

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE ROLLOS DE TOTORA AMARRADOS: INFLUENCIA DE LA TENSIÓN DE AMARRE, DIÁMETRO Y LONGITUD

STUDY OF THE PHYSICAL-MECHANICAL BEHAVIOR OF THE TIED CAT-TAIL ROLLS: INFLUENCE OF THE TENSION OF MOORING, DIAMETER AND LENGTH



Patricio Hidalgo Castro
Universidad del Azuay
Ecuador

Arquitecto por la Universidad de Cuenca - Ecuador. Magister en Proyectos de Diseño por la Universidad del Azuay - Ecuador. Magister en Docencia Universitaria por la Universidad del Azuay - Ecuador. Especialista en Diseño por el Politécnico Internacional PISIE Ancona-Italia. Profesor titular de la Universidad del Azuay - Ecuador. Profesor titular de la Universidad de Cuenca - Ecuador. Actividad Investigativa sobre la madera aplicada a la vivienda popular con la Universidad de Cuenca - Ecuador. Actividad investigativa sobre el diseño con hierro forjado, bambú y fibras naturales con la Universidad del Azuay - Ecuador. Autor de artículos en revistas indexadas y capítulos de libros a nivel nacional.

phidalgo@uazuay.edu.ec

Juan Hidalgo Cordero
Universidad Politécnica de Madrid
España

Arquitecto por la Universidad de Cuenca - Ecuador. Máster en Arquitectura Sostenible por la Universidad de Bolonia - Italia. Actividad investigativa en proyectos relacionados a las fibras naturales aplicadas al diseño y la construcción. Autor de varios artículos científicos publicados en revistas indexadas a nivel internacional. Revisor para varias revistas indexadas a nivel internacional. Actualmente doctorando en Innovación Tecnológica en Edificación en la Universidad Politécnica de Madrid con una beca de estudios otorgada por SENESCYT Ecuador.

orcid.org/0000-0002-2334-9569
juanhidalgocordero@gmail.com

Justo García Navarro
Universidad Politécnica de Madrid
España

Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid-España. Ph.D. por la Universidad Politécnica de Madrid-España. Profesor titular de la Universidad Politécnica de Madrid-España. Director del grupo de investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria de la Universidad Politécnica de Madrid. Miembro del equipo editorial de varias revistas indexadas a nivel internacional. Autor de varios artículos publicados en revistas indexadas a nivel internacional. Revisor de proyectos de investigación para la Agencia de Certificación e Investigación Española ACIE. Representante de la UPM para la Agencia Española de Normalización AENOR.

orcid.org/0000-0002-5268-1587
justo.gnavarro@upm.es

Fecha de recepción: 14 de febrero, 2019. Aceptación: 12 de abril, 2019.

Resumen

La totora (*Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey) Sojak), es una macrófita de raíz acuática que crece principalmente en América desde California hasta Tierra del Fuego y algunas islas del Pacífico. Esta planta ha sido utilizada desde tiempos ancestrales por varias culturas para la elaboración de objetos, artesanías, embarcaciones y cabañas. La presente investigación se refiere al estudio de los factores que influyen en las propiedades mecánicas de rollos de totora amarrados con el fin de que puedan ser utilizados como elementos constructivos. Con los parámetros estudiados se concluye que la tensión de amarre el diámetro y la longitud influyen en la resistencia a flexión y compresión, siendo presumiblemente el deslizamiento entre las fibras la causa principal de estas variaciones. La utilización de adhesivos mejora sustancialmente la resistencia a flexión llegando a conseguir valores superiores a 20 MPa en piezas de alrededor de 200 g de peso. La función principal del pegamento es limitar el deslizamiento longitudinal entre las fibras lo que permite que trabajen en conjunto consiguiendo mayor resistencia.

Palabras clave

Totora, amarre, rollos de totora, estructura, construcción.

Abstract

The cat-tail (*Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey) Sojak), is an aquatic root macrophyte that mainly grows in America from California to Tierra del Fuego and some Pacific islands. This plant has been used since ancient times by various cultures for the production of objects, crafts, boats and cabins. The present investigation refers to the study of the factors that influence the mechanical properties of the tied cat-tail rolls so that they can be used as constructive elements. With the parameters studied, the study concludes that the clamping tension, the diameter and length influence, the resistance to bending and compression, the sliding between the fibers is presumably the main cause of these variations. The use of adhesives substantially improves the resistance to bending reaching values higher than 20 MPa in pieces of around 200 g in weight. The main function of the glue is to limit the longitudinal sliding between the fibers, which allows them to work together achieving greater resistance

Keywords

Cat-tail, tied, cat-tail rolls, structure, construction.

Introducción

La totora (*Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey) Sojak), es una macrófita de raíz acuática y tallos aéreos de la familia de las Cyperáceas que se encuentra distribuida principalmente en las zonas comprendidas entre los trópicos en el continente americano y en algunas de las islas del pacífico como son la Isla de Pascua, Islas Cook, Hawaii, y Nueva Zelanda (de Lange, Gardner, Champion, & Tanner, 2008; Heiser, 1978; Mardorf, 1985). La totora es una planta de rápido crecimiento que produce en promedio 20 toneladas por hectárea por año y puede llegar a producir hasta 57 toneladas por hectárea por año dependiendo de los nutrientes del sustrato en donde se desarrolla (de Lange et al., 2008; PELT, 2000). Esta planta tiene un ciclo fenológico anual, es decir que los tallos aéreos se secan y mueren naturalmente cada año y nacen nuevos brotes desde el mismo sistema radicular, por lo que su cosecha bien realizada no genera un impacto mayor. La totora crece desde el nivel del mar, como en el caso de los humedales de Huanchaco en la costa norte del Perú, hasta los 4500 metros sobre el nivel del mar, como en el caso de las zonas aledañas al Lago Titicaca (Hidalgo Cordero & García Navarro, 2017).

Estas características de adaptabilidad a diferentes zonas climáticas, su rápido crecimiento y abundancia en ciertas localidades han propiciado que sea utilizada para una gran variedad de finalidades desde forraje, medicina, alimentación, combustible, y adicionalmente como material de construcción. Se han desarrollado diferentes técnicas para su utilización como material para la elaboración de objetos desde utensilios y artesanías hasta embarcaciones y cabañas (Hidalgo Cordero, 2007; Mardorf, 1985; Simbaña, 2003).

En el Lago Titicaca y sus zonas aledañas, en donde la totora es uno de los principales recursos disponibles, se puede encontrar los mayores ejemplos del uso de esta planta hoy en día. Los Uros es uno de los pueblos indígenas que han sabido aprovechar las propiedades de esta planta para sustentar su modo de vida basado casi exclusivamente en la totora desde tiempos ancestrales, construyendo sus islas flotantes, embarcaciones, viviendas y utensilios (Ver figura 1).



Figura 1. Isla flotante, cabañas y embarcaciones de los Uros en el Lago Titicaca-Perú, 2006.
Elaboración propia.

A pesar de que este modo de vida requiere de un constante aprovisionamiento de totora para rellenar el suelo de sus islas, renovar sus embarcaciones y viviendas, no se observa un deterioro de su entorno de intervención, pues el rápido proceso natural de renovación de la totora ha permitido sostener este ciclo productivo en el tiempo (ADESU, 2001; Hidalgo Cordero, 2007; PELT & ADESU, 2003). Además de los Uros existen muchos otros pueblos y comunidades que utilizan la totora para la construcción de embarcaciones y la elaboración de artesanías. Uno de los objetos más habituales que se elaboran en las comunidades que trabajan con la totora son las esteras tejidas de totora que se pueden observar, con pequeñas variables, en comunidades artesanales desde California hasta Chile (Heiser, 1978). Las esteras son láminas tejidas de dos tallos de totora aplastada y entrelazada. Las esteras son objetos flexibles y resistentes que pueden tener una amplia variedad de aplicaciones desde alfombras de piso, bases de cama, revestimientos de paredes, cielos rasos, entre otros (Ver figura 2) (Hidalgo Cordero, 2007).



Figura 2. Esteras apiladas para su comercialización en Imbabura-Ecuador, 2018.
Elaboración propia.

A pesar de la gran utilidad que en su momento tuvieron los objetos elaborados con esta planta, hoy en día la demanda de objetos de totora ha decrecido considerablemente, lo que ha ocasionado que la actividad de cosechar y manejar la totora se vaya perdiendo poco a poco (Enríquez Criollo, 2015). En el caso de la parroquia de Paccha, en la provincia del Azuay – Ecuador, en donde hace pocos años existía un número considerable de lagunas en donde crecía la totora y en donde gran parte de la población se dedicaba al tejido y elaboración de esteras y objetos con totora, actualmente se puede observar una disminución del número de lagunas, pues la gente prefiere desecarlas para convertirlas en cultivos que resulten más rentables. Las pequeñas lagunas en donde crecía la totora aportaban a la recarga de acuíferos subterráneos, mejora de la calidad del agua, control de inundaciones, control de erosiones, además de provisionar de material para la actividad económica tradicional del tejido y manejo de la totora, que como se ha mencionado se ha ido perdiendo gradualmente en esta zona, lo que genera a su vez impactos colaterales derivados de lo antes mencionado (Hidalgo., 2015).

Una de las estrategias para mitigar estos posibles impactos es fomentar la conservación de los hábitats en donde crece la totora mediante un correcto manejo y uso de esta planta que a la vez pueda generar beneficios socioeconómicos para las comunidades que trabajan con ella creando fuentes de trabajo e industria local.

En este sentido la vinculación de la academia y la investigación científica es de vital importancia para garantizar un desarrollo adecuado aprovechando un recurso con características de interés como es la totora.

Antecedentes sobre los usos de la totora como material para elaboración de objetos y construcción

Elaboración de objetos

La artesanía es una de las aplicaciones más difundidas de la totora hoy en día. Las diferentes técnicas de aplicación difieren ligeramente dependiendo del lugar en donde han sido desarrolladas. Se pueden citar por ejemplo los trabajos de cestería de Ichupio -México (Al Extremo, 2016), o las tribus de los Tongva y Chumash en California (Bardolph, 2016; Hidalgo Cordero & García Navarro, 2018).

En el Ecuador la totora es muy utilizada para la elaboración de esteras y artesanías tejidas. La mayor producción de objetos de totora en el Ecuador se da en la provincia de Imbabura. En el Lago San

Pablo, la empresa comunitaria Totora Sisa y Totora Hogar son dos ejemplos de emprendimientos de interés sobre el diseño de objetos desarrollado por comunidades artesanales organizadas en el sector del Lago San Pablo (Ver figura 3) (A. P. Hidalgo C., 2015; Simbaña, 2003). Los tejedores de esta comunidad artesanal han colaborado también en proyectos innovadores de interés como en el caso del Cubo de Torora desarrollado por Archquid en donde se utilizan diferentes técnicas de tejido de totora como material arquitectónico para formar una estructura cúbica multifuncional (Franco, 2016). Otro ejemplo es el Anti-Kiosk de odD+achitects, cuyo revestimiento fue elaborado con totora por tejedores de Imbabura.



Figura 3. Mobiliario producido por la empresa comunitaria Totorá Sisa. Imbabura-Ecuador, 2018.
Elaboración propia.

En Perú se pueden mencionar a los constructores de los llamados “caballitos de totora” de las costas de Huanchaco, en donde el uso de la totora para la elaboración de pequeñas embarcaciones para pesca se sigue conservando desde tiempos ancestrales hasta nuestros días (Carpenter, 2007; Rondón, Banack, & Díaz Huamanchumo, 2003).

En Perú y Bolivia en las comunidades cercanas al Lago Titicaca el uso de la totora es una parte esencial de su modo de vida. Las aplicaciones de la totora por parte de estas comunidades incluyen: tejidos, cabañas, embarcaciones y diferentes objetos con técnicas muy interesantes (PELT, 2000; PELT & ADESU, 2003).

La totora ha empezado a utilizarse en ramas diversas como es el caso del proyecto de diseño de joyas “Totora: Accesorios corporales” desarrollado por Daniela Higuera, Camila Bravo, Francisca Álvarez, Luz María Olivares y Paola Volkeacaban de la Universidad del Pacífico en Chile. Este proyecto utiliza la totora combinada con metales preciosos en el diseño de joyas (Universidad del Pacífico, 2015).

Aplicaciones en construcción

Sobre las aplicaciones de la totora en la construcción es importante mencionar los estudios desarrollados por Juan Fernando Hidalgo-Cordero, que han evidenciado el elevado potencial de esta planta para propiciar un desarrollo tecnológico, económico y social de manera sostenible (Hidalgo Cordero, 2007, 2008, Hidalgo Cordero & García Navarro, 2017, 2018; P. Hidalgo C., 2016). Entre sus aportes se encuentra la documentación de las técnicas constructivas aplicadas en algunos de los principales objetos constructivos tradicionales manufacturados con totora como son las esteras, que son láminas de aproximadamente medio centímetro de espesor realizadas con tallos de totora entrelazados; las quesanas, que son un tejido de aproximadamente 5cm de espesor tejidas a modo de telar; las láminas de un tallo de totora, que se realizan atravesando un tallo por el centro con un hilo de manera que se crea una lámina de un tallo de espesor (Hidalgo Cordero, 2007).

Para el desarrollo de este proyecto de investigación es de especial interés la técnica de los rollos de totora. Esta técnica ha sido mayormente utilizada para la construcción de balsas de totora y consiste en la elaboración de rollos amarrados a presión con una cuerda continua en espiral. La técnica de construcción de balsas consiste en elaborar dos rollos grandes y uno pequeño de totora. Luego se envuelve una cuerda que une cada rollo grande con el rollo más pequeño. Luego las cuerdas se van apretando poco a poco de manera que se forma un cuerpo sólido en el que los dos rollos grandes quedan unidos por el rollo central que pasa a ser el corazón de la balsa. Durante el proceso de amarre se va dando la forma curva a las puntas del cuerpo de la balsa. Luego se amarran otros rollos más pequeños para formar los bordes de la balsa (Heyerdahl, 1971; Hidalgo Cordero, 2007; Rondón et al., 2003). Varias embarcaciones de totora se han construido con el fin de realizar expediciones transoceánicas para demostrar las teorías sobre posibles contactos intercontinentales entre las culturas ancestrales. Al momento se han realizado un total de 11 expediciones de este tipo que se citan a continuación Kitín Muñoz (Uru, 1988), Expedición Alemana (Chimok expedition, 1988), Kitín Muñoz (Mata Rangi 1, 2 y 3, 1996, 1999 y 2001), Paul Harmon y Alexei Vranich (QalaYampu, 2009), Dominique Goerlitz (Abora 2 y 3, 2002 and 2012), Phil Buck (Viracocha 1 y 2, 2000 y 2003). Y finalmente la expedición Viracocha 3 de Phil Buck que se encuentra actualmente realizando una travesía desde Chile hasta Australia (Allen, 2010; Buck, 2019).

La técnica de rollos de totora ha sido utilizada también en el diseño de objetos como en el caso de la silla "Rollos de totora" del diseñador peruano Ricardo Geldres que consiste en una estructura metálica a la cual se amarran rollos de totora para formar el asiento y espaldar de la silla (Geldres, 2008).

La técnica de los rollos de totora fue también utilizada en el Proyecto Totora desarrollado dentro del Máster de Estudios Integrales desarrollado en colaboración entre el Campus Waiblingen SAdBK de Alemania y la Especialidad de Diseño Industrial, Facultad de Arte y Diseño, Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP] entre 2009 y 2010 (PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú) & SAdBK (Stuttgart State Academy of Art and Design), 2010; PUCP, 2010). En este trabajo se diseñaron y construyeron diferentes estructuras utilizando la técnica de rollos de totora. Si bien no se han reportado datos sobre la resistencia mecánica de estas estructuras, la construcción de estos elementos demostró la resistencia que puede adquirir la totora amarrada a presión y la versatilidad para tomar formas complejas como se ve en la Figura 4, fotografía tomada por Rosemary Talavera en el 2009 en Puno-Perú.



Figura 4. Proyecto totora, proceso de construcción.
Fuente: Talavera, (2009).

Estudios relacionados al desarrollo de nuevas técnicas aplicables a la totora

Juan Fernando Hidalgo Cordero ha desarrollado una amplia variedad de técnicas innovadoras de procesamiento de la totora con la finalidad de producir elementos aplicables en el campo de la arquitectura y el diseño contemporáneos (Figura 5). Los ensayos realizados por Hidalgo Cordero (2007) reportaron una resistencia a la compresión axial de 3.9 N/mm² para un grupo de tallos de totora atada

con presión media. La resistencia a la tracción de un tallo de totora aislado 3.7 N/mm² (Ver tabla 1). Por otra parte, se reporta que la totora saturada incrementa 4 veces su peso seco inicial con una velocidad de absorción de 7% de incremento de peso por minuto en los primeros 20 minutos de inmersión. Se menciona que esta capacidad de absorción puede representar un problema o también ser beneficioso al momento de aplicar tratamientos a los tallos de totora (Hidalgo Cordero, 2007).

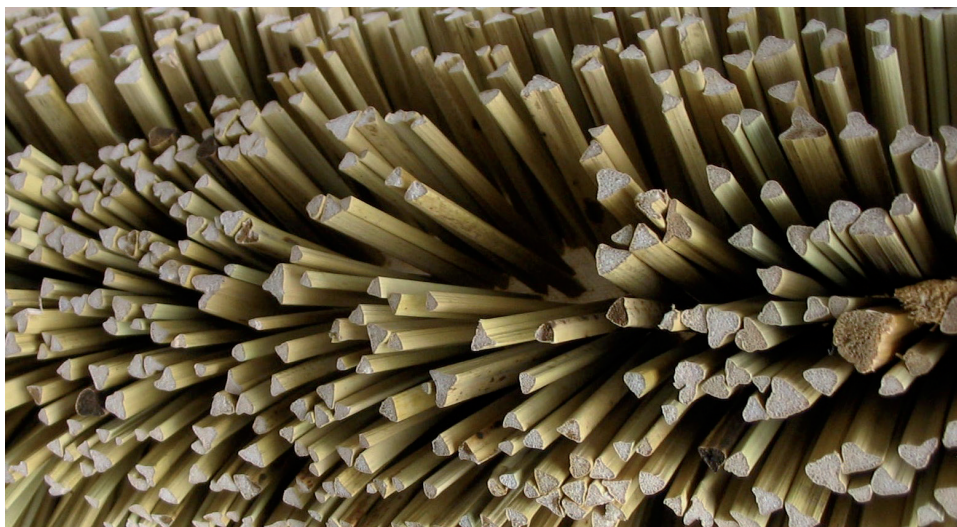


Figura 5. Textura experimental para revestimientos arquitectónicos con tallos de totora, 2006.
Elaboración propia.

Otro de los proyectos de interés es el desarrollado por el diseñador Edward Barragán, que consiste en una serie de mobiliario realizado con estructura metálica revestida con totora tejida, así

como una de las cabañas del complejo turístico Urku Wasi en San Rafael de la Laguna realizada con la misma técnica constructiva (Ver figura 6).

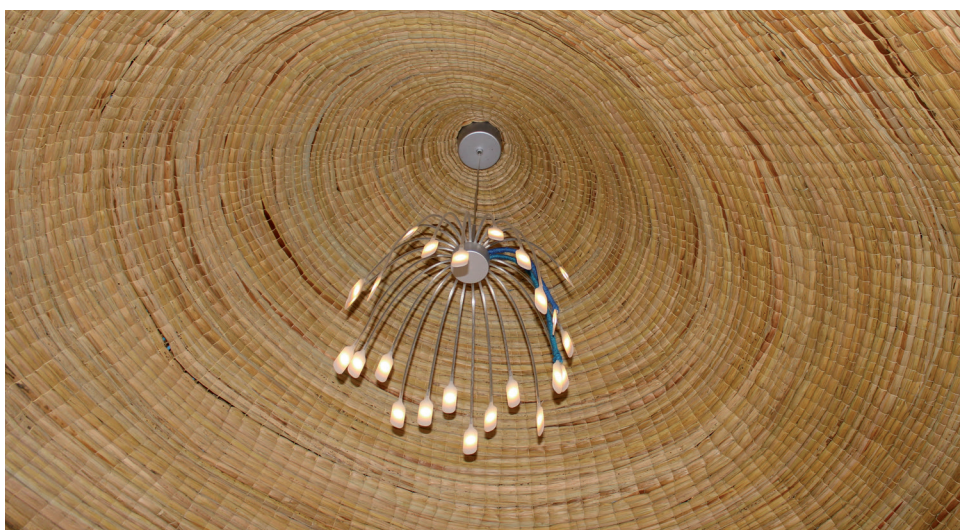


Figura 6. Interior de cabaña de totora en Urku Wasi. Imbabura-Ecuador, 2018.
Elaboración propia.

La factibilidad de la utilización de la totora como aislamiento térmico ha sido también estudiada por Aza-Medina (2016) mediante la elaboración de probetas aglomeradas de totora triturada y de tallos enteros utilizando aglomerantes naturales. Del análisis de las prestaciones térmicas de estas probetas se obtuvieron datos de conductividad promedio de 0.055 W/mK en las probetas de totora triturada y de 0.066W/mK en las probetas de tallos enteros. Adicionalmente, se estudió la resistencia mecánica de las probetas de totora triturada que tuvieron un módulo de rotura $MOR = 0.48 \text{ N/mm}^2$ y las de tallos enteros $MOR = 7.46 \text{ N/mm}^2$ (Ver tabla 1).

En el trabajo desarrollado por Culcay (2014), se ha estudiado la aplicación de la totora en el diseño industrial. En este estudio se elaboraron aglomerados de totora utilizando gomas de Polivinil-Acetato para ser aplicados en diferentes diseños. De las pruebas presentadas de resistencia mecánica de los aglomerados se reporta un valor más elevado de resistencia a flexión de los aglomerados realiza-

dos con tallos de totora contra-laminados que los elaborados con tallos de totora paralelos. Los valores reportados fueron 0.81 N/mm^2 y 0.16 N/mm^2 , respectivamente (Ver tabla 1).

Otro estudio realizado por Mejía Echeverría (2017) analiza la factibilidad de aplicar un modelo matemático para modelar el comportamiento de un elemento elaborado con matriz de resina de poliéster y reforzado con tallos de totora presionados. Se reporta que es necesario un lijado de la corteza de los tallos para lograr una interfaz adecuada con la resina. Adicionalmente se realizan ensayos de resistencia mecánica tanto de los tallos de totora como de la resina y finalmente del compuesto resina-totora. Estos ensayos de la totora presionada reportaron valores de resistencia a tracción promedio de 85.90 MPa y un módulo de elasticidad de 1832.0185 MPa. Se identifica a la totora como un material frágil y de comportamiento lineal ante el esfuerzo a tensión (Ver tabla 1).

Material descripción	Espesor mm	Aglomerante	Resistencia a flexión N/mm ²	Resistencia a compresión N/mm ²	Resistencia a tracción N/mm ²	Referencia
Probeta de totora contra-laminada	50	PVA ¹	0.81			(Culcay, 2014)
Probeta de totora paralela	112	PVA ¹	0.16			(Culcay, 2014)
Probeta de totora triturada	13 ± 2	Adhesivos naturales	0,48 ± 0,16			(Aza-Medina, 2016)
Probeta de totora contra-laminada	13 ± 2	Adhesivos naturales	7,46 ± 1,07			(Aza-Medina, 2016)
Probeta de totora perpendicular al plano	125	PVA ¹		0.60		(Culcay, 2014)
Tallo aislado de totora	-	-		1.47		(Hidalgo-Cordero, 2007)
Rollo de totora amarrado con tensión media	100	Amarre con tensión media		3.70		(Hidalgo-Cordero, 2007)
Tallos de totora presionados	-	-			85.90	(Mejía Echeverría, 2017)

¹ PVA. Polivinil-Acetato

Tabla 1. Datos de resistencia mecánica de la totora reportada por varias fuentes.

Fuente: Hidalgo Cordero & García Navarro, (2018).

Elaboración propia.

Materiales

- La totora utilizada para formar los cilindros fue obtenida de la zona de Paccha, Azuay, Ecuador. La totora fue cosechada entre los meses de julio y agosto del 2016, cortada a 5cm sobre la superficie del agua y secada al sol con los métodos tradicionales del sector. Una vez seca permaneció almacenada durante un año bajo cubierta a temperatura ambiente en la ciudad de Cuenca.
- Para el amarre se utilizó cuerda de algodón de 2mm de espesor.
- El pegamento utilizado en los ensayos de rollos con aglomerantes fue pegamento de contacto marca adheplast.

Pruebas de resistencia mecánica

Las pruebas de resistencia mecánica se realizaron en los laboratorios de resistencia de materiales de la Escuela de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid y en el laboratorio de construcciones de la Universidad de Cuenca. El equipo utilizado fue una prensa universal marca IBERTEST MIB-60/AM.

Metodología

Elaboración de los rollos de totora con tensiones de amarre definidas

Para la fabricación de los rollos de totora con tensiones de amarre constantes se elaboró un sistema experimental que consistió en aplicar una tensión definida a la cuerda de amarre mediante una polea y un peso dado. Este peso se varió en 2, 3 y 4 kg. Se elaboraron un total de 12 rollos con cada tensión de amarre. Para cada tensión se elaboraron dos rollos de aproximadamente 8cm de diámetro y 30cm de longitud, cinco rollos de aproximadamente 5cm de diámetro y 30cm de longitud y 5 rollos de aproximadamente 3.5cm de diámetro y 54cm de longitud. El diámetro mínimo de 3.5cm se definió

como el mínimo que permitía acumular al menos 30 tallos de totora en el rollo para obtener un volumen consistente que resista el proceso de elaboración del rollo. El diámetro máximo fue definido como el máximo manejable con los medios manuales empleados para la elaboración de los rollos. La longitud de 30cm garantiza un número de al menos 5 giros de la espiral de cuerda para sostener el conjunto en un volumen compacto. La longitud de probetas de 3.5cm de diámetro y 54cm de longitud se definió como la longitud dentro del límite admisible de mínimo 15 veces el diámetro según el estándar UNE-EN 408:2011+A1 del 2012 para ensayos a flexión. La codificación de los elementos ensayados se puede observar en la Tabla 2.

Elaboración de los rollos de totora con tensión de amarre definida y pegamento de contacto

Posteriormente se realizaron cilindros de totora con una tensión de amarre de 4kg y pegamento de contacto para conseguir adherencia entre los tallos de totora. Los cilindros fueron construidos con un molde de 5 cm de diámetro.

Al no existir normativa específica para este tipo de material, para el análisis de las propiedades mecánicas de los rollos de totora se ha utilizado la normativa española existente para analizar las propiedades mecánicas de elementos de madera, por ser la normativa más aproximada al tema de estudio.

El ensayo de resistencia a la compresión axial se realizó tomando como referencia el estándar para madera UNE 56-535-77, "Determinación de la resistencia a la compresión axial", del año 1977 ratificada en 2017 por AENOR (Agencia Española de Normalización) para el análisis de las propiedades mecánicas de elementos de madera. Si bien esta norma define tamaños de probetas de madera de 20x20x60mm, los rollos de totora tienen otras características diferentes por lo que se ha definido una longitud de probeta de 30cm que tendría al menos cinco espirales de cuerda de amarre para garantizar una cierta consistencia del elemento. Los diámetros de 5cm y 8cm se definieron con el fin de estudiar la influencia del mismo en la resistencia a compresión.

El ensayo de resistencia a la flexión estática con un punto de carga de las probetas de 30cm de longitud se realizó según el estándar para madera UNE 56-537-79, "Determinación de la resistencia a la flexión estática", del año 1979 ratificada en el 2017 por AENOR (Agencia Española de Normalización) para el análisis de las propiedades mecánicas de elementos de madera. Este estándar define probetas de 20x20x300mm para probetas de madera maciza. Para el caso de la totora se han empleado probetas de aproximadamente 3.5cm, 5cm y 8cm de diámetro para estudiar la influencia del mismo en la resistencia a compresión. La longitud de 30cm se ha mantenido constante para estimar la influencia del diámetro en la resistencia de los elementos.

El ensayo de resistencia a flexión estática con dos puntos de carga de las probetas de 54cm de longitud se realizó según el estándar UNE-EN 408:2011+A1 del 2012. "Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas". Las probetas de 3.5cm de diámetro y longitud de 54cm se definieron como el mínimo admisible según el estándar que menciona que la longitud de la probeta podría ser de hasta 15 veces el diámetro.

Análisis estadístico

De acuerdo al presente diseño de experimento en el cual las variables independientes son parámetros previamente definidos, como el diámetro, longitud y tensión de amarre de las probetas; que son estudiados en su poder de estimación de las variables dependientes, en este caso la resis-

tencia a compresión y flexión de los rollos de totora, se decide que el proceso estadístico a aplicar es el de regresión. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS, con la función de estimación de la regresión lineal y cuadrática, y estimación de coeficientes con un valor alpha de 0.05.

Discusión y resultados

Ninguno de los cilindros presentó rotura, por lo que se consideró mantener la aplicación de la carga hasta obtener una deformación similar al diámetro de la probeta en el caso de los ensayos a flexión (Ver figura 7), y de un promedio de 80mm en el caso de los ensayos a compresión (Ver figura 8).

Durante los ensayos se pudo constatar la gran capacidad de recuperación de los cilindros de totora, pues luego de retirar la carga aplicada los cilindros recuperaban casi por completo su forma original. Algunos cilindros con tensión de amarre de 2kg fueron ensayados dos veces a flexión para verificar el porcentaje de disminución de resistencia del material por fatiga. En este caso se registraron disminuciones del 30% en promedio. Sin embargo, es pertinente realizar ensayos más a fondo sobre este tema para poder definir el grado de fatiga del material.

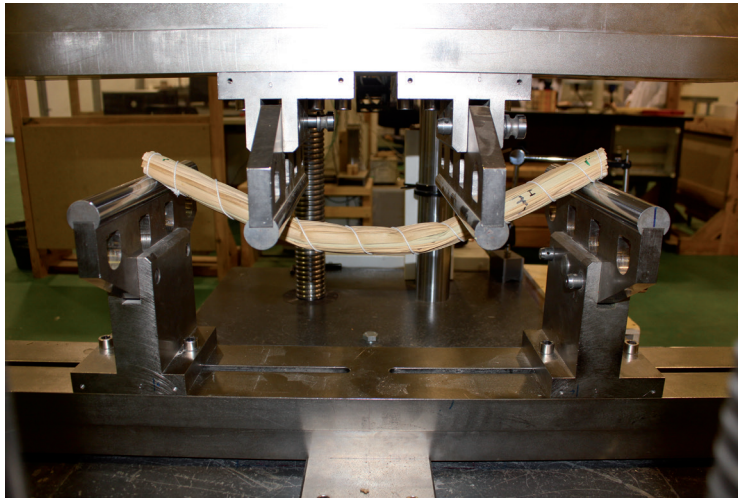


Figura 7. Ensayo a flexión de rollos de totora, 2018.
Elaboración propia.



Figura 8. Ensayo a flexión de rollos de totora, 2018.
Elaboración propia.

Resultados de pruebas de resistencia mecánica

La codificación y resultados de las pruebas mecánicas se pueden observar en la tabla 2.

Código cilindro	Tensión kg	Diámetro mm	Longitud mm	Copmpresión MPa	Flexión MPa
2A	2	80	300	0.419	
2B	2	80	300		0.655
2C	2	50	300		1.29
2D	2	50	300		1.19
2E	2	50	300	1.116	
2F	2	53	300	1.13	
2G	2	50	300	1.275	
2H	2	35	540		3.3
2I	2	33	540		3.2
2J	2	33	540		2.6
2K	2	33	540		3.1
2L	2	35	540		2.7
3A	3	80	300		0.595
3B	3	80	300	1.6	
3C	3	50	300		1.24
3D	3	50	300		1.4
3E	3	48	300	1.3091	
3F	3	54	300	1.396	
3G	3	50	300	1.337	
3H	3	35	540		3.7
3I	3	35	540		2.65
3J	3	35	540		2.6
3K	3	35	540		2.7
3L	3	35	540		2.7
4A	4	80	300		0.47
4B	4	80	300	1.253	
4C	4	45	300		1.81
4D	4	45	300		1.8
4E	4	47	300	1.074	
4F	4	45	300	1.213	
4G	4	50	300	1.362	
4H	4	35	540		2.9
4I	4	35	540		3
4J	4	35	540		2.6
4K	4	35	540		3
4L	4	35	540		2.9

Tabla 2. Codificación de rollos de totora ensayados y resultados.
Elaboración propia.

Con los datos obtenidos se realizó una matriz de correlación entre las diferentes variables para el caso de la compresión (Ver Figura 9).



Figura 9. Matriz de correlación de variables frente a la compresión.
Elaboración propia.

En el caso de la compresión se identifica la mayor varianza entre los cilindros de 8cm de diámetro con un valor mínimo atípico y un máximo muestral, lo cual podría deberse a que, con las tensiones de amarre estudiadas, los cilindros de mayor diámetro no consiguen una cohesión suficiente de las fibras pues la tensión de amarre, que es exterior, se absorbe en las fibras del exterior del cilindro sin llegar a cohesionar las del interior, lo cual genera valores inconsistentes y atípicos.

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la tensión de amarre y la re-

sistencia a compresión se puede deducir que, para el rango analizado, no existe una relación lineal significativa entre la tensión de amarre y la resistencia a compresión. El valor de significancia = 0.265 del modelo de regresión lineal indica que la relación no es significativa.

Sin embargo, para la prueba de ajuste de un modelo de regresión cuadrática indica un valor de significancia = 0.099, que podría indicar que existe una relación significativa, aunque débil de tipo cuadrática entre la tensión de amarre y la resistencia a compresión (Ver figura 10).

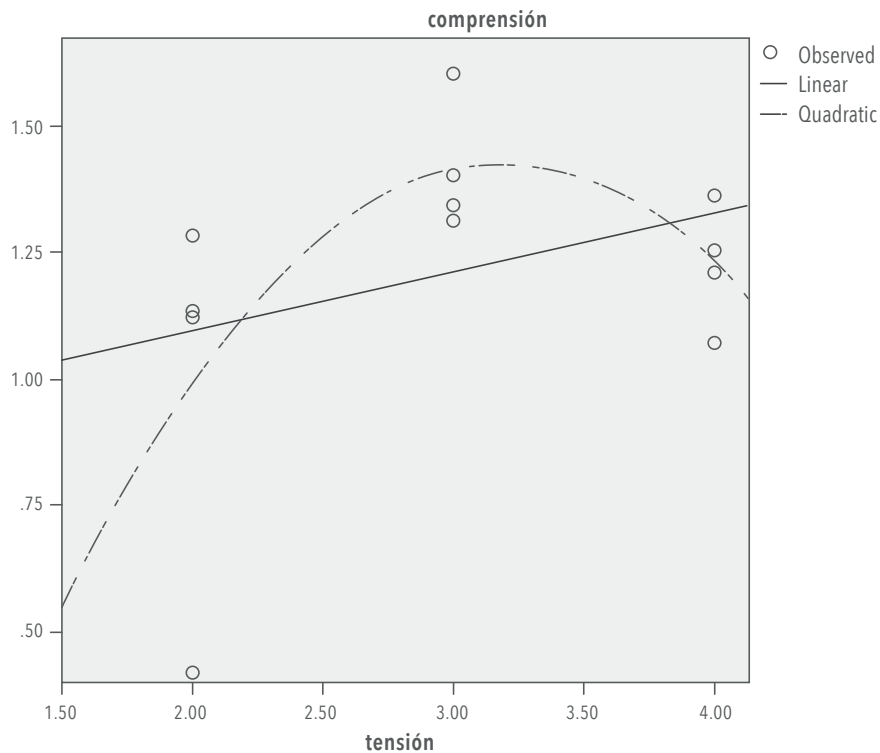


Figura 10. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal y cuadrática entre la resistencia a compresión y la tensión de amarre de los rollos de totora.

Elaboración propia.

Sin embargo, si se elimina el valor mínimo extremo para el cilindro con diámetro de 8cm, debido a que puede deberse a una falta de cohesión de los tallos, y se realiza la prueba de ajuste de regresión lineal y cuadrática (Ver figura 11), se obtiene un mejor ajuste de la regresión cuadrática con un valor de significancia = 0.057. El ajuste de la regresión

lineal disminuye eliminando el valor extremo, por lo que se puede reforzar la idea de que en el rango estudiado la relación entre la resistencia a compresión y la tensión de amarre podría no tener un comportamiento lineal.

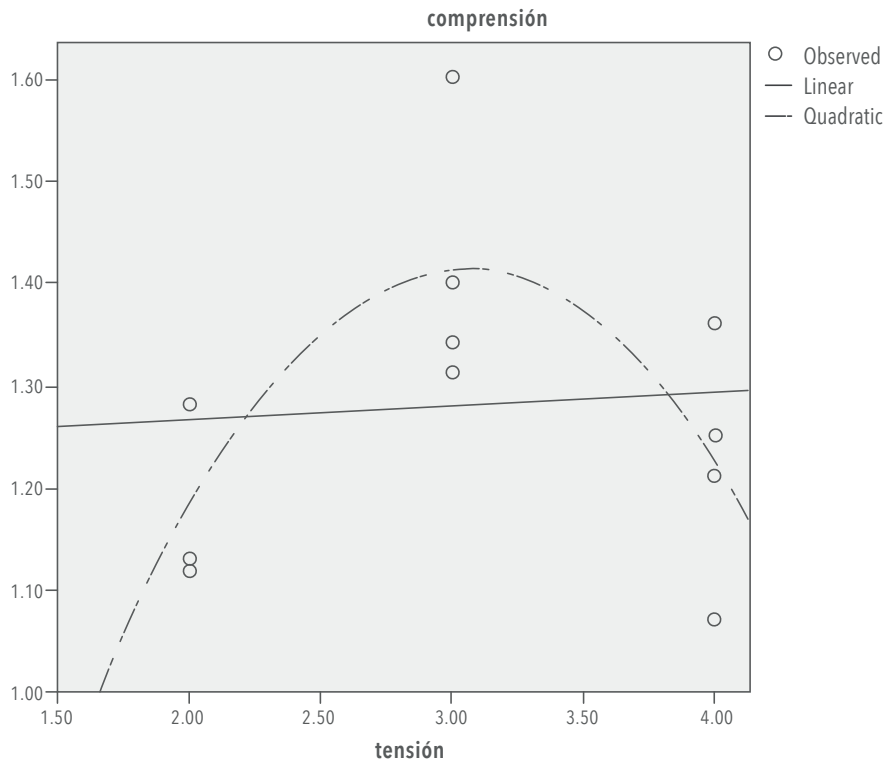


Figura 11. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal y cuadrática entre la resistencia a compresión y la tensión de amarre de los rollos de tatora eliminando el valor mínimo extremo. Elaboración propia.

La ligera mejora observada en los valores de resistencia a compresión para tensiones de amarre de 3kg, que luego decrece para tensiones de 4kg, podría deberse a fenómenos relacionados a la destrucción de la estructura original de las fibras a tensiones mayores. Para poder comprobar esta tendencia es necesario realizar experimentos con rangos mayores de tensión de amarre. Sin embargo, esta observación resulta de interés para el rango de tensiones de amarre estudiadas.

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre el diámetro y la resistencia a compresión (Ver figura 12) se puede deducir que, para el rango analizado, no existe una relación significativa entre el diámetro y la resistencia a compresión. El valor de significancia = 0.483 del modelo de regresión indica que la relación no es significativa.

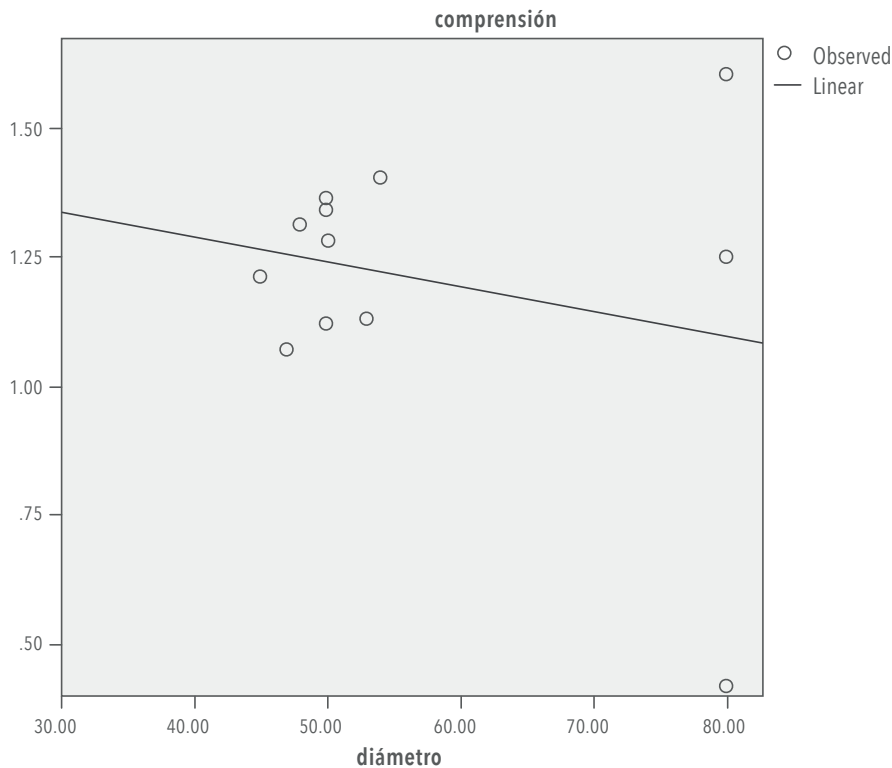


Figura 12. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a compresión y el diámetro de los rollos de totora.

Elaboración propia.

Del diagrama gráfico de la relación entre estas dos variables no se identifica un patrón claro. Se puede observar que la variabilidad es mayor para los cilindros con diámetro mayor, lo cual podría indicar que, para diámetros mayores, con las tensiones de amarre estudiadas no se consigue una cohesión suficiente de las fibras como para obtener un comportamiento consistente identificable.

Estimación del modelo de regresión múltiple para la resistencia a compresión

El valor de $R=0.811$ del modelo de regresión múltiple indica un alto grado de correlación general, por lo que puede ser útil para explicar la resistencia a compresión de los cilindros en función de la tensión de amarre y el diámetro con los coeficientes estimados que se muestran en la tabla 3 con sus respectivos valores de significancia.

Coeficientes^a

		Coeficientes			
		B	Error	t	Significancia
1	(Constante)	-.613	.578	-1.059	.325
	tensión	1.156	.411	2.813	.026
	tension2	-.191	.067	-2.828	.025
	diámetro	.005	.003	1.726	.128

Tabla 3. Significancia de los coeficientes del modelo de regresión para la resistencia a compresión. Elaboración propia.

a. Variable dependiente: compresión

$$c = -0.191t^2 + 1.156t + 0.005d - 0.613 \quad [1]$$

en donde:

c=resistencia a compresión

t=tensión de amarre

d=diámetro

Sin embargo, al realizar el análisis de la significancia de los coeficientes, se pudo observar que el diámetro tiene un valor de $p=0.128$ dentro del modelo, lo cual indica que su valor no es influyente en el resultado. Por lo que, para los valores analizados, el modelo que mejor explica la resistencia a compresión es únicamente el modelo de regresión cuadrática entre la resistencia a compresión y la tensión de amarre [2].

$$c = -0.191t^2 + 1.156t - 0.613 \quad [2]$$

en donde:

c=resistencia a compresión

t=tensión de amarre

Sin embargo, es necesario realizar ensayos adicionales analizando rangos mayores de diámetro de probetas para poder detectar una tendencia clara de este factor, pues desde un punto de vista empírico, se podría esperar que el diámetro de la probeta tenga una mayor influencia en la resistencia a compresión.

Resistencia a flexión

De la misma manera se realizó una matriz de correlación entre las diferentes variables para el caso de la flexión (Ver figura 13).

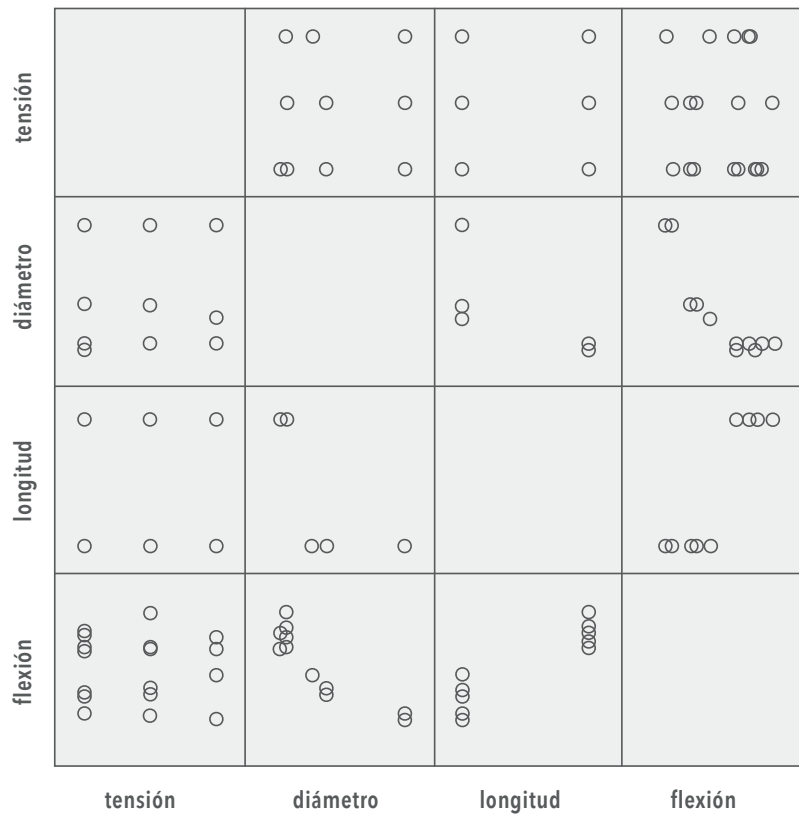


Figura 13. Matriz de correlación de variables frente a la flexión.

Elaboración propia.

En esta matriz de correlación se puede observar que la tensión de amarre no tiene mayor influencia sobre la resistencia a flexión. Por el contrario, el diámetro y la resistencia a flexión presentan una relación inversamente proporcional. De igual manera, la relación entre la longitud y la resistencia a flexión es directamente proporcional. En estos casos se detectó un aumento de la resistencia a flexión directamente proporcional a la longitud de la probeta. Por lo tanto, se podría indicar que una mayor longitud ocasiona mayor área de contacto entre las fibras que por esfuerzos de rozamiento limita su movimiento, que es lo que confiere resistencia a flexión al conjunto. Este comportamiento se puede mejorar

con la utilización de adhesivos que limiten el movimiento longitudinal entre los tallos de totora.

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la tensión de amarre y la resistencia a flexión (Figura 6) se puede deducir que, para el rango analizado, no existe una relación significativa entre el diámetro y la resistencia a flexión. El valor de significancia = 0.636 del modelo de regresión indica que la relación no es significativa.

Del diagrama gráfico de la relación entre estas dos variables no se identifica un patrón claro. Se puede observar que existe una variabilidad similar para todos los grupos de tensiones estudiadas.

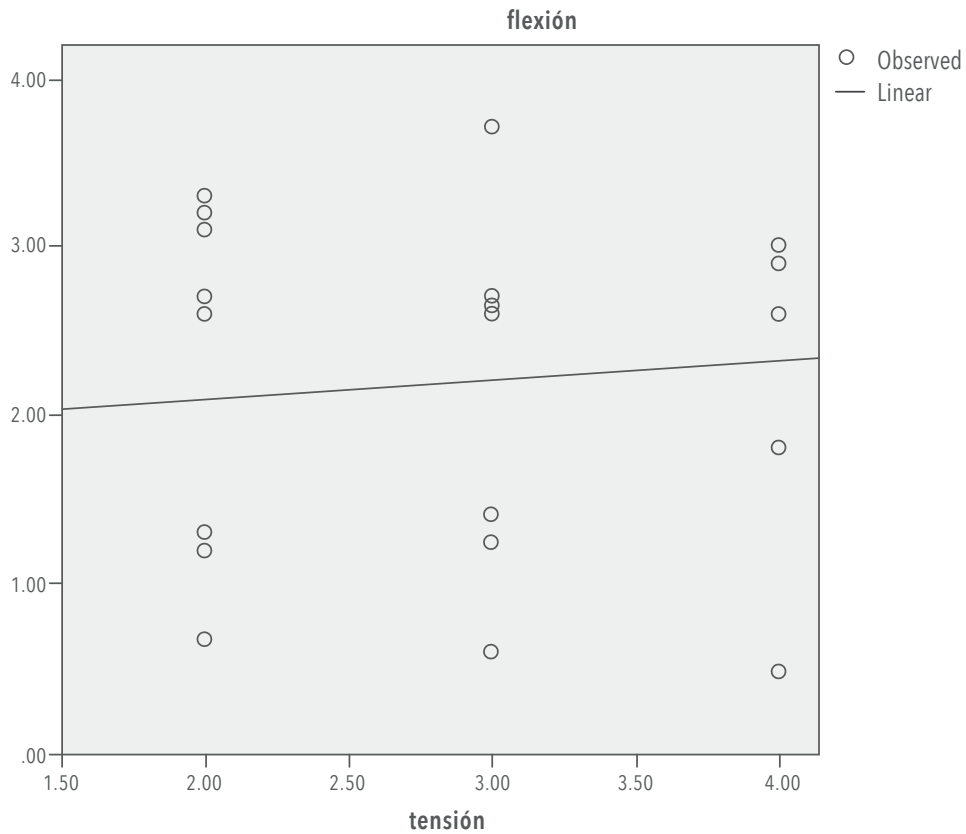


Figura 14. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a flexión y la tensión de amarre de los rollos de totora.
Elaboración propia.

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre el diámetro y la resistencia a flexión (Ver figura 15) se puede deducir que, para el rango analizado, existe una relación lineal significativa inversamente proporcional con un valor de significancia = 0.00.

Esto podría indicar que mientras mayor es el diámetro, a una misma tensión de amarre y longitud, menor es la cohesión conseguida entre los tallos, lo que causaría una reducción en la resistencia a flexión.

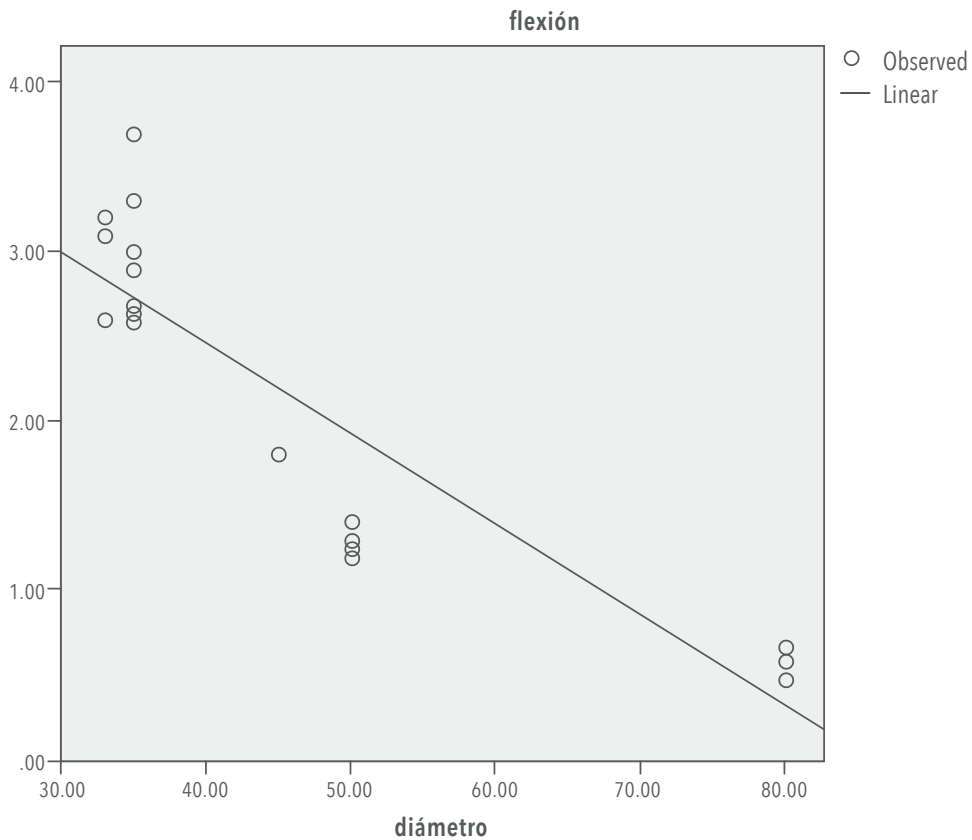


Figura 15. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a flexión y el diámetro de los rollos de totora.
Elaboración propia.

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la longitud y la resistencia a flexión (Ver figura 16) se puede deducir que, para el rango analizado, existe una relación lineal significativa directamente proporcional con un valor de significancia = 0.00.

Esto indica que, con una mayor longitud, con diámetro y tensión de amarre constantes, el área de contacto y rozamiento entre los tallos es mayor, lo que favorece a la resistencia a flexión.

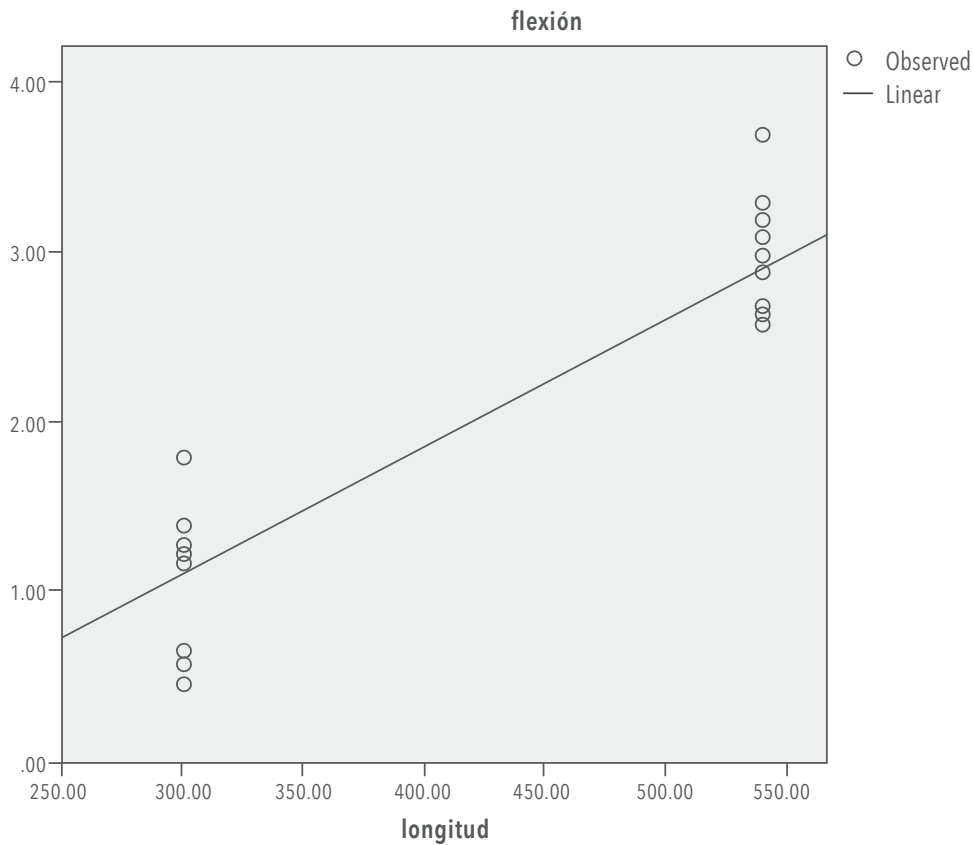


Figura 16. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a flexión y la longitud de los rollos de totora.
Elaboración propia.

Estimación del modelo de regresión múltiple para la resistencia a flexión

El valor de $R=0.964$ del modelo de regresión múltiple indica un alto grado de correlación general, por lo que puede ser útil para explicar la resistencia a flexión de los cilindros en función de la

tensión de amarre, el diámetro de los rollos de totora, y la longitud con los coeficientes estimados que se muestran en la tabla 4 con sus respectivos valores de significancia.

Coefficientes^a

		Coeficientes			
		B	Error	t	Significancia
1	(Constante)	1.461	.625	2.337	.029
	tensión	.014	.068	.210	.835
	longitud	.004	.001	5.628	.000
	diámetro	-.028	.006	-4.943	.000

a. Variable dependiente: flexión

Tabla 4. Significancia de los coeficientes del modelo de regresión para la resistencia a flexión.
Elaboración propia.

$$f = 0.14t - 0.28d + 0.004l + 1.461 \quad [2]$$

en donde:

f=resistencia a flexión

t=tensión de amarre

d=diámetro

l=longitud

Sin embargo, la significancia de la tensión de amarre de 0.156 dentro del modelo indica que, para los valores analizados, el modelo que mejor explica la resistencia a flexión no considera la tensión de amarre. Por lo que el modelo de regresión que mejor explica el comportamiento a flexión de los rollos de totora con los parámetros analizados sería el siguiente:

$$f = -0.28d + 0.004l + 1.461 \quad [2]$$

en donde:

f=resistencia a flexión

d=diámetro

l=longitud

El modelo nos indica que, la resistencia a flexión es indirectamente proporcional al diámetro de la probeta con un coeficiente de -0.28, mientras que la longitud es directamente proporcional a la resistencia a flexión con un coeficiente de 0.004.

Sin embargo, es necesario analizar rangos mayores de tensiones de amarre para detectar una influencia más clara de este factor que desde un punto de vista empírico se presume que debería tener mayor influencia.

Ensayos de rollos de totora con pegamento de contacto

Con los resultados obtenidos se realizaron pruebas adicionales de compresión y flexión con rollos de totora utilizando como aglomerante cemento de contacto en una proporción totora-goma de 10:1 medida en peso.

Las características de los cilindros ensayados y los resultados de los ensayos se muestran en la tabla 6. Los Cilindros fueron ensayados en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad de Cuenca.

Código cilindro	Tensión kg	Diámetro mm	Longitud mm	Peso kg	Compresión mpa	Flexión mpa
C1	4	50	190	49.94	1.84	
C2	4	50	190	75.7	3.05	
C3	4	50	190	55.4	2.57	
C4	4	50	190	64.5	2.07	
F1	4	50	800	219.5		21.87
F2	4	50	800	210.7		19.33
F3	4	50	800	203		19.78
F4	4	50	800	264.6		18.28
F5	4	50	800	178.8		14.38
F6	4	50	800	223.4		18.42
F7	4	50	800	213.6		21.27
F8	4	50	800	234.2		23.67
F9	4	50	800	178		29.06

Tabla 5. Codificación de cilindros con adhesivo de contacto y resultados físico-mecánicos.
Elaboración propia.

Resultados de pruebas de resistencia mecánica

De los resultados obtenidos se observa que la resistencia a compresión tiene un valor cercano al doble de la resistencia promedio de los cilindros sin aglomerante ensayados anteriormente. La resistencia a flexión presenta una mejora significativa con valores aproximadamente 10 veces mayores a los obtenidos en los cilindros ensayados anteriormente.

En principio se puede mencionar que la principal función que cumple el adhesivo en este caso, que es la de limitar el movimiento longitudinal entre las fibras, mejora significativamente las propiedades de resistencia mecánica de los cilindros.

Adicionalmente se han realizado los respectivos análisis para estudiar la correlación el peso de las probetas ensayadas y su resistencia mecánica.

Resistencia a flexión

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre el peso y la resistencia a flexión (Ver figura 17) se puede observar que no existe una relación lineal definida con un valor de significancia de $p=0.679$. Por lo tanto, en este caso el peso no es una variable que pueda servir para predecir la resistencia a flexión de los cilindros de totora con adhesivos de contacto construidos con los parámetros estudiados.

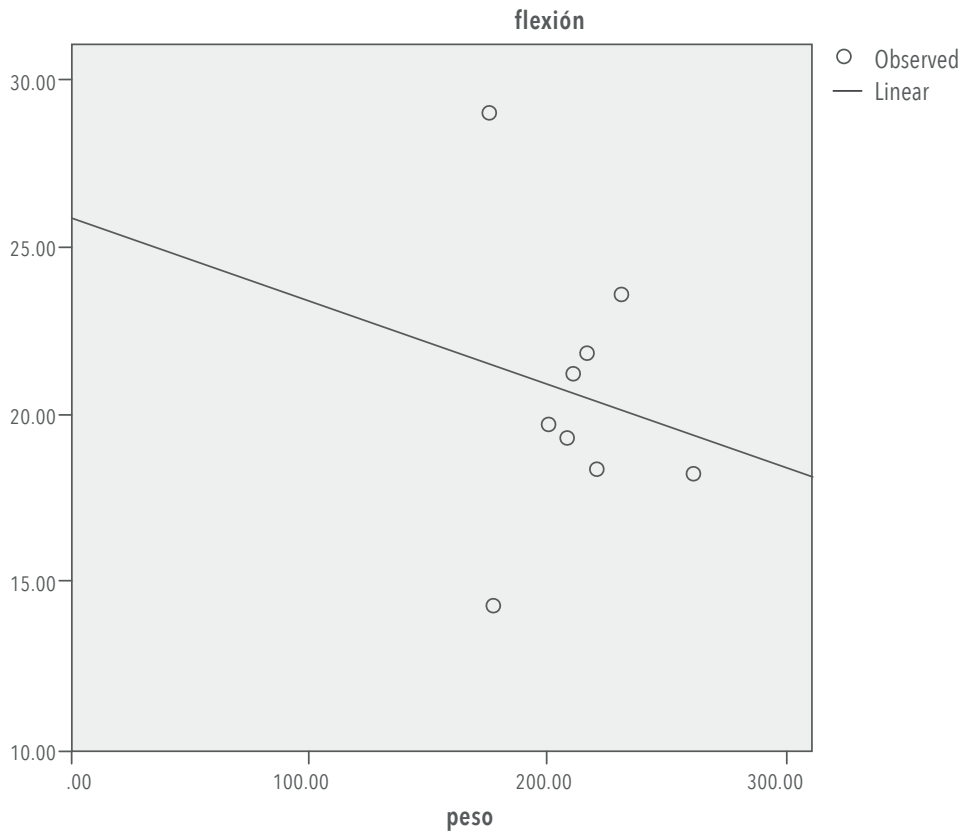


Figura 17. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a flexión y el peso de los rollos de totora con adhesivo de contacto.
Elaboración propia.

Resistencia a compresión

De la prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre el peso y la resistencia a compresión (Ver figura 18) se puede observar que no existe una relación lineal definida con un valor de signifi-

cancia de $p=0.253$. Por lo tanto, en este caso el peso no es una variable que pueda servir para predecir la resistencia a compresión de los rollos de totora con adhesivo de contacto contruidos con los parámetros estudiados.

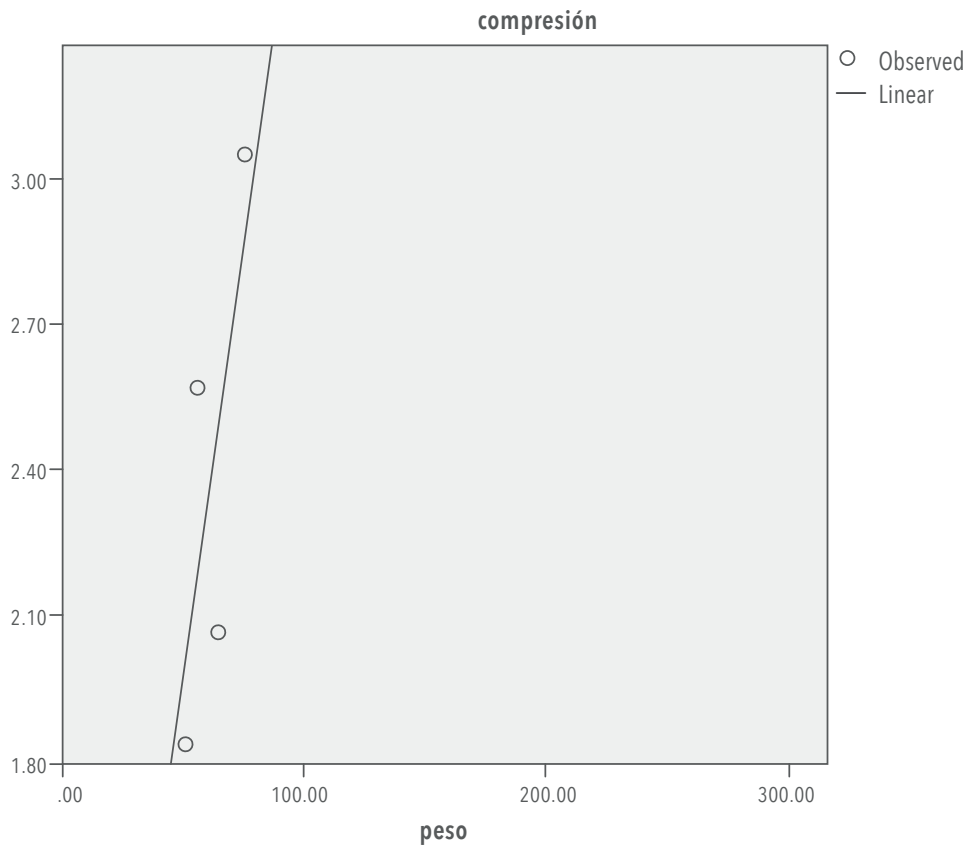


Figura 18. Prueba de ajuste del modelo de regresión lineal entre la resistencia a compresión y el peso de los rollos de totora con adhesivo de contacto.
Elaboración propia.

Estos resultados pueden indicar que factores como la distribución del pegamento entre las fibras o el grado de adherencia pueden tener mayor

influencia en la resistencia mecánica de los rollos que la densidad de los elementos.

Conclusiones

Los rollos de totora amarrados tienen diferentes comportamientos dependiendo de la tensión de amarre, el diámetro y la longitud de estos. Con los diámetros mayores no se consigue una cohesión suficiente de los tallos, por lo que se generan valores atípicos no consistentes. Para poder definir de mejor manera el comportamiento con respecto al diámetro se deben ensayar tensiones de amarre mayores que lleguen a cohesionar todo el conjunto para confirmar las tendencias identificadas en este estudio.

La tensión de amarre influye en la resistencia a compresión de los rollos de totora de diferentes maneras. En el caso del aumento de la tensión de amarre de 2 a 3 kg de tensión se verifica un aumento de la resistencia. Sin embargo, en el caso del aumento de la tensión de 3 a 4 kg se verifica una disminución de la resistencia. Este hecho puede deberse a la destrucción de la estructura de los tallos cuando la tensión de amarre aumenta, lo cual debilita el conjunto. Sin embargo, este comportamiento puede revertirse con tensiones de amarre mayores o mediante el uso de pegamentos, por lo que es conveniente realizar ensayos con tensiones de amarre mayores para comprobar esta tendencia.

Las tensiones de amarre ensayadas no tuvieron un impacto significativo en la resistencia a flexión. Sin embargo, la longitud influye de manera directamente proporcional en la resistencia a flexión y el diámetro influye de manera inversamente proporcional. Esto puede deberse a que el aumento de la longitud aumenta el área de contacto y fricción entre los tallos de totora, pero de manera inversa, un mayor diámetro requeriría de una tensión mayor para conseguir una cohesión adecuada; sin embargo, es necesario realizar un mayor número de ensayos con mayores tensiones de amarre o diferentes configuraciones de fibras para confirmar estas tendencias.

Como un ensayo complementario se realizaron rollos de totora con adhesivo de contacto para estudiar su influencia en la resistencia mecánica. La función principal del adhesivo es de limitar el movimiento longitudinal entre los tallos de totora, con lo que duplica la resistencia a compresión y aumenta 10 veces más la resistencia a flexión de los rollos con los parámetros estudiados, llegando a obtener resistencias del orden de 20 MPa a flexión. Del análisis de los parámetros estudiados se puede observar que no existe una relación identificable entre el peso de las probetas y su resistencia, por lo que es necesario estudiar un mayor número de parámetros para llegar a identificar las correlaciones que puedan servir de guía para una correcta producción y aplicación de estos elementos en la construcción y en la industria. El uso de adhesivos puede estudiarse con mayor detalle para definir la posibilidad de utilizar productos amigables con el medio ambiente y que generen resultados favorables.

La conformación de rollos de totora para uso constructivo es una opción que presenta potenciales ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad y que puede ser aplicada con muy pocos requerimientos tecnológicos. Estas características demuestran su potencial aplicación en contextos en donde este material es abundante y los recursos tecnológicos son escasos, realidad que se evidencia en algunos sectores sociales de Latinoamérica. Para lograr que los potenciales beneficios de este material y sus posibilidades tecnológicas sean aplicados, es necesario profundizar en los temas investigados, evaluando la influencia de un mayor número de variables, como mayores tensiones de amarre, opciones de aglomeración, pre-tratamientos a la fibra, durabilidad, resistencia al fuego, etc. La investigación sobre las posibilidades constructivas de la totora es un campo con importante potencial en cuanto a los beneficios medioambientales, económicos y sociales en el Ecuador, y replicable en otros contextos similares.

Referencias

- ADESU. (2001). 21.03 *Técnicas de reimplante de totora ámbito Boliviano*. Recuperado de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.03 VOL1.pdf
- Al Extremo. (2016). *Pasión por el trabajo: Tejedores de Tule* - YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=WHNAXiWB8fo>
- Allen, J. (2010). History of Reed Ships. Recuperado de <http://www.atlantisbolivia.org/areed-boathistory.htm>
- Aza-Medina, L. C. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico : Propiedades y potencialidades* (Tesis de master). Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/88419>
- Bardolph, P. (2016). *Tules: Weaving Baskets, Boats, Decoys, and Houses*. Recuperado de <https://www.kcet.org/shows/tending-the-wild/tules-weaving-baskets-boats-decoys-and-houses>
- Buck, P. (2019). *Buck Expeditions - The longest raft voyage*. Recuperado de <http://buckexpeditions.com/en/>
- Carpenter, H. M. (2007). *Caballitos and totora: The story of the sedge schoenoplectus californicus*. University of California. Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/304838855?accountid=14712>
- Culcay, A. (2014). *Experimentación con la fibra de totora* (Tesis de pre-grado). Universidad del Azuay. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3903>
- De Lange, P. J.; Gardner, R. O.; Champion, P. D.; y Tanner, C. C. (2008). "Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) in New Zealand". *New Zealand Journal of Botany*, 36(3), 319-327. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/0028825X.1998.9512573>
- Enríquez Criollo, L. T. (2015). *Estudio de mercados alternativos para las artesanías de totora y los mecanismos de comercialización que generen oportunidades comerciales para la provincia de Imbabura* (Tesis de pre-grado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Recuperado de <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/399>
- Franco, J. (2016). *The totora cube investigates the techniques of incan-era craftsmanship*. Recuperado de <http://www.archdaily.com/802481/the-totora-cube-investigates-the-techniques-of-incan-era-craftsmanship>
- Geldres, R. (2008). *Geldres Design*. Recuperado de <http://www.geldres.com/>
- Heiser, C. (1978). "The Tatora (Scirpus Californicus) in Ecuador and Peru". *Economic Botany*, 32(3), 222-236. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/BF02864698>
- Heyerdahl, T. (1971). *The Ra expeditions*. (P. Crampton, Ed.) (George Allen). London: George Allen & Unwin Ltd.
- Hidalgo Cordero, J. F. (2007). *Aprovechamiento de la Totora como material de construcción* (Tesis de pre-grado). Universidad de Cuenca. Recuperado de <http://blogs.upm.es/ricsat/wp-content/uploads/sites/388/2017/04/Tesis-Totora-Material-de-Construccion-JFHC-opt.pdf>
- Hidalgo Cordero, J. F. (2008). *Juan Fernando Hidalgo - web site*. Recuperado de <http://www.juanfernandohidalgo.com/home/design>
- Hidalgo Cordero, J. F., y García Navarro, J. (2017). "Review on the traditional uses and potential of totora (Schoenoplectus californicus) as construction material". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245. Recuperado de <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/2/022068>
- Hidalgo Cordero, J. F., y García Navarro, J. (2018). "Totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material". *Industrial Crops and Products*, 112, 467-480. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>

- Hidalgo C., A. P. (2015). *Turismo Sostenible: Una propuesta para el desarrollo local de la comunidad de Paccha (Tesis de maestría)*. Universidad del Azuay.
- Hidalgo C., P. (2016). *Diseño interior bio sostenible aplicado a la ciudad de Cuenca (Tesis de maestría)*. Universidad del Azuay. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5716>
- Mardorf, M. C. (1985). "Artesanía y ecología de la totora (*Scirpus* sp.) en la provincia de Imbabura, Ecuador. Sarance". *Revista Del Instituto Otavaleño de Antropología*, 10(10), 11-78. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10469/6697>
- Mejía Echeverría, C. D. (2017). *Caracterización de un material con matriz de resina poliéster y refuerzo con fibra natural de totora (Schoenoplectus californicus), mediante simulación a partir de microfotografía. (Tesis de maestría)*. ESPE. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13283>
- odD+ architects. (2015). *The Anti-Kiosk – odD+ architects*. Recuperado de http://oddarchitects.com/01_01/
- PELT. (2000). *Evaluación de la totora en el Perú (Ámbito Peruano del sistema TDPS) Parte 1*. Puno. Recuperado de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_peru/21.02 P1.pdf
- PELT, y ADESU. (2003). *Plantación de totora en comunidades*. Recuperado de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.04.pdf
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2010). *Estudian la totora para mejorar calidad de vida de los uros* - YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=AishwP61uZ8&t=95s>
- Pontificia Universidad Católica del Perú, y Stuttgart State Academy of Art and Design. (2010). *Totora project | Peru: Exploring three current realities*. Recuperado de [https://peruexploring.wordpress.com/totora-poject_panels/](https://peruexploring.wordpress.com/totora-project_panels/)
- Rondón, X. J., Banack, S. A., y Diaz-Huamanchumo, W. (2003). "Ethnobotanical investigation of caballitos (*Schoenoplectus californicus*: Cyperaceae) in Huanchaco, Peru". *Economic Botany*, 57(1), 35-47. Recuperado de [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2003\)057\[0035:EIOCSC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057[0035:EIOCSC]2.0.CO;2)
- Simbaña, A. (2003). *Hacia el aprovechamiento sustentable de la totora (Schoenoplectus californicus), en el Imbakucha provincia de Imbabura (Tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra.
- Talavera, R. (2009). *Proyecto totora, proceso de construcción en Puno-Perú* [Fotografía]. Recuperada de: <https://www.flickr.com/photos/29371951@N02/4505874706/>.
- Universidad del Pacífico. (2015). *Totorales: Accesorios corporales*. Recuperado de <http://web.upacifico.cl/noticias/disenadoras-de-vestuario-la-u-del-pacifico-exponen-en-el-centro-cultural-las-condes/>