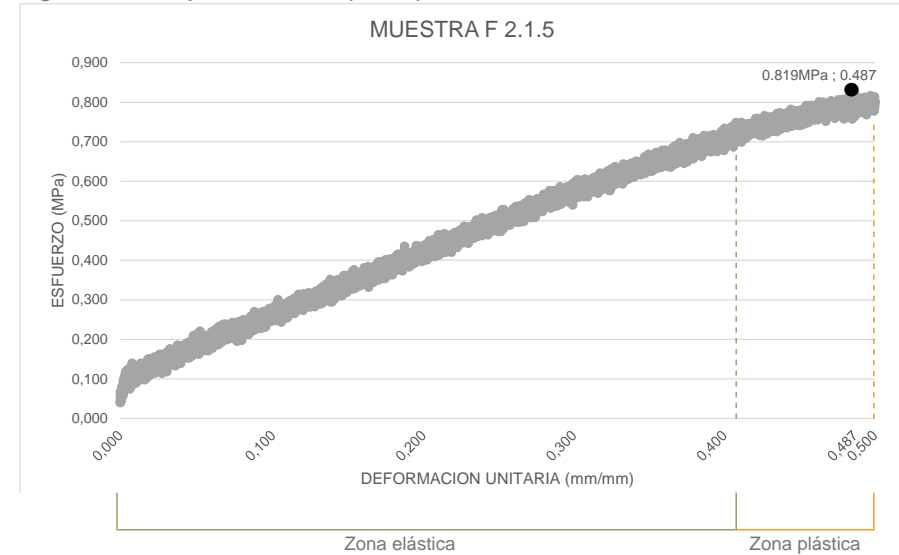
Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

En la gráfica de esfuerzo-deformación derivada de los ensayos a compresión de rollos amarrados con bridas plásticas<sup>1</sup>, se observa inicialmente una curva cóncava hacia arriba en la fase inicial de la zona elástica. Esta particularidad se atribuye a la porosidad inherente del material. A medida que progresa el ensayo, se evidencia la disminución gradual de los espacios de aire presentes en la probeta, consecuencia directa de la carga aplicada a la probeta, hasta alcanzar el límite de proporcionalidad e ingresar a la fase plástica. Es relevante señalar que al concluir el ensayo, las probetas exhiben una notable capacidad de recuperación, retornando prácticamente a su forma inicial, con deformaciones apenas perceptibles.

1 Revisar Anexo 04. 05. y 06. para gráficos de esfuerzo-deformación de probetas C1, C2 y C3, respectivamente.

## Análisis de gráfico de ensayo a flexión de probetas con bridas

Figura 37. Ensayo a flexión de prototipo F 2.1.5.













Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

En los ensayos de flexión estática de las probetas realizadas con bridas<sup>1</sup>, no se observa un punto de rotura, atribuible a la notable flexibilidad del material. Esta característica condujo a la determinación de concluir el ensayo al alcanzar una deformación equivalente al radio de las probetas. De manera similar a los ensayos de compresión, al finalizar el proceso, las probetas presentan una capacidad significativa de recuperar su forma inicial, exhibiendo ligeras curvaturas.

1 Revisar Anexo 07. y 08. para gráficos de esfuerzo-deformación de probetas F2 y F3, respectivamente.

## 5.5. Resultado de ensayos de compresión de prototipos con piola











Tabla 07. Resultados de ensayos de compresión prototipo C4.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| C 4.1.1          | 70.80    | 20.15         | 4.98          | 392.49        | 180.39           | 1472.79          | 0.756          |    |
| C 4.1.2          | 93.70    | 20.20         | 5.23          | 433.95        | 215.92           | 1011.53          | 0.471          |    |
| C 4.1.3          | 69.10    | 20.30         | 4.95          | 390.66        | 176.88           | 745.46           | 0.387          |    |
| C 4.1.4          | 89.20    | 19.50         | 5.18          | 410.95        | 217.06           | 1277.92          | 0.606          |    |
| C 4.1.5          | 87.40    | 19.60         | 5.28          | 429.15        | 203.66           | 1146.00          | 0.523          |    |
| C 4.2.1          | 101.70   | 20.00         | 5.13          | 413.38        | 246.02           | 916.48           | 0.443          |    |
| C 4.2.2          | 106.30   | 19.80         | 5.25          | 428.62        | 248.00           | 1269.98          | 0.587          |   |
| C 4.2.3          | 98.30    | 19.80         | 4.75          | 350.87        | 280.16           | 716.85           | 0.405          |  |
| C 4.2.4          | 107.90   | 19.50         | 5.00          | 382.88        | 281.81           | 854.49           | 0.435          |  |
| C 4.2.5          | 97.80    | 19.85         | 4.98          | 386.64        | 252.95           | 1288.73          | 0.662          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.











Tabla 08. Resultados de ensayos de compresión prototipo C5.

| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| C 5.1.1          | 476.90   | 39.80         | 10.00         | 3125.88       | 152.56           | 3993.67          | 0.508          |    |
| C 5.1.2          | 539.50   | 40.00         | 9.93          | 3097.76       | 174.16           | 2661.07          | 0.344          |    |
| C 5.1.3          | 470.60   | 39.00         | 9.83          | 2959.79       | 159.00           | 2520.88          | 0.332          |    |
| C 5.1.4          | 539.50   | 39.60         | 10.53         | 3448.59       | 156.44           | 2231.92          | 0.256          |    |
| C 5.1.5          | 463.50   | 39.50         | 10.20         | 3227.66       | 143.60           | 5170.19          | 0.633          |    |
| C 5.2.1          | 554.60   | 39.75         | 10.50         | 3441.96       | 161.13           | 2091.41          | 0.242          |    |
| C 5.2.2          | 604.90   | 40.00         | 10.43         | 3417.58       | 177.00           | 3162.38          | 0.370          |   |
| C 5.2.3          | 564.80   | 40.35         | 10.48         | 3480.61       | 162.27           | 3210.70          | 0.372          |  |
| C 5.2.4          | 553.10   | 40.45         | 10.30         | 3370.41       | 164.10           | 2463.02          | 0.296          |  |
| C 5.2.5          | 565.10   | 40.00         | 10.45         | 3430.70       | 164.72           | 2840.04          | 0.331          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 09. Resultados de ensayos de compresión prototipo C6.











| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm³) | Densidad (kg/m³) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|---|
| C 6.1.1          | 1031.70  | 40.20         | 14.93         | 7037.78       | 146.59           | 4803.34          | 0.274          |    |
| C 6.1.2          | 1188.80  | 40.20         | 15.63         | 7713.19       | 154.13           | 4877.73          | 0.254          |    |
| C 6.1.3          | 1017.20  | 40.25         | 14.83         | 6952.45       | 146.31           | 5573.91          | 0.323          |    |
| C 6.1.4          | 895.10   | 40.00         | 14.13         | 6272.41       | 142.70           | 5022.37          | 0.320          |    |
| C 6.1.5          | 1059.10  | 40.35         | 14.78         | 6922.81       | 152.99           | 6163.28          | 0.359          |    |
| C 6.2.1          | 1117.50  | 40.35         | 15.05         | 7178.05       | 155.68           | 4538.85          | 0.255          |    |
| C 6.2.2          | 1029.00  | 41.00         | 14.90         | 7149.02       | 143.94           | 5470.91          | 0.314          |   |
| C 6.2.3          | 1122.90  | 40.35         | 15.10         | 7225.82       | 155.40           | 5210.88          | 0.291          |  |
| C 6.2.4          | 930.30   | 40.00         | 14.25         | 6379.40       | 145.83           | 4887.26          | 0.306          |  |
| C 6.2.5          | 1063.60  | 40.50         | 15.10         | 7252.68       | 146.65           | 5288.12          | 0.295          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## 5.6. Resultado de ensayos de compresión de prototipos con piola

Tabla 10. Resultados de ensayos de flexión prototipo F5.











| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|---|
| F 5.1.1          | 986.40   | 70.50         | 10.50         | 6104.605                   | 161.583                       | 373.52           | 0.493          |    |
| F 5.1.2          | 907.70   | 69.85         | 10.10         | 5596.275                   | 162.197                       | 375.11           | 0.556          |    |
| F 5.1.3          | 907.90   | 69.75         | 10.15         | 5643.729                   | 160.869                       | 327.75           | 0.479          |    |
| F 5.1.4          | 975.20   | 70.25         | 10.80         | 6435.521                   | 151.534                       | 349.36           | 0.424          |    |
| F 5.1.5          | 884.30   | 70.75         | 10.00         | 5556.692                   | 159.141                       | 398.95           | 0.610          |    |
| F 5.2.1          | 938.40   | 69.55         | 10.25         | 5738.980                   | 163.513                       | 316.94           | 0.450          |    |
| F 5.2.2          | 885.90   | 70.00         | 10.43         | 5980.762                   | 148.125                       | 246.05           | 0.331          |  |
| F 5.2.3          | 918.00   | 70.35         | 10.35         | 5918.814                   | 155.099                       | 298.50           | 0.411          |  |
| F 5.2.4          | 922.40   | 69.45         | 10.18         | 5652.723                   | 163.178                       | 279.11           | 0.404          |  |
| F 5.2.5          | 851.80   | 69.20         | 10.08         | 5522.262                   | 154.248                       | 311.53           | 0.465          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.



Tabla 11. Resultados de ensayos de flexión prototipo F6.

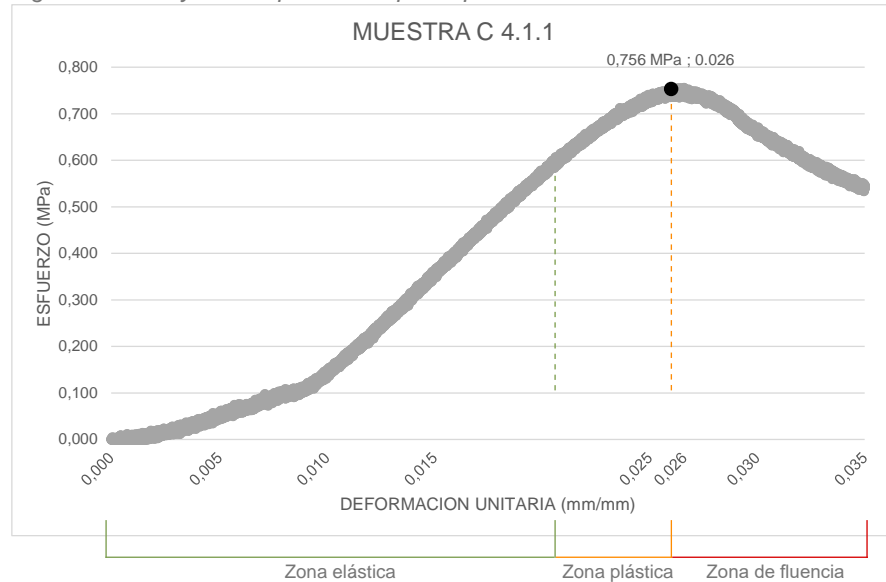
| Código Prototipo | Masa (g) | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga Máxima (N) | Esfuerzo (MPa) | Fotografía  |
|------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|---|
| F 6.1.1          | 1815.40  | 70.50         | 14.88         | 12259.842                  | 148.077                       | 648.18           | 0.301          |    |
| F 6.1.2          | 1649.00  | 70.10         | 14.38         | 11384.807                  | 144.842                       | 662.49           | 0.340          |    |
| F 6.1.3          | 1586.10  | 70.00         | 14.13         | 10976.711                  | 144.497                       | 653.27           | 0.354          |    |
| F 6.1.4          | 1260.50  | 69.45         | 13.63         | 10133.369                  | 124.391                       | 472.70           | 0.285          |    |
| F 6.1.5          | 1834.30  | 70.00         | 14.68         | 11847.863                  | 154.821                       | 754.04           | 0.364          |    |
| F 6.2.1          | 1436.60  | 70.10         | 14.28         | 11227.015                  | 127.959                       | 788.37           | 0.414          |    |
| F 6.2.2          | 1573.00  | 70.50         | 13.83         | 10590.668                  | 148.527                       | 543.91           | 0.314          |   |
| F 6.2.3          | 1195.90  | 69.75         | 13.68         | 10251.945                  | 116.651                       | 404.68           | 0.242          |  |
| F 6.2.4          | 1589.50  | 70.25         | 14.00         | 10814.147                  | 146.983                       | 542.96           | 0.302          |  |
| F 6.2.5          | 1548.50  | 70.50         | 14.83         | 12177.589                  | 127.160                       | 558.54           | 0.262          |  |

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

## Análisis de gráfico de ensayo a compresión de probetas con piola

Figura 38. Ensayo a compresión de prototipo C 4.1.1.



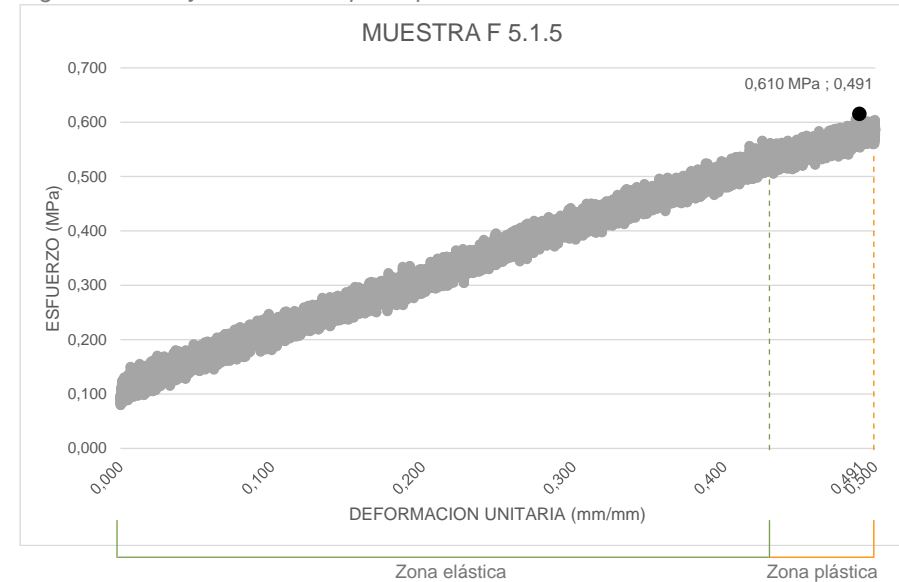
Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

En la representación gráfica de esfuerzo-deformación resultante de los ensayos a compresión con piola<sup>1</sup>, se evidencia, de manera análoga a las gráficas correspondientes a los rollos amarrados con bridas, una curva inicial cóncava hacia arriba en la fase inicial de la zona elástica. A medida que transcurre el tiempo del ensayo, la probeta experimenta una compresión progresiva, eliminando los espacios de aire inicialmente presentes en su estructura. Es notable destacar que al concluir el ensayo, las probetas exhiben una significativa capacidad de recuperación, retornando prácticamente a su forma inicial con deformaciones apenas perceptibles.

<sup>1</sup> Revisar Anexo 09. 10. y 11. para gráficos de esfuerzo-deformación de probetas C4, C5 y C6, respectivamente.

## Análisis de gráfico de ensayo a flexión de probetas con piola

Figura 39. Ensayo a flexión de prototipo F 5.1.5.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

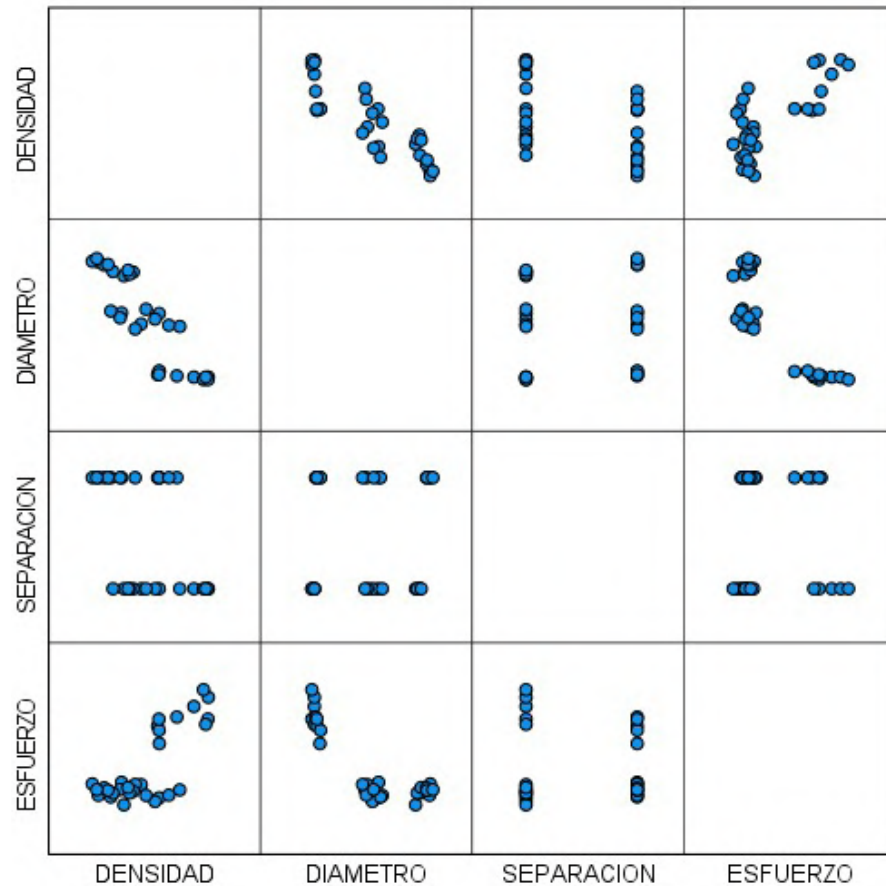
Los ensayos de flexión estática realizados en las probetas amarradas con piola<sup>1</sup> fueron comparables a los prototipos con bridas, dado que no se observó un punto de rotura, atribuible a la marcada flexibilidad del material. En consecuencia, se aplicaron los mismos criterios para concluir los ensayos, deteniéndolos al alcanzar una deformación equivalente al radio de las probetas. De manera similar a los resultados obtenidos en los ensayos de compresión, al finalizar el proceso, todas las probetas exhibieron una destacada capacidad de recuperación, manifestando ligeras curvaturas a lo largo de su longitud.

<sup>1</sup> Revisar Anexo 09 y 10 para gráficos de esfuerzo-deformación de probetas F5 y F6, respectivamente.

## 5.7. Análisis estadístico de variables en prototipos

### Análisis estadístico de probetas a compresión con bridas plásticas

Figura 40. Matriz de correlación de variables - compresión bridas.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 12. Análisis de regresión lineal - compresión bridas.

| Modelo      | Coeficientes no estandarizados |             | Coeficientes estandarizados | t      | Sig.         |
|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|--------|--------------|
|             | B                              | Desv. Error | Beta                        |        |              |
| (Constante) | 0.525                          | 1.228       |                             | 0.427  | 0.673        |
| Densidad    | 0.003                          | 0.005       | 0.231                       | 0.694  | 0.494        |
| Diámetro    | -0.062                         | 0.029       | -0.652                      | -2.183 | <b>0.038</b> |
| Separación  | 0.008                          | 0.015       | 0.086                       | 0.515  | 0.611        |

Variable Dependiente: Esfuerzo

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

El análisis estadístico realizado en IBM SPSS<sup>1</sup> consideró las variables de densidad, diámetro y separación. Por medio de un análisis visual simple la matriz de correlación<sup>2</sup> revela que las probetas con mayor densidad tienden a mostrar un esfuerzo superior, aunque al realizar el análisis de regresión lineal<sup>3</sup>, se determina que la densidad no posee un nivel significativo de influencia en el resultado.

En el cuadrante que relaciona el diámetro y el esfuerzo se observa que las probetas de menor diámetro tienden a mostrar un esfuerzo más alto. Esto sugiere que, para fabricar probetas de mayor diámetro, se requiere aplicar una fuerza de tensión superior en las bridas para obtener un mayor esfuerzo, y al observar la tabla se confirma que el diámetro es una variable decisiva en la obtención del esfuerzo con una relación inversamente proporcional.

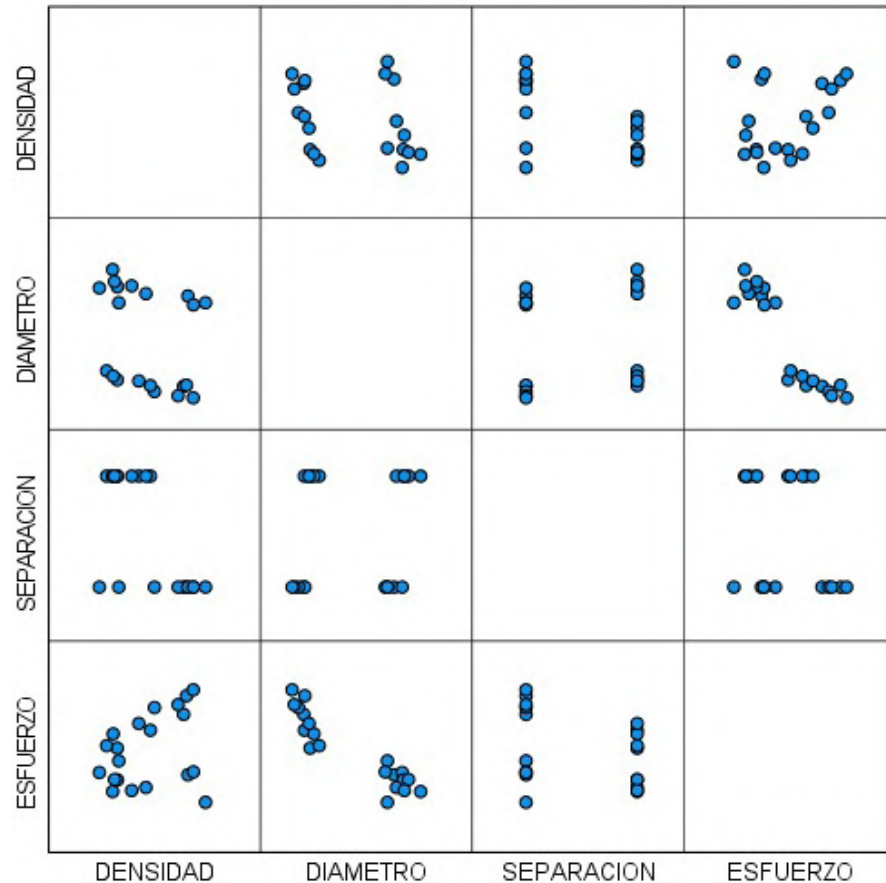
1 IBM® Cognos Analytics utiliza el nivel de significación 0,05. Este número significa que un resultado estadísticamente significativo tiene menos de un 5 % de probabilidad de que ocurra producto de la casualidad.

2 O correlación bivariada calcula las asociaciones por parejas para un conjunto de variables y muestra los resultados en una matriz.

3 Se utiliza para predecir el valor de una variable basándose en el valor de otra variable. La variable que desea predecir se denomina variable dependiente.

## Análisis estadístico de probetas a flexión con bridas plásticas

Figura 41. Matriz de correlación de variables - flexión bridas.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 13. Análisis de regresión lineal - flexión bridas.

| Modelo      | Coeficientes no estandarizados |             | Coeficientes estandarizados | t       | Sig.   |
|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|---------|--------|
|             | B                              | Desv. Error | Beta                        |         |        |
| (Constante) | 1.758                          | 0.297       |                             | 5.930   | <0.001 |
| Densidad    | -0.002                         | 0.002       | -0.121                      | -1.064  | 0.303  |
| Diámetro    | -0.067                         | 0.006       | -0.919                      | -10.681 | <0.001 |
| Separación  | -0.011                         | 0.005       | -0.256                      | -2.327  | 0.033  |

Variable Dependiente: Esfuerzo

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

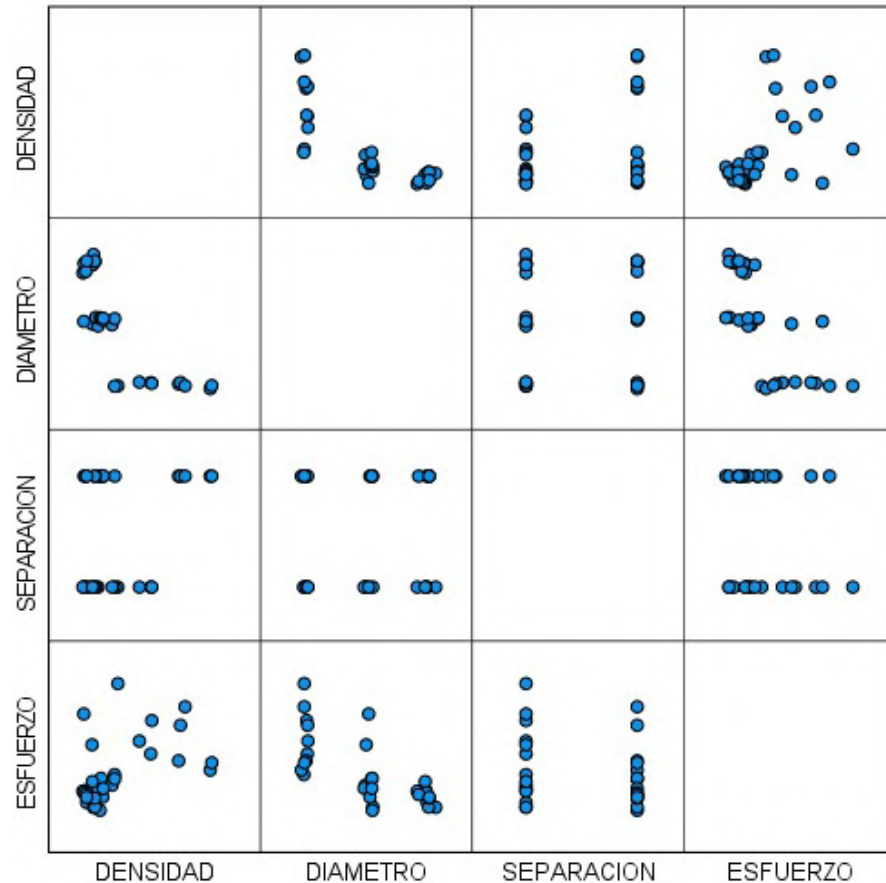
Al analizar la matriz de correlación de variables, se evidencia que en el cuadrante que involucra densidad y esfuerzo, no siempre se verifica que una mayor densidad conlleve a un esfuerzo elevado. Asimismo, al consultar la tabla de regresión lineal, se destaca que la densidad es la variable con el valor de significancia más alto, indicando su menor influencia en el resultado.

En cuanto al cuadrante relacionado con el diámetro y el esfuerzo, se percibe que las probetas de menor diámetro tienden a manifestar un mayor esfuerzo. Esto sugiere que, al fabricar probetas de mayor diámetro, se requiere mayor fuerza de tensión en las bridas para obtener un esfuerzo más elevado durante los ensayos. La tabla de regresión lineal confirma que el diámetro es la variable más determinante para lograr un esfuerzo más elevado.

Finalmente, respecto al cuadrante que relaciona la separación y el esfuerzo, se destaca que la mayoría de las probetas con una separación menor entre las bridas muestran esfuerzos superiores. Y la tabla correspondiente refleja que la separación es otra variable de notable influencia para alcanzar resultados más favorables.

## Análisis estadístico de probetas a compresión con piola

Figura 42. Matriz de correlación de variables - compresión piola.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 14. Análisis de regresión lineal - compresión piola.

| Modelo      | Coeficientes no estandarizados |             | Coeficientes estandarizados | t      | Sig.         |
|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|--------|--------------|
|             | B                              | Desv. Error | Beta                        |        |              |
| (Constante) | 0.771                          | 0.207       |                             | 3.727  | <0.001       |
| Densidad    | 0.000                          | 0.001       | -0.087                      | -0.329 | 0.744        |
| Diámetro    | -0.026                         | 0.008       | -0.772                      | -3.006 | <b>0.005</b> |
| Separación  | -0.005                         | 0.006       | -0.150                      | -0.964 | 0.344        |

Variable Dependiente: Esfuerzo

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

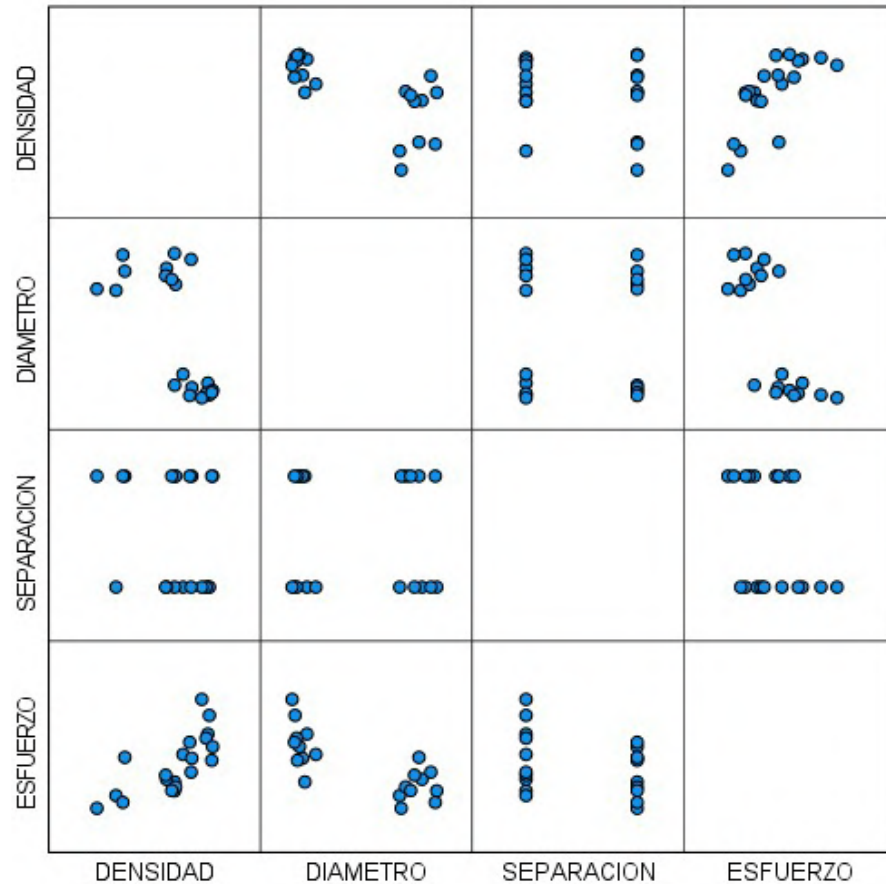
En el análisis del cuadrante que relaciona densidad y esfuerzo, se advierte que las probetas con mayor densidad no siempre manifiestan esfuerzos elevados. Esta observación se confirma al consultar la tabla de análisis, donde se constata que la densidad no desempeña un papel decisivo en la obtención de resultados más favorables.

En el cuadrante correspondiente a diámetro y esfuerzo, se nota que las probetas de menor diámetro tienden a mostrar esfuerzos más pronunciados. Esta tendencia es similar a la observada en las probetas con bridas, donde las probetas de diámetros superiores requieren una mayor tensión en la piola para compactar de mejor manera las fibras de totora. La tabla de regresión lineal confirma que el diámetro es la variable de mayor influencia para obtener esfuerzos con una relación inversamente proporcional.

Finalmente, en el cuadrante que vincula separación y esfuerzo, se percibe que la separación entre la piola de amarre no tiene una relevancia significativa en la mejora de la resistencia de las probetas, como se refleja en la tabla, donde su valor de significancia no es determinante para aumentar el esfuerzo a compresión.

## Análisis estadístico de probetas a flexión con piola

Figura 43. Matriz de correlación de variables - flexión piola.



Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.  
Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Tabla 15. Análisis de regresión lineal - flexión piola.

| Modelo      | Coeficientes no estandarizados |             | Coeficientes estandarizados | t      | Sig.         |
|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|--------|--------------|
|             | B                              | Desv. Error | Beta                        |        |              |
| (Constante) | 0.556                          | 0.309       |                             | 1.800  | 0.091        |
| Densidad    | 0.002                          | 0.001       | 0.250                       | 1.291  | 0.215        |
| Diámetro    | -0.028                         | 0.009       | -0.591                      | -3.121 | <b>0.007</b> |
| Separación  | -0.007                         | 0.004       | -0.282                      | -1.980 | 0.065        |

Variable Dependiente: Esfuerzo

Fuente: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

Elaboración: Granda-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2024.

En el análisis del cuadrante que relaciona la densidad y el esfuerzo en los ensayos de flexión, se observa que algunas probetas con mayor densidad logran obtener mejores resultados que aquellas con menor densidad. Sin embargo, esta tendencia no es constante, lo que se refleja en la tabla de regresión lineal, donde se evidencia que la variable de densidad no es la más influyente para asegurar que las probetas alcancen mayores esfuerzos.

En cuanto al cuadrante que aborda el diámetro y el esfuerzo, es evidente que las probetas con menor diámetro, asociadas además con una mayor densidad, son las que manifiestan un esfuerzo más elevado. Esto sugiere lo mismo que en análisis anteriores, los prototipos de diámetros mayores requieren mayor tensión de amarre. La tabla de regresión lineal confirma que el diámetro es la variable más determinante para lograr un esfuerzo más elevado.

Finalmente, en relación con el cuadrante que vincula la separación y el esfuerzo, se observa que ambas separaciones entre la piola de amarre pueden conducir a valores altos y bajos en el esfuerzo. Por lo tanto, esta variable no es tan determinante para mejorar los resultados, como se puede apreciar en la tabla de análisis.

# **CONCLUSIONES**



## Discusión

La utilización de la totora en Ecuador ha estado mayormente enfocada en ámbitos tradicionales, como la alimentación, medicina, agricultura, artesanía y mobiliario. Sin embargo, su potencial aún no ha sido completamente explorado, presentando oportunidades de desarrollo. En nuestro país, la totora es una fibra que puede ser cultivada en diversas regiones, y existen comunidades que poseen conocimientos especializados en su manejo.

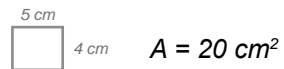
Dado que no se dispone de una norma técnica específica para la fibra en estudio, nuestro trabajo de investigación se basó en normativas existentes, como la ISO para madera y guadua. Estas normas proporcionaron pautas respecto al tamaño de las probetas y las velocidades utilizadas en los ensayos. Al realizar comparaciones con los esfuerzos admisibles de las normas mencionadas, es importante señalar que no se puede llevar a cabo una comparación directa debido a las diferencias inherentes entre estos materiales. No obstante, con los datos obtenidos, es posible deducir que la fabricación de una sección de madera y una sección de totora puede resistir una carga similar, ya sea mediante una sección mayor o una geometría diferente. Para ejemplificar lo mencionado, se saca un promedio de las probetas C2 y lo compararemos con la carga admisible de la madera estructural tipo C.

Madera Tipo C  $\sigma = 8 \text{ MPa}$

Probetas C2  $\sigma = 0,291 \text{ MPa}$

Madera Tipo C  $\sigma = 81,6 \text{ Kgf/cm}^2$

Probetas C2  $\sigma = 2,96 \text{ Kgf/cm}^2$



$$A = 20 \text{ cm}^2$$

$$P = 81,6 \text{ Kgf/cm}^2 \times 20 \text{ cm}^2$$

$$P = 1632 \text{ Kgf}$$

$$A = \frac{1632 \text{ Kgf}}{2,96 \text{ Kgf/cm}^2}$$

$$A = 551,35 \text{ cm}^2$$

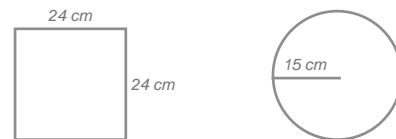
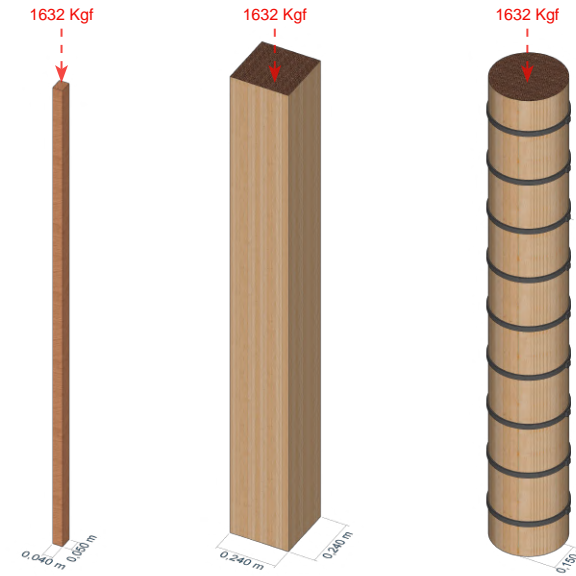


Figura 44. Ejemplificación de columna de madera y totora.



Fuente: Nature Iraq.

Elaboración: Nature Iraq.

El ejemplo teórico expone la limitada capacidad de carga a compresión de los elementos de totora, lo cual señala una importante restricción en su utilidad para aplicaciones estructurales. Esto se debe a las dimensiones amplias que requeriría una columna fabricada con este material, junto con la baja resistencia a la compresión observada en los prototipos a medida que aumenta su diámetro, resultando en una menor densidad en las columnas. Por consiguiente, para futuras investigaciones, se sugiere la exploración de materiales o métodos de unión que permitan la creación de elementos de totora más compactos. Además se pueden añadir elementos aglutinantes o materiales complementarios que permitan el aumento de la capacidad portante de la totora. Es relevante mencionar que, a pesar de esta limitación, la comunidad Mudhif ha empleado durante siglos la unión de juncos gigantes en secciones amplias en sus construcciones para soportar diversas cargas.



Figura 45. Casa Mudhif, sur de Irak.



Fuente: Nature Iraq.

Elaboración: Nature Iraq.

A pesar de lo antes mencionado, la confección de rollos amarrados de totora, ya sea mediante el uso de bridas plásticas o empleando un componente natural como la piola, con el propósito de su incorporación en diversos procesos constructivos, se presenta como una alternativa con posibles ventajas. Desde la perspectiva de la utilización más eficiente de nuestros recursos y la adopción de materiales respetuosos con el medio ambiente, esta opción destaca. Además, su aplicación requiere de pocos recursos tecnológicos, evidenciando así su potencial en contextos donde la totora es abundante y los recursos tecnológicos son limitados, una realidad que se observa en algunas comunidades de nuestro país.

Para destacar las ventajas potenciales de este material y sus aplicaciones tecnológicas, es imperativo llevar a cabo una mayor cantidad de estudios y ensayos. Estos deben abarcar la evaluación de diversas variables, tales como distintas tensiones de amarre, materiales que posibiliten una mayor fuerza de sujeción, variaciones en diámetros, entre otros aspectos relevantes. La investigación sobre las posibilidades constructivas de la totora constituye un campo con un considerable potencial en términos de

beneficios medioambientales, económicos y sociales en el Ecuador, pudiendo extrapolarse a otros contextos similares.

La totora, como fibra natural que aún no ha sido exhaustivamente explorada, ofrece diversas posibilidades para futuras investigaciones. Entre estas posibilidades se encuentran el uso de esta fibra en elementos estructurales, la continuación de la investigación de elementos que puedan integrarse en procesos constructivos y su empleo como material complementario en la innovación de la fabricación de materiales consolidados, como el hormigón. Este documento también servirá como guía para futuros trabajos de investigación, en los que se considerarán otras variables para obtener resultados óptimos y contribuir a su aplicación en elementos constructivos innovadores.

## Conclusiones

1. En nuestra investigación, se constituyeron dos grupos primarios de probetas sujetas mediante métodos mecánicos, específicamente mediante bridas plásticas y piola. Estas alternativas se distinguen por su demanda mínima de recursos tecnológicos, evidenciando la viabilidad de emplear otros materiales que sigan el mismo principio y que puedan facilitar su reproducción en comunidades donde ya se posea habilidad en el manejo de la totora.
2. Se consideraron variables de estudio el diámetro, la separación entre amarres y la densidad, con las que se pudo determinar a través del análisis estadístico que el diámetro influye significativamente en la obtención de mayores esfuerzos, lo que se traduce en resultados más favorables. Asimismo se observó que a medida que aumenta el diámetro, la densidad del elemento disminuye, lo que sugiere la necesidad de aplicar una mayor fuerza de amarre o utilizar un material que compacten mejor las fibras para fabricar probetas de mayor diámetro.
3. Tras realizar los ensayos físico-mecánicos de las probetas con bridas plásticas, se determinó que aquellas con un diámetro de 5 cm exhibieron mejores resultados en el esfuerzo admisible bajo compresión, mostrando una relación inversamente proporcional. Asimismo, en los ensayos de flexión, se observó que los prototipos con un diámetro de 10 cm

obtuvieron mejores resultados.

Los resultados de los ensayos de compresión de las probetas con piola reflejaron una tendencia similar, donde las de menor diámetro obtuvieron mejores resultados en términos de esfuerzo. Igualmente, en los ensayos de flexión, los prototipos de menor diámetro exhibieron un desempeño superior, aunque esta mejora no fue tan evidente como en las probetas con bridas plásticas.

En conclusión, los resultados evidencian que las probetas con bridas plásticas tienden a ofrecer mejores resultados que las fabricadas con piola. No obstante, es importante destacar que no se puede realizar una comparación precisa debido a las diferencias en la fuerza aplicada durante los amarres y en el tipo de amarre utilizado.

## **Recomendaciones**

- Buscar nuevas o la mayor cantidad de variables de estudio para la fabricación de rollos amarrados de totora para determinar cuales tienen mayor incidencia.
- Buscar nuevos materiales para aplicar una mayor tensión de amarre, ya que los utilizados en este estudio no permitieron una fuerza mayor a la aplicada, ya sea por el daño causado a las fibras o por la rotura de estos elementos.
- Añadir elementos aglutinantes o materiales complementarios que permitan el aumento de la capacidad portante de la totora.

## Referencias

- American Society for Testing and Materials. (2023). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* (ASTM D143)
- Chávez-Sifontes, M. & Domine, M. (2013). *Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. Vol.4, Núm. 4, 15 - 46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. (2020). *Fibras naturales*. Biodiversidad mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>
- Cuascota, C. (2020). *Las infracciones y sanciones administrativas forestales del Código Orgánico del Ambiente*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22233/1/T-UCE-0013-JUR-287.pdf>
- González, E. (2020). *Revalorización de la totora como material de construcción*. (Tesis de maestría). UPC Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2117/179406>
- Hidalgo, J. (2007). *Aprovechamiento de la totora como material de construcción*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6180>
- Hidalgo, P., Hidalgo, J., & Navarro, J. (2019). *Estudio del comportamiento físico-mecánico de rollos de totora amarrados: influencia de la tensión de amarre, diámetro y longitud*. *DAYA, diseño, arte y arquitectura*. Número 6, 53 - 84. <https://doi.org/10.33324/daya.vi6.219>
- IBM Documentation. (2023). *Correlaciones bivariadas*. Ibm.com. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/29.0.0?topic=edition-bivariate-correlations>
- IBM Documentation. (2024). *¿Qué es la regresión lineal?*. <https://www.ibm.com/es-es/topics/linear-regression#:~:text=Recursos>
- Instron. (s.f.). *¿En qué consiste un ensayo de compresión?*. Instron.com. <https://www.instron.com/es-es/resources/test-types/compression-test>
- Instron. (s.f.). *Ensayo de flexión*. Instron.com. <https://www.instron.com/es-es/resources/test-types/flexural-testing>
- IBM Documentation. (2024). *Nivel de significación*. Ibm.com. <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/12.0.0?topic=terms-significance-value>
- Norma Técnica Colombiana. (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth* (NTC 5525). *Propiedades Físico Mecánicas Bambú NTC 5525 – CONSTRUCCIONES UCE* (wordpress.com)
- Norma técnica ecuatoriana. (2013). *Maderas - métodos de muestreo y requisitos generales para ensayos físicos y mecánicos de especímenes de madera clara* (NTE INEN-ISO-3129-2013)
- Ordóñez, P. (2018). *Compuesto de cemento reforzado con fibras de totora*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21967>
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 3: Determination of ultimate strength in static bending* (ISO 13061-3-2014)
- Organización Internacional de Normalización. (2017). *Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain* (ISO 13061-17-2017)

- Pérez, J. & Gardey, A. (2023). *Dinamómetro - Qué es, características, usos y clasificación*. definicion.de. <https://definicion.de/dinamometro/>
- Química. (s.f.). *Celulosa*. Quimica.es. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Celulosa.html>
- Sánchez, P. (2020). *Fibras vegetales de totora y cabuya y su aplicación en espacios interiores de viviendas sociales de la Parroquia Totoras*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31195>
- Valor, J. (2022). *Arquitectura, Industria y emergencia ambiental*. Fuariens. VI Edición, 7 - 13. <http://hdl.handle.net/2117/365097>
- Zambrano, M. (2018) *Totora: Análisis de su comportamiento como material en la construcción para futuras aplicaciones*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1750>

## Anexos

### Anexo 01. NTE INEN-ISO-3129-2013



Quito - Ecuador

#### NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 3129:2013

NÚMERO DE REFERENCIA ISO 3129:2012 (E)

#### MADERAS - MÉTODOS DE MUESTREO Y REQUISITOS GENERALES PARA ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE ESPECÍMENES DE MADERA CLARA

Segunda Edición

WOOD - SAMPLING METHODS AND GENERAL REQUIREMENTS FOR PHYSICAL AND MECHANICAL TESTING OF SMALL CLEAR WOOD SPECIMENS.

Second Edition

DESCRIPTORES: Madera, métodos de muestreo, ensayo, físico, mecánico.  
ICS: 79.020

ICS: 79.020



| Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria  | MADERAS - MÉTODOS DE MUESTREO Y REQUISITOS GENERALES PARA ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE ESPECÍMENES DE MADERA CLARA | NTE INEN-ISO 3129:2013 2013-06 |
|---|--|--------------------------------|
| <p><b>1 Alcance</b></p> <p>1.1 Esta Norma nacional establece el procedimiento a seguir para el muestreo selectivo y sistemático de la madera, para las condiciones de selección del material y para la preparación de las piezas de madera. Asimismo, especifica los requisitos generales para los ensayos físicos y mecánicos en pequeñas piezas de ensayo libres de defectos visibles. Las directrices de muestreo proporcionadas por esta norma pueden ser aplicadas para madera tomada de árboles, troncos o bien trozas o piezas de madera aserrada para aplicaciones no estructurales, tales como muebles, ventanas, puertas, etc., solamente.</p> <p><b>2 Normas de referencia</b></p> <p>Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).</p> <p>ISO 3130. <i>Madera. Determinación del contenido de humedad para el ensayo físico y mecánico.</i></p> <p>ISO 3131. <i>Madera. Determinación de la densidad para ensayos físicos y mecánicos.</i></p> <p>ISO 3132. <i>Madera. Pruebas de compresión perpendicular a la fibra.</i></p> <p>ISO 3133. <i>Madera. Determinación de la resistencia a la rotura en flexión estática.</i></p> <p>ISO 3345. <i>Madera. Determinación de la resistencia final a la tracción paralela al grano.</i></p> <p>ISO 3346. <i>Madera. Determinación de la resistencia final a la tracción perpendicular al grano</i></p> <p>ISO 3348. <i>Madera. Determinación de la resistencia al impacto de flexión</i></p> <p>ISO 3349. <i>Madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión estática</i></p> <p>ISO 3350. <i>Madera. Determinación de la dureza estática.</i></p> <p>ISO 3351. <i>Madera. Determinación de la resistencia al impacto de penetración.</i></p> <p>ISO 4469. <i>Madera. Determinación de la contracción radial y tangencial.</i></p> <p>ISO 4858. <i>Madera. Determinación de la contracción volumétrica.</i></p> <p>ISO 4859. <i>Madera. Determinación del hinchamiento radial y tangencial</i></p> <p>ISO 4860. <i>Madera. Determinación volumétrica de hinchazón</i></p> <p>ISO 8905. <i>Madera aserrada. Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la rotura de cizallamiento paralelo al grano.</i></p> <p>ISO 24294. <i>Madera aserrada y redonda. Vocabulario</i></p> <p>EN 1534. <i>Pisos madera. Determinación de la resistencia a la penetración. Método de ensayo.</i></p> |  |                                |

-1-

2013-496

## Anexo 02. NTC-5525 -2007

### NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525

2007-09-26

#### MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH*



E: TEST METHODS FOR THE DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH*.

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción modificada (MOD) de la norma ISO 22157-1:2004.

DESCRIPTORES: métodos de ensayo; control de calidad; propiedades físicas - mecánicas; bambú, guadua, *angustifolia Kunth*.

I.C.S.: 91.100.99

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888 - Fax (571) 2221435

Prohibida su reproducción

Editada 2007-10-12

### NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525



Figura 2. Capa intermedia

#### 9.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

9.4.1 Las probetas se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo. Estas probetas se deben marcar con las letras I, M y S respectivamente.

9.4.2 Los ensayos de compresión axial se deben llevar a cabo en probetas sin nudos y cuya longitud sea igual al diámetro externo; no obstante, si éste es de 20 mm o menos, la altura debe ser el doble del diámetro externo. Estas limitaciones son válidas en el caso de ensayos con propósitos comerciales; en el caso de los ensayos para investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

9.4.3 Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo perfectamente recto con la longitud de ésta; deben ser planos, con una desviación máxima de 0,2 mm.

9.4.4 Para determinar el módulo de elasticidad E, se debe usar alguno de los siguientes instrumentos de medición: deformímetros eléctricos, mecánicos, electromecánicos, de imagen digital, mínimo dos por probeta, cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta.

#### 9.5 PROCEDIMIENTO

9.5.1 La probeta se debe colocar de tal forma que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1 kN, para acomodar la probeta.

9.5.2 La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.

9.5.3 Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo más exacto posible de la deformación frente a la carga, a partir de la cual se determina el valor de E.

9.5.4 Se debe registrar la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

## Anexo 03. ASTM D143-2014



Designation: D143 – 14

### Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D143; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

#### INTRODUCTION

The need to classify wood species by evaluating the physical and mechanical properties of small clear specimens has always existed. Because of the great variety of species, variability of the material, continually changing conditions of supply, many factors affecting test results, and ease of comparing variables, the need will undoubtedly continue to exist.

In the preparation of these methods for testing small clear specimens, consideration was given both to the desirability of adopting test methods that would yield results comparable to those already available and to the possibility of embodying such improvements as experience has shown desirable. In view of the many thousands of tests made under a single comprehensive plan by the U.S. Forest Service, the former Forest Products Laboratories of Canada (now FP Innovations), and other similar organizations, these test methods naturally conform closely to the methods used by those institutions. These test methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these test methods will tend toward a world-wide unification of results, permitting an interchange and correlation of data, and establishing the basis for a cumulative body of fundamental information on the timber species of the world.

Descriptions of some of the strength tests refer to primary methods and secondary methods. Primary methods provide for specimens of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) cross section. This size of specimen has been extensively used for the evaluation of various mechanical and physical properties of different species of wood, and a large number of data based on this primary method have been obtained and published.

The 2 by 2-in. (50 by 50-mm) size has the advantage in that it embraces a number of growth rings, is less influenced by earlywood and latewood differences than smaller size specimens, and is large enough to represent a considerable portion of the sampled material. It is advisable to use primary method specimens wherever possible. There are circumstances, however, when it is difficult or impossible to obtain clear specimens of 2 by 2-in. cross section having the required 30 in. (760 mm) length for static bending tests. With the increasing incidence of smaller second growth trees, and the desirability in certain situations to evaluate a material which is too small to provide a 2 by 2-in. cross section, a secondary method which utilizes a 1 by 1-in. (25 by 25-mm) cross section has been included. This cross section is established for compression parallel to grain and static bending tests, while the 2 by 2-in. cross section is retained for impact bending, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain, cleavage, and tension perpendicular to grain. Toughness and tension parallel to grain are special tests using specimens of smaller cross section.

The user is cautioned that test results between two different sizes of specimens are not necessarily directly comparable. Guidance on the effect of specimen size on a property being evaluated is beyond the scope of these test methods and should be sought elsewhere.

Where the application, measurement, or recording of load and deflection can be accomplished using electronic equipment and computerized apparatus, such devices are encouraged, providing they do not lower the standard of accuracy and reliability available with basic mechanical equipment.

D143 – 14

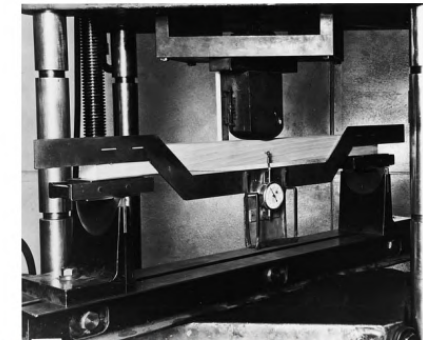


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Test Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Test Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Displacement Measurement Device

NOTE 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Test Methods D3043.

8.3 **Bearing Block**—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for primary method specimens. A block having a radius of 1½ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

8.4 **Placement of Growth Rings**—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

8.5 **Speed of Testing**—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3), for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 **Load-Deflection Curves**

8.6.1 At a minimum, the load-deflection curves shall be recorded and the test continued up to the maximum load for all static bending tests. If required for the purposes of the study, it shall be permitted to continue both loading and the load-deflection measurement beyond the maximum load.

NOTE 3—One situation where the user may choose to continue the test and the load-deflection measurements beyond the maximum load is if the total energy under the flexural load-deflection curve is a parameter of concern. In these instances for primary method specimens, it has been customary to continue the test and record the load-deflection curve beyond the maximum load to a 6 in. (152 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N). For secondary method specimens, it has been customary to continue loading to a 3 in. (76 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (222 N).

8.6.2 Deflections of the neutral plane at the center of the length shall be taken with respect to points in the neutral plane above the supports. Alternatively, deflection may be taken relative to the tension surface at midspan. However, take care to ensure that vertical displacements which may occur at the reactions are accounted for.

8.6.3 Within the proportional limit, deflection readings shall be taken with a yoke-mounted displacement measurement device capable of at least a Class B rating when evaluated in accordance with Practice E2309. After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections. It shall be permissible to continue the deflection measurement beyond the proportional limit using an alternative means of deflection measurement capable of at least a Class C rating when evaluated in accordance with Practice E2309. At a

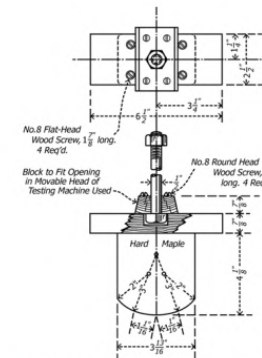


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests