



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DEL TEJIDO MÚLTIPLE DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS)”**

AUTOR: LUIS OMAR RODRÍGUEZ BENALCÁZAR

DIRECTOR: ING. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRÍA, MSc

Ibarra, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	1004828081
APELLIDOS Y NOMBRES	RODRÍGUEZ BENALCÁZAR LUIS OMAR
DIRECCIÓN	Otavalo, Urb. María José
E-MAIL	lorodriguez@utn.edu.ec / luisrodriguezob@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL / FIJO	0993410945 / 062930590
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TEJIDO MÚLTIPLE DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS)”
AUTOR	RODRÍGUEZ BENALCÁZAR LUIS OMAR
FECHA	03/07/2019
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR / DIRECTOR	ING. COSME MEJÍA ECHEVERRÍA, MSc

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de julio de 2019

El autor:

Firma: 


Nombre: Luis Omar Rodríguez Benalcázar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Certifico que el trabajo de grado titulado “CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TEJIDO MÚLTIPLE DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS)”, ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Luis Omar Rodríguez Benalcázar portador de la cédula de identidad número: 100482808-1; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.


Ing. Cosme Mejía Echeverría, Msc.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A mis padres Luis y María Elena quienes me han brindado todo su apoyo desde que inicie este camino, los esfuerzos que hicieron por mí hoy dan sus frutos, sin ustedes nada de esto sería posible. ¡Lo hemos logrado!

A mi hermana Mary y su esposo Christian a quienes considero mis segundos padres, gracias por la ayuda incondicional en cada momento de mi vida.

A mi hermana Nadia y su esposo Fernando quienes han sido mis confidentes y mis mejores amigos a lo largo de estos años, les agradezco por confiar en mí.

A Viviana quien creció junto a mí y me enseñó lo importante de tener una hermana menor, gracias por las locuras, las risas y apoyo. Vamos por las metas que nos propusimos.

A mis primos Bryan, Jazmín y Damaris quienes de una u otra forma me han ayudado a cumplir esta meta, gracias muchachos.

A mi director de tesis Ing. Cosme Mejía por su ayuda y colaboración a lo largo de este proceso, quien aparte de ser un excelente profesional es una persona ejemplar. A mis codirectores Ing. David Ojeda y Ing. Fernando Valencia quienes se caracterizan por ser excelentes personas, gracias por brindarme su ayuda.

A mis amigos Carlitos, Payul, Andrés, Giss, Diego T. y Leandro quienes empezaron conmigo en este proceso, los trabajos, las preocupaciones, y las risas nunca nos faltaron. A Joel, Andrés M, Diego R. y Christian, amigos que siempre me han brindado una mano. Y a todos los nuevos amigos que he conocido a lo largo de mi carrera, Gracias.

A mis abuelitos, tíos y primos por sus muestras de cariño, fueron de gran utilidad en toda esta trayectoria.

Luis.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi princesa Angie Plaza y mi príncipe Alexander Cadena como una muestra de que las metas si se pueden cumplir, con esfuerzo y dedicación todo es posible. Espero que este trabajo sirva de inspiración para conseguir sus objetivos en la vida, siempre podrán contar conmigo. Los quiero con mi vida.

Su tío, Luis.

RESUMEN

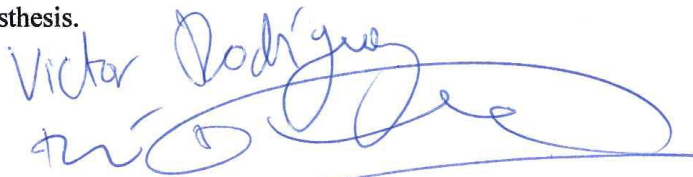
En el Ecuador, la totora (*Schoenoplectus californicus*) es usada para la elaboración de todo tipo de elementos estructurales como techos, casas, balsas y muebles fabricados de forma manual. No se cuenta con las propiedades mecánicas de los tejidos utilizados, por lo tanto, no se ha podido utilizar este material en otras aplicaciones de ingeniería como en prótesis para miembros inferiores. En la presente investigación se realiza un levantamiento de información de los principales tejidos de totora, se clasifican y se obtiene tres tipos de tejidos resistentes a tensión y uno a compresión. Adaptando las normas ASTM D4761-02 para el tejido resistente a compresión y la norma ISO 13934-2 para los tejidos resistentes a tensión, se realizan los ensayos para obtener las curvas Esfuerzo-Deformación. Los resultados obtenidos a tensión del tejido TC_24 es un módulo de elasticidad de $1299,21 \pm 313,28$ MPa, del tejido TC_12 es un módulo de elasticidad de $1224,92 \pm 405,47$ MPa y del tejido TS_22 es un módulo de elasticidad de $987,76 \pm 26,11$ MPa. Del tejido a compresión TE, se obtiene un módulo de elasticidad de $37,274 \pm 10,51$ MPa, mucho mayor a la fibra sola. Aunque, las propiedades de los tejidos presentan un incremento en sus resultados, siguen siendo bajos para ser usados como alternativa de material para prótesis, necesitan de una matriz para incrementar sus valores.

Palabras claves: *Schoenoplectus californicus*, tejido, caracterización, compresión, tensión, prótesis.

ABSTRACT

In Ecuador, the Totora (*Schoenoplectus californicus*) is used for the elaboration of all types of structural elements such as roofs, houses, rafts and furniture manufactured manually. The mechanical properties of the Totora woven are not available, therefore, it has not been possible to use this material in other engineering applications such as creation of prostheses for lower limbs. In this research an information survey of the main Totora woven is carried out, classifying it and obtaining three types of tension resistant woven and one compression type. Adapting the ASTM D4761-02 standards for the compression resistant woven and the ISO 13934-2 standard for the tension resistant woven, the tests were carried out to obtain the stress-strain curves. The results obtained with tension of the TC_24 fabrics is a modulus of elasticity of $1299,21 \pm 31328$ MPa, the woven TC_12 is a modulus of elasticity of $1224,92 \pm 405,47$ MPa and the tissue TS_22 is a modulus of elasticity of $987,76 \pm 26,11$ MPa. From the TE compression fabric, a modulus of elasticity of $37,274 \pm 10,51$ MPa is obtained, which is greater than the fiber alone. Although in the results, the woven properties have increased, these are still low to be used as an alternative material for prostheses, a matrix to increase their values is necessary.

Keywords: *Schoenoplectus californicus*, woven, characterization, compression, tension, prosthesis.

Victor Rodríguez




ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
2. CONSTANCIAS.....	iii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
Capítulo 1.....	1
Introducción	1
1.1. Problema	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Alcance	3
1.4. Justificación	4
Capítulo 2.....	5

Marco referencial	5
2.1. Marco teórico	5
2.1.1. Schoenoplectus californicus.....	5
2.1.2. Hábitat y morfología de la totora	6
2.1.2. Principales ubicaciones de crecimiento de totora	6
2.1.3. Importancia ecológica y económica de la totora.....	8
2.1.4. Propiedades Físicas y Mecánicas	9
2.1.5. Tipos de tejidos mixtos	10
2.2. Resina.....	14
2.3. Norma ASTM D4761-02a	15
2.4. Norma ISO 13934-2.....	15
2.5. Estado del arte.....	16
Capítulo 3.....	17
Metodología	17
3.1. Proceso de selección de tejido de totora	17
3.2. Descripción de norma	17
3.3. Tejido mixto de totora (Tensión)	18
3.3.1. Textura de tejido simple(TS)	18
3.3.2. Textura de tejido simple con torsión(TST)	20
3.3.3. Textura de tejido compuesto(TC)	21
3.4. Tejido mixto de totora (compresión)	22

3.5. Selección de tejido mixto.....	22
3.6. Elaboración probetas de tejido mixto	23
3.6.1. Probetas de tejido mixto a tensión	24
3.6.2. Probetas de tejido mixto a compresión	27
3.7. Ensayos mecánicos	28
3.8. Tipo de fractura.....	29
Capítulo 4.....	33
Resultados	33
4.1. Resultados prueba de Tensión	33
4.2. Resultados prueba de compresión.....	37
Capítulo 5.....	39
Conclusiones y recomendaciones	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones	40
Bibliografía	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación científica de la totora.....	6
Tabla 2. Morfología de la totora (Schoenoplectus californicus).....	7
Tabla 3. Propiedades Físicas de la totora (Schoenoplectus californicus)	9
Tabla 4. Propiedades Mecánicas de la totora (Schoenoplectus californicus)	10
Tabla 5. Materias primas para la obtención de resinas	14
Tabla 6. ASTM D4761-02a tensión.....	17
Tabla 7. ASTM D4761-02a compresión.....	18
Tabla 8. ISO 13934-2: 2014.....	18
Tabla 9. Escala para factor de rango	22
Tabla 10. Tabla de ponderaciones.....	23
Tabla 11. Esfuerzo y deformación promedio del tejido TC_24.....	35
Tabla 12. Esfuerzo y deformación promedio del tejido TC_12.....	36
Tabla 13. Esfuerzo y deformación promedio del tejido TS_22	36
Tabla 14. Comparación entre los diferentes tipos de tejidos	37
Tabla 15. Esfuerzo-Deformación unitaria promedio tejido TE	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Principales ubicaciones de crecimiento de totora [9].	6
Figura 2.2. Tallo de totora [14].	8
Figura 2.3. Técnica 1 de tejido mixto [10].	10
Figura 2.4. Técnica 2 de tejido mixto [10].	11
Figura 2.5. Técnica 3 de tejido mixto [10].	12
Figura 2.6. Técnica 4 de tejido mixto [10].	12
Figura 2.7. Técnica 5 de tejido mixto [10].	13
Figura 2.8. Técnica 6 de tejido mixto [10].	14
Figura 3.1. Tejido simple 1 a 1 (TS_11).	19
Figura 3.2. Tejido simple 2 a 2 (TS_22).	19
Figura 3.3. Tejido simple 3 a 3 (TS_33).	19
Figura 3.4. Tejido simple con torsión 1 a 1 (TST_11).	20
Figura 3.5. Tejido simple con torsión 2 a 1 (TS_21).	20
Figura 3.6. Tejido compuesto (TC_12).	21
Figura 3.7. Tejido compuesto (TC_24).	21
Figura 3.8. Tejido encordado (TE).	22
Figura 3.9. Totora seca sin manchas ni alteraciones.	23
Figura 3.10. Probeta de tejido con remate (TS_22).	24
Figura 3.11. Probetas codificadas (TS_22).	25

Figura 3.12. Probeta de tejido con remate (TC_12)	25
Figura 3.13. Probetas codificadas (TC_12)	26
Figura 3.14. Probeta de tejido con remate (TC_24)	26
Figura 3.15. Probetas codificadas (TC_24)	27
Figura 3.16. Probeta de tejido con remate (TE).....	27
Figura 3.17. Probetas codificadas (TE).....	28
Figura 3.18. Máquina de ensayos universal James Heal (UTN).....	28
Figura 3.19. Probeta lista para prueba coloca en mordazas T27.....	29
Figura 3.20. Máquina de ensayos universal marca MTS (ESPE).....	29
Figura 3.21. Fracturas en probeta TC_12	30
Figura 3.22. Fracturas en probeta TC_24	30
Figura 3.23. Fracturas en probeta TS_22.....	31
Figura 3.24. Fracturas en probeta TE.....	31
Figura 4.1. Curva promedio esfuerzo-deformación TC_ 24	34
Figura 4.2. Curva promedio esfuerzo-deformación TC_ 12	34
Figura 4.3. Curva promedio esfuerzo-deformación TS_22	35
Figura 4.4. Curva promedio esfuerzo-deformación TE.....	38

Capítulo 1

Introducción

1.1. Problema

El ser humano, a lo largo de la historia, ha ido descubriendo y desarrollando nuevos materiales con funciones avanzadas o materiales convencionales con propiedades mejoradas de manera significativa. Los mismos son utilizados, especialmente, en industrias manufactureras quienes se encargan de construir diferentes elementos aplicados en la actualidad. Elegir el material adecuado en cada aplicación conlleva a investigaciones muy profundas donde se caracteriza experimentalmente para obtener las propiedades físicas, mecánicas, químicas y ecológicas [1] [2].

Raramente, se encuentran materiales en estado de pureza como para ser empleados industrialmente, pero con frecuencia se encuentran combinados con otros elementos de distinta composición. Para obtener el material final se debe realizar una serie de etapas como; trituración, lavado, calcinación, fusión y afinación, esto genera costos muy altos por el uso de maquinaria pesada, y contaminación del agua que es esencial en estos procesos, generando gran contaminación ambiental [3].

Los materiales compuestos tienen la característica de tener dos componentes fundamentales: las fibras de diferentes estructuras y formas; que permiten mejorar las propiedades mecánicas del material y la matriz; que es la base sobre la que se forma el nuevo material que puede ser un polímero o un cerámico, otorgando al compuesto ductilidad y tenacidad. También, transmite los esfuerzos inducidos a los refuerzos para que estos soporten la mayor parte de la fuerza aplicada. Sus principales aplicaciones son en la construcción industrial, automoción, utillaje industrial y elementos deportivos [2] [4].

Las fibras inorgánicas y sintéticas son las más utilizadas para la construcción de materiales compuestos. Unos ejemplos son: la fibra de vidrio; que ofrece excelente resistencia mecánica específica, resistencia al ataque de agentes químicos, buenas propiedades como aislante térmico, entre otras. La fibra de carbono que presenta elevada resistencia y rigidez, alta resistencia a la vibración, buen comportamiento a la fatiga, buena conductividad térmica, además de ser muy liviana. Las fibras aramídicas y su alta resistencia a la tracción, excelente resistencia al impacto, buena resistencia a la fatiga y elevada resistencia térmica [5].

Las fibras naturales son extraídas de plantas como la cabuya, abacá, ceibo, palmas, paja toquilla, algodón, seda, bambú, caucho, entre otras y se encuentran en los troncos, las hojas y las raíces. Estas fibras se han venido utilizando en los últimos años ofreciendo grandes ventajas ya que son plenamente reciclables, pero que no han sido aprovechadas al máximo porque se desconoce sus propiedades mecánicas [6].

El interés actual en utilizar fibras naturales como refuerzo se debe a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente, además, existe un gran interés en la búsqueda de fibras naturales que puedan reemplazar adecuadamente a las fibras sintéticas, para la obtención de materiales compuestos altamente competitivos [7].

En el Ecuador, es muy común la existencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*), que actualmente es usada para la elaboración de todo tipo de artesanías, elementos estructurales como techos, casas, balsas y muebles fabricados de forma manual en las orillas del lago San Pablo, en la provincia de Imbabura [2][8].

En el país, los materiales existentes para la elaboración de prótesis son muy costosos ya que son importados; por lo tanto, se hace casi imposible abaratar los costos de producción. Se está buscando reemplazar estos elementos con materiales compuestos reforzados con fibras naturales que se encuentren en el país; una de ellas es la fibra de totora, de la que se desconoce

sus propiedades mecánicas cuando se encuentra tejida con diferentes combinaciones y que puede servir como refuerzo en materiales compuestos [4] [5] [7].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas del tejido múltiple de totora (*Schoenoplectus californicus*) sometidas a tensión y compresión.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los diferentes tipos de tejidos de fibras vegetales de totora, obtenida de las orillas del Lago San Pablo en la provincia de Imbabura.
- Seleccionar los tejidos de totora que resistan cargas a compresión y tracción.
- Seleccionar el procedimiento experimental para caracterizar las propiedades mecánicas del tejido múltiple de totora.
- Determinar las propiedades mecánicas del tejido bajo compresión y tensión según el procedimiento seleccionado.

1.3. Alcance

Realizar un levantamiento de información de los diferentes tipos de tejidos artesanales de fibra de totora que se realizan en la parroquia San Rafael provincia de Imbabura, para determinar los adecuados en aplicaciones estructurales.

Plantear una metodología basada en las normas ASTM de fibras naturales para ensayar los tejidos seleccionados bajo tensión y compresión; utilizando la máquina de ensayos universal marca James Heal modelo Titan 5 de 5000 N, ubicada en el laboratorio de textil de la Universidad Técnica del Norte y la máquina de ensayos universal marca MTS de 5000N del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Caracterizar de manera experimental de acuerdo a la norma seleccionada las propiedades mecánicas bajo compresión y tensión del tejido múltiple de totora (*Schoenoplectus californicus*).

1.4. Justificación

En la Universidad Técnica del Norte especialmente en la carrera de mecatrónica, los últimos años se han estado desarrollando investigaciones en el campo de la medicina con la ingeniería para, el diseño mecánico y construcción de prótesis para miembros inferiores del cuerpo humano.

En lo que respecta al diseño mecánico se busca mejores un material que brinde prestaciones mecánicas, liviano, fácil de manufacturar, económico y que genere el mínimo impacto al medio ambiente.

Con la presente investigación se busca proponer al tejido múltiple de totora como material de construcción para infraestructuras, y sea considerada en futuras investigaciones de la carrera de Mecatrónica para la construcción de prótesis.

Capítulo 2

Marco referencial

2.1. Marco teórico

2.1.1. Schoenoplectus californicus

La totora es una planta vascular que absorbe los nutrientes desde la raíz hasta el tallo, también, es una planta acuática y terrestre que se adapta a las condiciones del medio climático. Siempre y cuando no esté sumergida en su totalidad, cumple el desempeño de crecer y absorber los nutrientes [9].

Los registros de uso datan desde hace 8.000 años antes de Cristo y se intensifica su uso a partir de los 800 años después de Cristo, en artículos de cestería para almacenar y recoger productos del campo y realizar diversos artículos de uso doméstico como esteras. Se utiliza en todo tipo de artesanías y también en infraestructura para casas, techos, muebles y balsas, los motivos dependen de la habilidad del artesano [8] [10].

La totora al ser parte de las fibras de rápido crecimiento y cuyo hábitat es un ecosistema que presenta beneficios colaterales, la explotación de la totora es una alternativa sostenible que puede reemplazar los productos obtenidos de bosques maderables u otros cultivos de mayor impacto [11].

Crece en muchos lugares húmedos, pantanosos, lagos y lagunas, se la encuentra en América desde California hasta Chile [12].

Tabla 1.

Clasificación científica de la totora.

UBICACIÓN TAXONÓMICA	
Familia:	Cyperaceae
Género:	Schoenoplectus
Especie:	Schoenoplectus californicus
Nombre común:	"Totora"

Fuente: [12].

2.1.2. Hábitat y morfología de la totora

El género *Schoenoplectus* tiene una distribución cosmopolita, en tanto que *S. californicus* en Ecuador está registrada en la Costa entre rangos altitudinales que varían entre 0 - 500 metros sobre el nivel del mar, y en la Sierra, se encuentra distribuida, de manera silvestre, especialmente en zonas que van desde los 1800 hasta los 3000 m.s.n.m. con precipitaciones que oscilan entre los 500 y 1000 mm, franja ecológica que corresponde a las formaciones vegetales del bosque seco Montano Bajo (bs - MB) y bosque húmedo Montano (bh - M). Las totoras son especies propias de los sistemas lacustres (área de lagos, humedales y pantanos). Esta especie se encuentra catalogada como nativa [12].

2.1.2. Principales ubicaciones de crecimiento de totora

Nacional: El Valle, Paccha, Nulti, Sidcay – Azuay. Otavalo, lago San Pablo, laguna de Cuicocha, laguna de Yahuarcocha-Imbabura [9].

Internacional: Chile, Bolivia, Perú, Brasil, Ecuador [9].

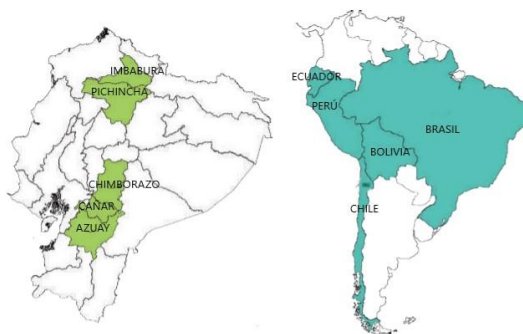


Figura 2.1. Principales ubicaciones de crecimiento de totora [9].

La producción de totora en el país se concentra en Imbabura, provincia ubicada en el centro norte del país, en el lago San Pablo y la laguna de Yahuarcocha, de la que dependen unas 3000 familias, principalmente de la confección de artesanías y esteras. La producción se limita a organizaciones comunitarias [13].

Tabla 2.
Morfología de la totora (*Schoenoplectus californicus*)

Morfología de la totora	
Rizoma	Posee un tallo grueso con hojas escamosas que crecen bajo tierra, tiene una textura esponjosa de color rojo oscuro.
Hojas	Las hojas de la totora se forman a nivel del nacimiento de los tallos y en forma de vaina lo rodean en la base.
Inflorescencia	La parte alta de la planta presenta una inflorescencia en umbela, con umbelillas dispuestas en sus ejes terminales
Flores	Presentan flores completas; sus verticilos externos están compuestos por cuatro escamas que hacen las veces de perigonio haploide.
Tamaño	La totora es una hierba acuática perenne, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura, de los cuales al menos la mitad está sumergida bajo el agua y la otra parte se halla por encima de la superficie.

Fuente: [12] [14].

- **Tallo**

La totora es una especie vegetal, que de acuerdo a su desarrollo tiene una parte de tallo fuera del agua (tallo aéreo) y la otra parte sumergida dentro del agua y el substrato de fondo (tallos subterráneos o sumergidos en el agua). El tallo aéreo llega a alcanzar alturas de 2 a 4 metros, conformado por un tejido esponjoso que en su interior contiene aire la que favorece el flotamiento en el agua. Los tallos aéreos nacen de la parte superior del rizoma en forma de un cilindro cortical de poco espesor denominado propiamente “totora” de forma circular, en algunas veces triangular en la parte superior y apical [12].

El tallo aéreo que se encuentra sumergido, presenta clorofila, pero en la parte basal tiene una coloración blanquecina, denominada comúnmente como "Chullo", debido principalmente porque allí no inciden los rayos solares. El tallo subterráneo es un verdadero rizoma donde se observa una corteza blanca sin clorofila y un cilindro central con muchos haces libero leñoso [12].

El crecimiento es en forma horizontal y paralelo al substrato, distinguiéndose por tener yemas en la parte superior que es de donde se originan los tallos aéreos y en la parte inferior se encuentran las raíces adventicias, formando rizomas que llegan a entrecruzarse, conformando una gran masa radicular, llamado comúnmente "quille" de un espesor que puede alcanzar de 0500 mm hasta 700 mm., dependiendo de la edad del totoral [12].



Figura 2.2. Tallo de totora [14]

2.1.3. Importancia ecológica y económica de la totora

La formación vegetal Ciperales constituye el hábitat idóneo para diversas especies, así como también proporciona otros beneficios ecológicos que se mencionan a continuación en [12]:

Las raíces sirven para que los peces pongan sus huevos y se protejan

- Los tallos sirven para que las aves hagan sus nidos, se reproduzcan y se protejan
- Cortada y enterrada la totora se descompone y se hace un buen abono

- Purifica las aguas contaminadas
- Protege al suelo de las orillas del lago, de la erosión que causan las olas que se llevan la tierra que sirve para sembrar.
- Sirve para que muchos peces, aves, insectos y plantas vivan.
- Forma un ecosistema útil para el ser humano, el medio ambiente y los animales.

Las comunidades locales en Ecuador le atribuyen el nombre vernáculo “totora”, misma que representa una de las especies de mayor importancia económica de las Ciperáceas ya que sus tallos son utilizados para la elaboración de artesanías que son comercializadas en los mercados locales, regionales e internacionales; donde por tradición representan una alternativa de manejo sostenible para las comunidades indígenas [12].

2.1.4. Propiedades Físicas y Mecánicas

Tabla 3.

Propiedades Físicas de la totora (*Schoenoplectus californicus*).

Propiedades Físicas	
Densidad	Un grupo de totora atada con presión mediana, de manera que no altere su volumen, pero mantenga estable el conjunto, tiene un peso de 180kg/m ³ .
Absorción	La totora sin presión, al estar saturada de agua (24 horas sumergida) aumenta en promedio cuatro veces su peso seco inicial.
Velocidad de absorción	La velocidad inicial de absorción, tomada en los primeros 20 minutos de inmersión, es de 7% de aumento de su peso/minuto, y la velocidad de absorción general, hasta su estado de saturación, es de 0.3%/minuto.
Velocidad de pérdida de humedad	La velocidad inicial de pérdida de peso al secarse, tomada en los primeros 20 minutos, es de 0.3% de pérdida de su peso/minuto, y la velocidad de secado general hasta su estado seco original, es de 0.13%/minuto.

Fuente: [11].

Tabla 4.

Propiedades Mecánicas de la totora (*Schoenoplectus californicus*).

Propiedades Mecánicas	
Tensión	A partir de probetas y ensayos se obtiene un esfuerzo de 88,501 MPa y una deformación al esfuerzo de 0,05132(mm/mm).
Compresión	Un tallo de totora aislado, resiste alrededor de 15kg/cm ² . La resistencia a la compresión aumenta si se trabaja con grupos de tallos de totora juntos y aumentará aún más si este grupo es sujetado con presión para conseguir un volumen compacto, pudiendo llegar hasta resistencias de 40kg/cm ² o más.

Fuente: [2] [11].

2.1.5. Tipos de tejidos mixtos

Heredia [10] describe los siguientes tipos de tejidos:

- **Técnica 1**

Descripción: cintas de totora dispuesta una sobre la otra de manera intercalada, véase *Figura 2.3*. Las cintas no presentan ninguna alteración, se trabajan de manera plana.

Herramientas: trabajo manual. **Preparación:** selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: plano de 3000 mm x 3000 mm máximo de largo.



Figura 2.3. Técnica 1 de tejido mixto [10]

- **Técnica 2**

Descripción: cintas de Totora dispuesta una sobre la otra de manera intercalada, véase *Figura 2.4*. Las intercaladas, presentan una torsión que hace que su sección sea circular, adquiriendo más resistencia a la tracción. La textura muestra una técnica mixta.

Herramientas: trabajo manual. Preparación: selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: plano de 3000 mm x 3000 mm máximo de largo.

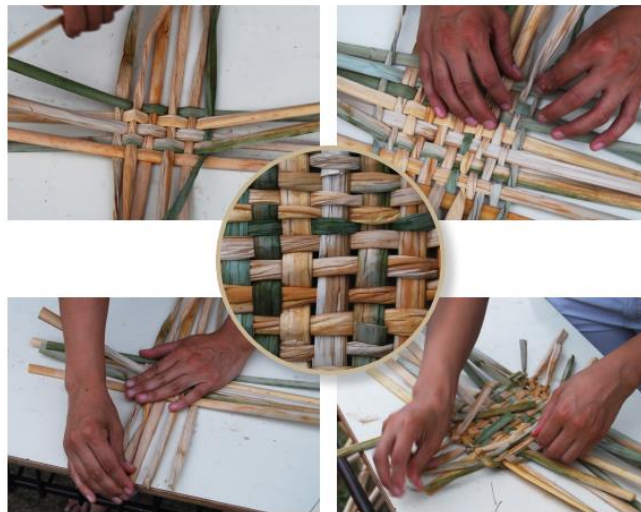


Figura 2.4. Técnica 2 de tejido mixto [10]

- **Técnica 3**

Descripción: amarre, volumen simple compuesto por cintas de Totora agrupadas y dispuesta de manera vertical, véase *Figura 2.5*. El grupo de Totora está contenida por otra cinta a la que se le aplicó el tratamiento de torsión, adquiriendo mayor resistencia para realizar el ajuste del grupo. Los volúmenes presentan forma cilíndrica y técnica mixta.

Herramientas: trabajo manual.

Preparación: selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: rollos de 100 mm hasta 3000 mm de largo, con diámetros según la cantidad de cintas de Totoras agrupadas.



Figura 2.5. Técnica 3 de tejido mixto [10]

- **Técnica 4**

Descripción: trenzado compuesto de 5 tiras, las cintas de Totoras están dispuestas una sobre la otra de manera intercalada diagonalmente, izquierda y derecha, generando una trenza de sección plana, véase *Figura 2.6*.

Herramientas: trabajo manual.

Preparación: selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: tiras de 2000 mm de largo aproximadamente, con un ancho de 20 a 50 mm aproximadamente.



Figura 2.6. Técnica 4 de tejido mixto [10]

- **Técnica 5**

Descripción: trenzado compuesto de 6 tiras, las cintas de Totora están dispuestas una sobre la otra de manera intercalada diagonalmente, izquierda y derecha, generando una trenza de sección plana, véase *Figura 2.7*.

Herramientas: trabajo manual.

Preparación: selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: tiras de 2000 mm de largo aproximadamente, con un ancho de 20 a 50 mm aproximadamente.



Figura 2.7. Técnica 5 de tejido mixto [10]

- **Técnica 6**

Descripción: tejido, tramado compuesto, cintas de totora dispuestas una sobre la otra de manera intercalada sobre una base en cinta de totora en forma de estrella, generando un cuerpo cóncavo, la trama sigue una directriz en espiral, véase *Figura 2.8*.

Herramientas: trabajo manual.

Preparación: selección de cintas sanas y humectación de la materia.

Resultado: cuencos de hasta 600 mm de diámetro aproximadamente.



Figura 2.8. Técnica 6 de tejido mixto [10]

2.2. Resina

Las resinas son sustancias orgánicas que algunas plantas segregan en estado líquido donde sufren un proceso de polimerización para generar productos sólidos. También existen resinas sintéticas desarrolladas por el ser humano con propiedades muy similares a las resinas naturales [15].

Tabla 5.
Materias primas para la obtención de resinas.

Naturales	<i>Animal</i>	Caseína	Fosfoproteínas	Gelalita y Lanita
	<i>Vegetal</i>	Celulosa	Polímero de glucosa	Celuloide
		Aceites	Acilglicéridos	Barnices
		Latex	Isopreno	Caucho Ebonita
		Colofana		Barnices y gomas
Sintéticas	<i>Mineral</i>	Derivados del petróleo	Policondensación	Poliéster, Alquídicos, Siliconas, Epoxídicos, etc
			Poliadición	Poliuretanos
			Polimerización	Poliétileno, Vinílicos, Acrílicos, Poliestireno, etc

Fuente:[16]

Las resinas sintéticas se dividen en dos grupos; Termoplásticos: polímeros de estructura lineal, que una vez constituidos, pueden modificar su forma por acción del calor. Termoestables: son más difíciles de producirse y una vez polimerizados son estables ante la acción de la temperatura, permaneciendo con un alto grado de consistencia. Se caracterizan por su mayor dureza y resistencia a la acción térmica, pero son productos más frágiles y sensibles a sufrir un envejecimiento más rápido, siendo el poliéster la resina termoestable más utilizada en todo el mundo [7] [16] [17].

2.3. Norma ASTM D4761-02a

La norma ASTM D4761-02a son los métodos de prueba estándar para las propiedades mecánicas de madera y material estructural a base de madera. Estos métodos de prueba proporcionan procedimientos que son aplicables en condiciones reales de campo y permite desarrollar propiedades de resistencia y rigidez para la muestra representada por el material que se está probando [18].

Pruebas de tensión: Este método de prueba proporciona procedimientos para la determinación de la resistencia a la tensión sometiendo a la probeta a una carga de tracción axial aplicada cerca de sus extremos. Pruebas de compresión: Este método de prueba proporciona procedimientos para la determinación de la resistencia a la compresión sometiendo a muestra a una carga de compresión axial aplicada en sus extremos [18].

2.4. Norma ISO 13934-2

ISO 13934-2: 2014 especifica un procedimiento para la determinación de la fuerza máxima de las telas textiles conocida como prueba de agarre. El método es aplicable principalmente a tejidos textiles tejidos, incluidos tejidos que presentan características de estiramiento impartidas por la presencia de una fibra elastomérica y un tratamiento mecánico o químico [19].

El método [19] especifica la determinación de la fuerza máxima de las muestras de prueba en equilibrio con la atmósfera estándar para la prueba y de las muestras de prueba en estado húmedo.

2.5. Estado del arte

En la actualidad las investigaciones sobre fibras naturales se han enfocado en analizar las propiedades mecánicas y las ventajas que estas ofrecen al estar solas o mezcladas con matrices poliméricas [20] [21].

En estos estudios se concluye que todos los materiales reforzados con fibras naturales (sin importar la configuración de la fibra) mejoran las propiedades de las distintas matrices sin refuerzo [2] [14].

Las investigaciones han demostrado la viabilidad y las ventajas de utilizar materiales a base de madera en estructuras. Esta categoría incluye plantas que contribuyen al sector de la arquitectura, una de estas plantas es la totora [22].

La totora es utilizada principalmente en artesanías, embarcaciones, muebles y viviendas, todas de manera autóctona y artesanal. Sin embargo, los nuevos estudios y experimentos llevados a cabo en esta planta han subrayado su capacidad como material de construcción [22] [23].

Capítulo 3

Metodología

3.1. Proceso de selección de tejido de totora

Se construyen y adaptan las probetas de acuerdo a las normas ASTM D4761-02^a, véase *Tabla 6* y *Tabla 7*, e ISO 13934-2, véase *Tabla 8*, debido a la ausencia de una norma específica que describa el método a utilizar en este tipo de materiales.

Se procede a investigar los diferentes tipos de tejidos de totora que realizan los artesanos de la parroquia San Rafael en la ciudad de Otavalo, seguidamente se clasifican los tejidos de acuerdo a criterios como: estructura de entrecruzamientos, número de totoras de urdimbre y de trama, uso en estructuras que soporten cargas, facilidad de construcción, véase *Tabla 10*.

Se realiza una matriz de ponderaciones donde se selecciona los tejidos mejores puntuados que serán los elegidos para realizar las pruebas de tensión y compresión, véase *Tabla 9* y *Tabla 10*.

3.2. Descripción de norma

Tabla 6.

ASTM D4761-02a tensión.

Unidades	SI
Probetas a tracción	5
Ancho	L/10
Longitud	150mm
Espesor	A/10
Velocidad de ensayo	75mm/min

Fuente: [18]

Tabla 7.

ASTM D4761-02a compresión.

Unidades	SI
Probetas a compresión	5
Ancho	L/2.5
Longitud	150mm
Espesor	A/10
Velocidad de ensayo	75mm/min

Fuente: [18]

Tabla 8.

ISO 13934-2: 2014

Unidades	SI
Probetas tracción	5
Ancho	100mm
Longitud	150mm
Velocidad de ensayo	50mm/min

Fuente: [19]

3.3. Tejido mixto de totora (Tensión)

Se encuentran tres tipos de tejidos que varían según el tipo de textura, y a la vez estas se pueden dividir por la estructura del entrecruzamiento. No se tomaron en cuenta los trenzados ya que cuentan con un número limitado de totora, ni los amarrados ya que no se consideran tejidos.

3.3.1. Textura de tejido simple (TS)

Se caracteriza por estar cada urdimbre entrelazado con la trama de manera intercalada, a este tejido se lo conoce como tejido plano, véase las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.

El entrecruzamiento puede estar compuesto 1 a 1, 2 a 2 y 3 a 3.

- **Tejido simple a tensión TS_11**



Figura 3.1. Tejido simple 1 a 1 (TS_11)

- **Tejido simple a tensión TS_22**



Figura 3.2. Tejido simple 2 a 2 (TS_22)

- **Tejido simple a tensión TS_33**



Figura 3.3. Tejido simple 3 a 3 (TS_33)

3.3.2. Textura de tejido simple con torsión(TST)

Se caracteriza por estar cada urdimbre entrelazado con la trama de manera intercalada, presentando la urdimbre intercalada una torsión, véase las Figuras 3.4 y 3.5.

El entrecruzamiento puede estar compuesto 1 a 1 y 2 a 1.

- **Tejido simple con torsión a tensión TST_11**



Figura 3.4. Tejido simple con torsión 1 a 1 (TST_11)

- **Tejido simple con torsión a tensión TST_21**



Figura 3.5. Tejido simple con torsión 2 a 1 (TS_21)

3.3.3. Textura de tejido compuesto(TC)

Se caracteriza por el entrelazamiento de dos totoras de la urdimbre con una totora de la trama en filas alternas, a este tejido se lo conoce como sarga, véase las Figuras 3.6 y 3.7.

El entrecruzamiento puede estar compuesto 1 a 2 y 2 a 4.

- **Tejido compuesto a tensión TC_12**



Figura 3.6. Tejido compuesto (TC_12)

- **Tejido compuesto a tensión TC_24**



Figura 3.7. Tejido compuesto (TC_24)

3.4. Tejido mixto de totora (compresión)

Se encuentra sólo un tipo de tejido que es utilizado para estructuras que soportan presión, por lo tanto, es adecuado para realizar las pruebas de compresión.

- **Textura de tejido encordado de urdimbre a compresión (TE)**

Se caracteriza por el ceñido de la totora de la urdimbre con dos totoras de la trama que presentan torsión y a su vez siguen una directriz en espiral, véase *Figura 3.8*.



Figura 3.8. Tejido encordado (TE)

3.5. Selección de tejido mixto

Se realiza una matriz de ponderaciones, se asigna un peso y un factor de rango para los tejidos que están a tensión, eligiendo a los tejidos mejores puntuados, véase *Tabla 10*. Para el tejido compuesto que está a compresión se elige el único encontrado.

Tabla 9.

Escala para factor de rango

Escala para factor de rango R	
Excelente	9-10
Muy bueno	7-8
Bueno	5-6
Pobre	3-4
Insatisfactorio	0-2

Tabla 10.
Tabla de ponderaciones

CRITERIO	PESO %	TEJIDOS													
		TS_11		TS_22		TS_33		TST_11		TST_21		TC_12		TC_24	
		valor	Valor x peso	valor	Valor x peso	valor	Valor x peso	valor	Valor x peso	valor	Valor x peso	valor	Valor x peso	valor	Valor x peso
Estructura de entrecruzamientos (tejido plano)	30	10	300	10	300	10	300	3	90	3	90	10	300	10	300
N. de urdimbre y trama	20	7	140	8	160	9	180	6	120	7	140	8	160	9	180
Uso en estructuras que soporten cargas	40	7	280	9	360	6	240	3	120	3	120	10	400	10	400
Facilidad de construcción	10	7	70	8	80	9	90	3	30	3	30	8	80	8	80
TOTAL	100		790		900		810		360		380		940		960

De acuerdo a la tabla de ponderaciones se obtiene tres tipos de tejidos con los puntajes más altos; tejido simple 2 a 2, tejido compuesto 1 a 2 y tejido compuesto 2 a 4.

3.6. Elaboración probetas de tejido mixto

Se procede a elegir totora completamente seca, sin muestras de manchas en su superficie ni alteraciones o deformaciones que puedan modificar los resultados, véase Figura 3.9.



Figura 3.9. Totora seca sin manchas ni alteraciones

Con un calibrador vernier se eligen muestras de entre 5mm y 8mm de diámetro, aumentando así el número de totoras de urdimbre y trama, asemejándose a la realidad de un tejido.

Finalmente, se realiza su nomenclatura de acuerdo a la siguiente codificación: Tipo de tejido (TS_22, TC_12, TC_24, TE), ensayo (C, T), N de probeta (1-5), véase las Figuras 3.11, 3.13, 3.15 y 3.17.

3.6.1. Probetas de tejido mixto a tensión

En una cartulina se realiza un rectángulo de 100 mm de ancho y 150 mm de altura, esto sirve como guía para realizar el tejido y evitar exceder estos valores. Se fabrican las probetas presionando fuertemente cada entrecruzamiento con una roca, obteniendo así el menor espesor posible, se efectúa un remate en los bordes con la finalidad de fijar todo el tejido al momento de ejecutar las pruebas. Al ser un tejido artesanal y poseer un remate, se obtienen probetas uniformes de 70 mm de ancho y 120 mm de altura con un espesor de 0,34 mm, véase las Figuras 3.10, 3.12 y 3.14.



Figura 3.10. Probeta de tejido con remate (TS_22)



Figura 3.11. Probetas codificadas (TS_22)



Figura 3.12. Probeta de tejido con remate (TC_12)

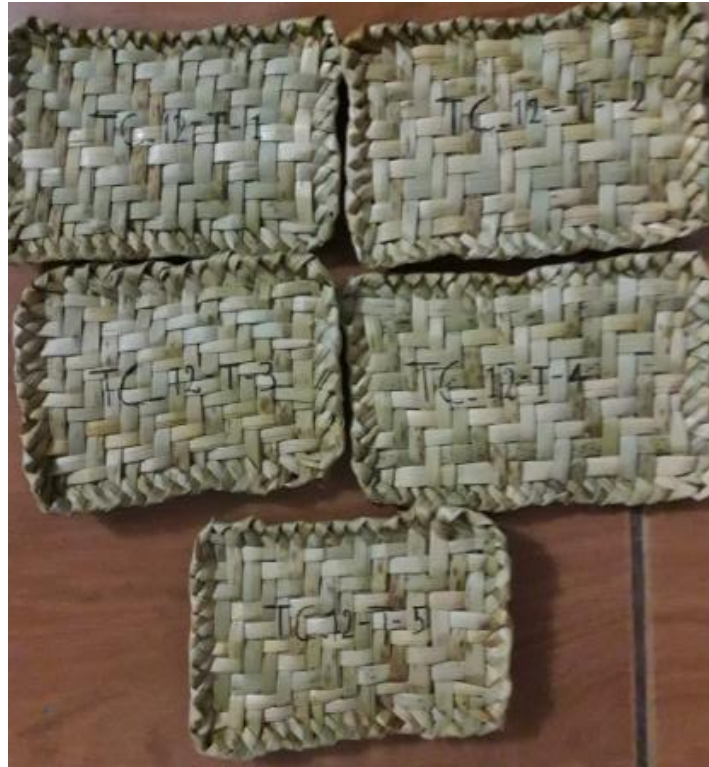


Figura 3.13. Probetas codificadas (TC_12)



Figura 3.14. Probeta de tejido con remate (TC_24)



Figura 3.15. Probetas codificadas (TC_24)

3.6.2. Probetas de tejido mixto a compresión

Se corta un tubo de diámetro 25.4 mm y 150 mm de largo que sirve de base para la construcción de la probeta, se realiza previamente una torsión y presión a cada totora antes de realizar el tejido para obtener el menor espesor posible, se efectúa el remate en los extremos asegurando el tejido. Obteniendo finalmente una probeta de medida efectiva de 120 mm de alto, 52,3 cm de diámetro exterior y un espesor de 0,75 mm, véase *Figura 3.16*.



Figura 3.16. Probeta de tejido con remate (TE)



Figura 3.17. Probetas codificadas (TE)

3.7. Ensayos mecánicos

La determinación de la tensión se realiza en la máquina de ensayos universal de la marca James Heal modelo Titan 5 de 5000 N, basada en la norma ISO 13934-2: 2014 que se observa en la *Figura 3.18*.



Figura 3.18. Máquina de ensayos universal James Heal (UTN)

El procedimiento fue configurado de acuerdo a la norma donde se destaca el plan de mordazas T27, la detección de rotura al 20% y la velocidad de 50mm/min.

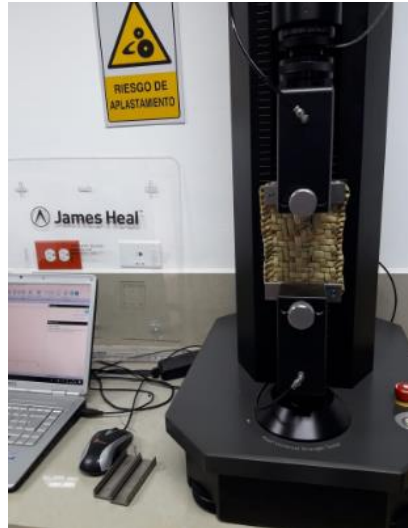


Figura 3.19. Probeta lista para prueba coloca en mordazas T27

La determinación de la compresión se realiza en la máquina de ensayos universal marca MTS con una galga marca QUANTRON de 5000N del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que se observa en la *Figura 3.20*.



Figura 3.20. Máquina de ensayos universal marca MTS (ESPE)

3.8. Tipo de fractura

Las fracturas en los tejidos a tensión se producen principalmente en las orillas de la parte superior de la probeta, y se puede observar una línea de fractura perpendicular a la fuerza

aplicada, característica de un material frágil, corroborando lo dicho por Mejía (2017) “(...) la totora es un material frágil de comportamiento lineal” (p.71).



Figura 3.21. Fracturas en probeta TC_12



Figura 3.22. Fracturas en probeta TC_24



Figura 3.23. Fracturas en probeta TS_22

Las fracturas en los tejidos a compresión se producen principalmente entre el centro y un extremo debido al aplastamiento, esto es propio de las columnas cortas.



Figura 3.24. Fracturas en probeta TE

Capítulo 4

Resultados

4.1. Resultados prueba de Tensión

Realizados los ensayos de 5 probetas por cada tipo de tejido y eliminando los extremos se realizan los cálculos para obtener los esfuerzos, la deformación unitaria de cada tipo de tejido, las curvas respectivas y obtener el módulo elástico o de Young.

Las formulas a utilizar para el cálculo de esfuerzo y deformación son:

$$A = b * h \quad \text{Ecuación 1. Área sección transversal rectangular}$$

Donde

$A = \text{Área de la sección transversal}$

$b = \text{base}$

$h = \text{altura}$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 2. Esfuerzo Normal}$$

Donde

$\sigma = \text{Esfuerzo normal}$

$F = \text{Fuerza aplicada}$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ecuación 3. Deformación unitaria}$$

Donde

$\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$

$\Delta L = \text{Variación de la longitud}$

$L_0 =$ Longitud inicial

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Ecuación 4. Módulo de elasticidad

Donde

$E =$ Módulo de elasticidad o de Young

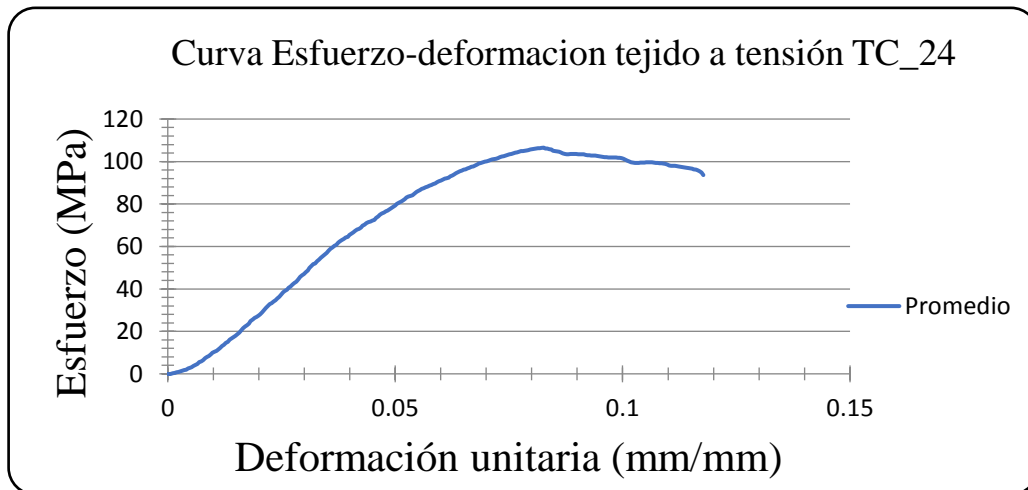


Figura 4.1. Curva promedio esfuerzo-deformación TC_ 24

De la Figura 4.1. se puede observar una curva ascendente hasta alcanzar el esfuerzo máximo de 106,535 MPa a una deformación unitaria de 0,082 mm. Posteriormente, la curva desciende reduciendo el esfuerzo y aumentando la deformación unitaria.

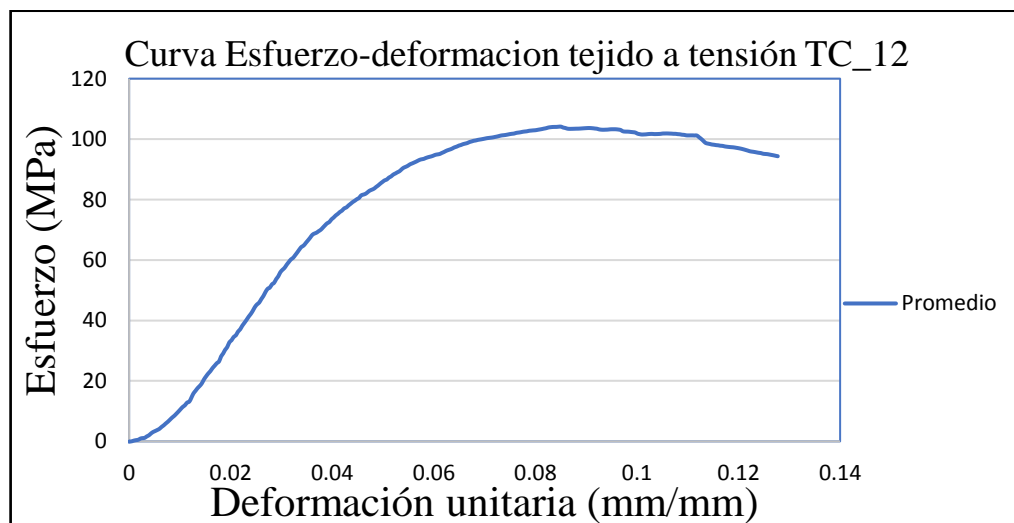


Figura 4.2. Curva promedio esfuerzo-deformación TC_ 12

De la *Figura 4.2.* se puede observar una curva ascendente hasta alcanzar el esfuerzo máximo de 104,118 MPa a una deformación unitaria de 0,085 mm. Posteriormente, la curva desciende reduciendo el esfuerzo y aumentando la deformación unitaria.

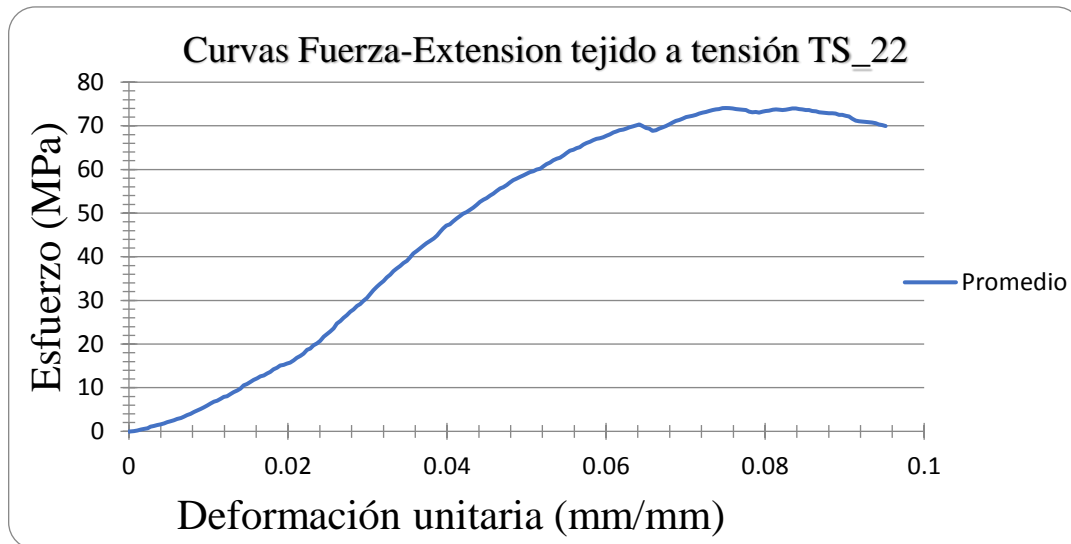


Figura 4.3. Curva promedio esfuerzo-deformación TS_22

De la *Figura 4.3.* se puede observar una curva ascendente hasta alcanzar el esfuerzo máximo de 74,082 MPa a una deformación unitaria de 0,075 mm. Posteriormente, la curva desciende reduciendo el esfuerzo y aumentando la deformación unitaria.

Tabla 11.
Esfuerzo y deformación promedio del tejido TC_24

Grupo de tejido	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Desviación Típica	Deformación unitaria promedio (mm/mm)	Desviación Típica
TC_24	106,535	0,363	0,082	0,005

Del ensayo de tracción del tejido TC_24 se obtiene un esfuerzo máximo de $106,535 \pm 0,363$ MPa, una deformación unitaria de $0,082 \pm 0,005$ mm/mm y un módulo de elasticidad de $1299,21 \pm 313,28$ MPa.

Tabla 12.

Esfuerzo y deformación promedio del tejido TC_12

Grupo de tejido	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Desviación Típica	Deformación promedio (mm/mm)	Desviación Típica
TC_12	104,118	0,368	0,085	0,017

Del ensayo a tracción del tejido TC_12 se obtiene un esfuerzo máximo de $104,118 \pm 0,368$ MPa, una deformación unitaria de $0,085 \pm 0,017$ mm/mm y un módulo de elasticidad de $1224,92 \pm 405,47$ MPa.

Tabla 13.

Esfuerzo y deformación promedio del tejido TS_22

Grupo de tejido	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Desviación Típica	Deformación promedio (mm/mm)	Desviación Típica
TS_22	74,082	0,36	0,075	0,016

Del ensayo a tracción del tejido TS_22 se obtiene un esfuerzo máximo de $74,082 \pm 0,36$ MPa, una deformación unitaria de $0,075 \pm 0,016$ mm/mm y un módulo de elasticidad de $987,76 \pm 26,11$ MPa.

Tabla 14.

Comparación entre los diferentes tipos de tejidos

Grupo de tejido	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Deformación promedio (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
TC_24	106,535±0,363	0,082±0,005	1299,21±313,28
TC_12	104,118±0,368	0,085±0,017	1224,92±405,47
TS_22	74,082±0,36	0,075±0,016	987,76±26,11

Al comparar el tejido a tensión TC_24 que contiene el mayor esfuerzo 106,535±0,363 Mpa, con los resultados obtenidos en Mejía [2] 88,501 Mpa, se puede observar un aumento del 20,377% destacando, además que el tejido no se rompe completamente.

4.2. Resultados prueba de compresión

Realizados los ensayos de 5 probetas del tejido y eliminando los extremos se realizan los cálculos para obtener el esfuerzo, la deformación unitaria del tejido, las curvas respectivas y obtener el módulo elástico o de Young. Las formulas a utilizar son las mismas que en las pruebas de tensión a excepción de la Ecuación 1., que se reemplaza por la siguiente:

$$A = \pi(R^2 - r^2)$$

Ecuación 5. Área sección circular hueca

Donde

A = Área de la sección transversal

R = radio exterior

r = radio interior

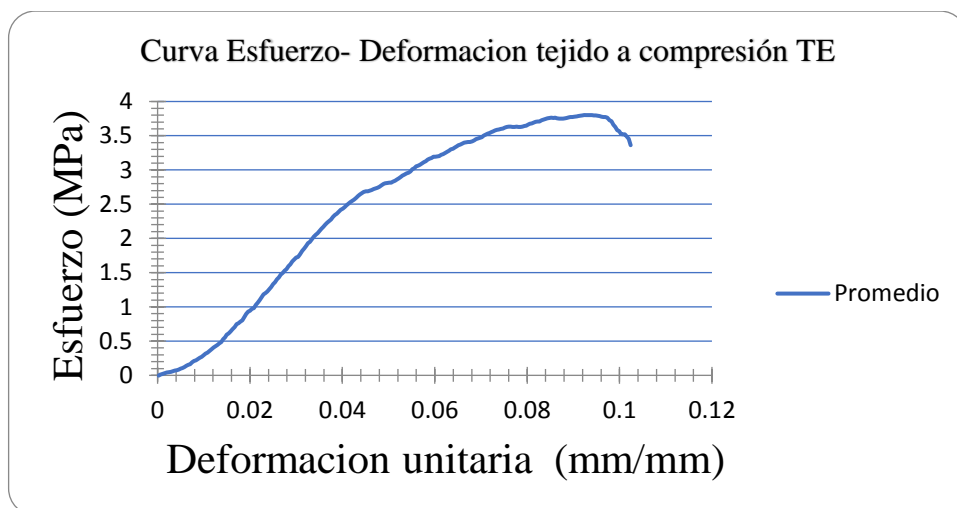


Figura 4.4. Curva promedio esfuerzo-deformación TE

De la Figura 4.4. se puede observar una curva ascendente hasta alcanzar el esfuerzo máximo de 3,802 MPa a una deformación unitaria de 0,102 mm. Posteriormente, la curva desciende reduciendo el esfuerzo y aumentando la deformación unitaria.

Tabla 15.

Esfuerzo-Deformación unitaria promedio tejido TE

Tejido	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Desviación Típica	Deformación promedio (mm/mm)	Desviación Típica
TE	3,802	0,157	0,102	0,001

Del ensayo de compresión se obtiene el esfuerzo máximo de 3,802 MPa con una desviación típica de 0,157 y una deformación unitaria de 0.102 mm/mm con una desviación típica de 0.001, como resultado un módulo de elasticidad de $37,274 \pm 10.51$ Mpa.

El esfuerzo máximo obtenido del tejido a compresión $3,802 \pm 0.157$ MPa se puede comparar con el resultado de la totora (sóla) publicado por Hidalgo [11] 1,471 MPa, aumentando considerablemente en un 158,46% y destacando su poca pérdida de forma.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se investigó acerca de los diferentes tipos de tejidos utilizados por los moradores de las orillas del lago San Pablo, donde se pueden clasificar en: tejidos planos, trenzados y amarrados. Estos tejidos a su vez, pueden dividirse de acuerdo al tipo de uso y la forma de construcción, siendo de una manera sumamente fácil hasta una muy compleja que necesite de materiales externos para su fabricación, siendo los tejidos planos los que presentan mejores características.
- La investigación de los diferentes tejidos arrojó como resultado tres tipos de tejidos planos TC_24, TC_12 y TS_22 que resisten cargas de tensión de hasta 2833,84 N y un tejido encordado TE resistente a compresión de 461,806 N. Los tejidos a tensión se dividieron de acuerdo a su textura y el entrecruzamiento entre trama y urdimbre, consiguiendo un total de siete tejidos. Finalmente, se realizó una clasificación para obtener los tres tejidos mejor puntuados.
- La ausencia de una norma específica para este tipo de materiales, obligó a realizar un procedimiento experimental para la construcción de las probetas, adaptando la norma ASTM D4761-02a para realizar los ensayos a compresión y la norma ISO 13934-2:2014 para realizar las pruebas de tensión.
- El esfuerzo máximo obtenido a tracción del tejido TC_24 es $106,535 \pm 0,363$ MPa, del tejido TC_12 es $104,118 \pm 0,368$ MPa y del tejido TS_22 es $74,082 \pm 0,36$ MPa. El esfuerzo máximo obtenido a compresión del tejido TE es $3,802 \pm 0,157$ MPa. Destacando que los tejidos no pierden su forma después de las pruebas realizadas.

- Las propiedades mecánicas obtenidas a tracción del tejido TC_24 es un módulo de elasticidad de $1299,21 \pm 313,28$ MPa, del tejido TC_12 es un módulo de elasticidad de $1224,92 \pm 405,47$ MPa y del tejido TS_22 es un módulo de elasticidad de $987,76 \pm 26,11$ MPa. Siendo el tejido TC_24 Y TC_12 los que presentan mejores valores y que pueden ser utilizados en trabajos donde se necesite un material sumamente ligero y fuerte a tensión.
- La propiedad mecánica obtenida a compresión del tejido TE, que posee una forma de tubo sección circular es un módulo de elasticidad de $37,274 \pm 10.51$ MPa. Sin embargo, las propiedades del tejido (sólo) a compresión siguen siendo bajos para la utilización como material alternativo en la construcción de prótesis de miembros inferiores.

5.2. Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta que los tejidos utilizados para resistir cargas y estructuras son recomendados por los moradores de la zona de acuerdo a su experiencia y habilidad de construcción.
- La mayoría de trabajos realizados para estructuras cuentan con una base o apoyo que ayude a fortalecer el tejido, por lo que, se recomienda ensayar el tejido mixto con mayor esfuerzo y el tejido encordado, con una matriz, para realizar un material compuesto que mejore sus características.
- Al nuevo material compuesto (tejido más matriz), realizar pruebas adicionales a las de compresión y tensión, para obtener todas las propiedades mecánicas que necesita un material para ser considerado en la construcción de prótesis inferiores.

Bibliografía

- [1] V. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, Nuevos materiales. Aplicaciones estructurales e industriales, Quito: Imprefepp, 2011.
- [2] C. Mejía, Caracterización de un material de resina poliéster y refuerzo con fibra natural de totora (*Schoenoplectus californicus*), mediante simulación a partir de microfotografía, Universidad de las Fuerzas Armadas, Centro de Postgrados, 2017.
- [3] Colaboradores, «Revista ARQHYS,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/construccion/materiales-obtencion.html>. [Último acceso: 5 Abril 2018].
- [4] D. López, «Materiales Compuestos. Aplicaciones,» *Informes de la construcción*, vol. LII, n° 472, pp. 45-52, 2001.
- [5] A. Dietrich, Materiales compuestos: procesos de fabricación de embarcaciones, Catalunya: U.P.C. Edicions , 2005.
- [6] J. Páez, Obtención de compuestos de polidropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión, Quito: EPN, 2007.
- [7] V. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado y S. Galeas, «Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas,» *Congreso de Ciencia Y Tecnología ESPE*, vol. VIII, n° 1, pp. 70-74, 2013.

- [8] «Titora Sisa,» 3 Agosto 2009. [En línea]. Available: <http://totorasisa.blogspot.com/>. [Último acceso: 15 Mayo 2018].
- [9] V. Farfán, Experimentación de la fibra de totora para uso en indumentaria., Cuenca: Universidad de Azuay, Facultad de Diseño, 2015.
- [10] F. Heredia, Re-significación de la Titora, a través del diseño y la innovación de técnicas, usos y formas, Universidad Católica de Córdoba, Facultad de Arquitectura, 2014.
- [11] J. Hidalgo, Aprovechamiento de la Titora como Material de Construcción, Cuenca: Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura, 2007.
- [12] J. Juma y L. Ormaza, Situación actual de la actividad artesanal de la totora, su producción y difusión en el sector san miguel de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2009.
- [13] F. Banderas, Utilización de un sistema constructivo con aislante térmico vegetal en viviendas de interés social rural en la región andina del Ecuador., Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [14] L. Aza, La totora como material de aislamiento térmico: Propiedades y potencialidades, Universidad Politécnica de Catalunya, Escuela Superior de Aquitectura de Barcelona, 2016.
- [15] Colaboradores, «ARQHYS,» 03 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://totorasisa.blogspot.com/>. [Último acceso: 07 Octubre 2018].

- [16] M. Gómez, R. Fort y B. Smith, «Problemas de escala en la interpretación del deterioro térmico por insolación de piedra de construcción,» *Geotemas*, vol. VI, n° 1, pp. 263-266, 2004.
- [17] M. Méndez, Determinación de la matriz de rigidez de un material compuesto laminado de fibra de vidrio y resina poliéster., IPN ESIME UPALM, 2004.
- [18] ASTM, D4761–02a Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural, 2003.
- [19] ISO, 13934-2. Determination of maximum force using the grab method, 2014.
- [20] P. Gómez y J. Santiago, Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio, Ingeniería de Diseño de Producto, 2009.
- [21] D. Condori, Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*), Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, 2010.
- [22] J. F. Hidalgo-Cordero y J. Garcia-Navarro, «Totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják) and its potential as a construction material,» *Industrial Crops and Products*, vol. 112, pp. 467-480, 2018.
- [23] C. Mejía, D. Ojeda y G. Goyos, «Mechanical Behavior Under Tension of *Schoenoplectus californicus* Fiber,» *Journal of Natural Fibers*, 2017.