

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO CIVIL

**TEMA:
CARACTERIZACIÓN DEL PAMBIL, PARA SER UTILIZADO COMO
PILOTE**

**AUTOR:
JHOAN JHUNIOR RIVADENEIRA JARAMILLO**

**TUTOR:
CRISTIAN ANDRÉS LEIVA GONZÁLEZ**

Quito, marzo de 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Jhoan Jhuniór Rivadeneira Jaramillo, con documento de identificación N° 1400541320, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: **“CARACTERIZACIÓN DEL PAMBIL, PARA SER UTILIZADO COMO PILOTE”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Jhoan Jhuniór Rivadeneira Jaramillo
C.I: 1400541320
Quito, marzo de 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Cristian Andrés Leiva González declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN DEL PAMBIL, PARA SER UTILIZADO COMO PILOTE**” realizado por Jhoan Jhunion Rivadeneira Jaramillo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo de 2018



.....
Cristian Andrés Leiva González

C.I: 1716424476

AGRADECIMIENTO:

A Dios por darme la vida en mi hogar.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por la educación otorgada.

A mi tutor Msc. Cristian Leiva González, por la guía dada durante la investigación.

DEDICATORIA:

A mi madre, siempre has sido mi Luz.

*A mi familia por el apoyo, los consejos y la
paciencia. Siempre estuvieron para mí.*

CARACTERIZACIÓN DEL PAMBIL, PARA SER UTILIZADO COMO PILOTE

CHARACTERIZATION OF THE PAMBIL, TO BE USED AS A PILE

Jhoan Rivadeneira-Jaramillo¹

Resumen

Con el objetivo de presentar un material alternativo para construir pilotes, se estudió la palma *Iriartea deltoidea* conocida como Pambil. Se estableció zonas en las cuales se la puede encontrar en Ecuador, sus propiedades físicas y mecánicas necesarias para ser considerada como pilote y un método de envejecimiento acelerado que ayude a establecer la durabilidad del material. Se compara los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en laboratorio, en probetas con deterioro y sin deterioro, de manera que se puede concluir que el Pambil es apto para ser utilizado como pilote, por tener resistencias mecánicas después del deterioro superior a las mínimas establecidas.

Abstract

Following the objective to present an alternative material for building piles, the *Iriartea deltoidea* palm also known as Pambil was studied. It has been established certain zones in Ecuador where it can be found, its physical and mechanical properties are necessary to be considered pile, it also has an accelerated aging method which helps establish the material's durability. Comparing the results of the mechanical process which were acquired in the laboratory using pieces with and without deterioration, the results determine the material's acceptance as a pile by having resisted the mechanical deterioration above the minimum

Palabras Clave: Envejecimiento acelerado, *Iriartea deltoidea*, propiedades físicas y mecánicas.

Keywords: Accelerated aging, *Iriartea deltoidea*, physical and mechanical properties.

¹ Estudiante de la carrera de ingeniería civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

1. Introducción

El presente artículo investigativo tiene como objetivo presentar una posibilidad de material alternativo para la construcción de pilotes en suelos de baja resistencia, para el efecto se ha elegido la palmera *Iriartea deltoidea* (Pambil).

Se han definido las características físicas y mecánicas de la madera que serán necesarias para su revisión como pilote en obras civiles, considerando normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Norma Técnica Colombiana (NTC), Instituto Nacional de Investigación Tecnológica y Normas Técnicas (ITINTEC), Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Parte de la investigación es el planteamiento de un método de envejecimiento acelerado, para determinar la variación de las propiedades del material.

Finalmente se presentará los resultados obtenidos estableciendo la capacidad del material para ser usado como pilote.

1.1. *Iriartea deltoidea* (Pambil)

Es una palmera de la familia *Arecaceae*, es originaria de los trópicos de América, se la encuentra desde Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela y Brasil (Palacios Barrance, et al., 2003, p.618; González, et al., 2012, p.190) [1-2]. Otro nombre con el cual se la conoce es pambil.

En Ecuador el pambil crece en los bosques pluviales del Chocó distribuidos en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Carchi, Imbabura y Pichincha (entre el nivel del mar y los 850 m), además es abundante en el oriente del país en las provincias de Napo, Orellana, Sucumbíos,

Pastaza llegando hasta el límite norte de Morona Santiago (entre 100-1350 m de altitud) (Anthelme, et al., 2013, p.177) [3]. Es posible encontrar hasta 100 ejemplares adultos por hectárea en la Región Amazónica Ecuatoriana, Costa y bosques húmedos por debajo de los 1200 msnm (Walter A. Palacios, 2016, p. 77) [4].

El Pambil crece mejor en bosques húmedos y pluviosos con precipitaciones entre 2000-5000 mm al año, con un buen drenaje y una estación seca de hasta 3 meses (Barrance, et al., 2003, p.619) [1].

Tiene una vida promedio de 140 años; posee un tronco; definido correctamente como estípite, de diámetro entre 20-30 cm; puede alcanzar alturas de 20–25 m con posibilidad de crecer hasta 35 m, tardando 80 años en producir tallos superiores a 18 m; su tronco es soportado por un denso cono de raíz fúlcrea de altura igual o mayor a 1.00 m sobresaliente de la superficie; las hojas son de hasta 3,0 m de largo y sus frutos son redondos de color tomate al madurar; su reproducción natural se lleva a cabo por las abejas, loros o animales pequeños que viven en el suelo (Barrance, et al., 2003, p.619-620; Anthelme, et al., 2013, p.176) [1-3].

La zona más exterior del tronco del pambil tiene una dureza extrema además de tener un buen comportamiento a flexión y compresión, esta dureza disminuye hacia el centro de la sección del tronco (Rich, 1986, p. 129) [5].

Por la característica de dureza se suele utilizar para la construcción de pisos y paredes, además de elaboración de muebles y artesanías (Barrance, et al., 2003, p.617) [1]. En pequeños pueblos suelen utilizar el estípite de pambil como soporte de cultivos agroindustriales.

En la figura 1 y 2 se puede observar la palma y la forma de sus raíces.



Figura 1. Palma Iriarteia deltoidea



Figura 2. Raíces de la palma

1.2. Pilote

Es un elemento estructural de sección transversal pequeña comparada con su longitud. Construido de acero, concreto o madera; su función es transmitir las cargas generadas por la superestructura hacia el estrato resistente, situado a una mayor profundidad (Ralph. B. Peck, et al., p.239) [6]. Braja M. Das (2001), sugiere usar los pilotes cuando el suelo de cimentación es de baja resistencia; compresible, expansivo y colapsable; cuando están sometidos a solicitudes de flexión mientras soportan cargas verticales; para evitar el

levantamiento de otras estructuras cuando están cimentadas bajo el nivel freático y para evitar la pérdida de capacidad de carga que una cimentación superficial podría sufrir (Braja M Das, 2001, p.564-565) [7].

1.2.1 Tipo de pilote

En función del tipo de trabajo se dividen en pilotes a punta y por fricción. En el pilote a punta su capacidad de carga depende completamente del material cercano a la punta del mismo, dado que este se extiende hasta la superficie del estrato resistente, con la condición que dicho estrato se encuentre a una profundidad razonable y económica; en el pilote a fricción su capacidad de carga depende del material adyacente al fuste del pilote por la fricción superficial generada entre el pilote y el suelo. (Ralph.B. Peck, et al., p.239; Braja M Das, 2001, p.574-575) [6-7].

1.2.2 Pilote de madera

Consiste en un tronco de árbol recortado sus ramas y corteza manteniendo una forma cilíndrica recta, sana y sin defectos.

Sus características según Braja M. Das son:

Longitud usual entre 10 – 15 metros;

La punta no debe ser menor de 150 mm;

No resisten cargas altas de hincado por lo cual su capacidad se limita a 25 a 30 toneladas, siendo su trabajo usual en cargas entre 10.2 – 20.4 toneladas con un máximo de 27.5 toneladas.

Para evitar daños en los extremos del pilote se sugiere colocar un cabezal o capuchón de acero, sujeto por pernos o a su vez aglutinantes no tóxicos con el medio ambiente ni la madera. (Braja M Das, 2001, p.570,573) [7].

2. Descripción experimental

Se utilizaron los métodos analítico y experimental; esto quiere decir que se realizó una investigación y análisis de los ensayos de laboratorios de las propiedades físicas y mecánicas para que el material sea utilizado como pilote; además de un procedimiento de envejecimiento acelerado para establecer la durabilidad. Se ubicó la localidad de Chiquichikentza; ubicada a 45.63 Km desde la ciudad de Macas – Morona Santiago, siguiendo la vía Troncal Amazónica entrada al cantón Taisha, como la zona de obtención de los troncos de pambil. Siguiendo los criterios descritos en la norma INEN 1158. Maderas. Selección y colección de muestras (1983) [8]. Se obtuvieron 4 estípites de pambil de longitud 10 metros eligiendo las trozas de 0-1 metros, 5-6 metros y 9-10 metros; dicha norma también establece los procedimientos para el tallado de las probetas, mismas que se pueden observar en la figura 3.

Listas las probetas se comenzaron los estudios de las propiedades físicas y mecánicas descritas a continuación.

2.1. Propiedades físicas

2.1.1 Sección resistente

Es una característica nacida debido a la estructura interna del tronco de pambil, siendo que este se divide en una parte externa-dura y otra interna-blanda, considerando la primera como la sección resistente misma que tiene un color negro como se puede ver en la figura 4.

Para determinar los componentes de esta característica se utilizó un método práctico. Consiste en medir los anchos de la sección resistente de 4 troncos de 10 metros de longitud en dos ejes perpendiculares entre sí, en separaciones de 1 metro obteniendo valores de diámetro exterior, ancho resistente y área resistente.



Figura 3. Probetas tronco 2 troza 1

Además, se ha establecido la ecuación 1 que permite determinar el área resistente estimada en los troncos de la palmera *Iriartea deltoidea* para sus primeros 10 metros de altura.

$$A_R = \frac{\pi}{4} [-ar_1^2 - ar_2^2 + 2(De * ar_1 \dots \dots - ar_1 * ar_2 + De * ar_2)] \quad (1)$$

Donde:

A_R = área resistente, en centímetros cuadrados;

ar_1 = ancho resistente 1, en centímetros;

ar_2 = ancho resistente 2, en centímetros;

De = diámetro exterior del tronco, en centímetros.

Los anchos resistentes se deben medir en el mismo eje considerado y despreciando el espesor de la corteza del tronco.

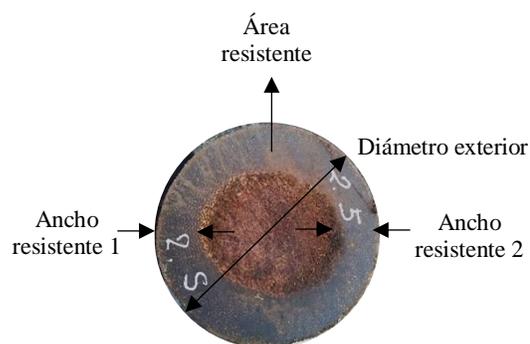


Figura 4. Componentes de la sección resistente

2.1.2 Contenido de humedad (CH%)

Se la define como la relación del peso del agua contenido en la probeta y el peso de la probeta en estado anhidro, expresado en porcentaje. Se lo determinó mediante los procedimientos descritos en la norma INEN 1160. Maderas. Determinación del contenido de humedad (1983) [9].

El contenido de humedad se obtiene mediante la ecuación 2:

$$CH\% = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

P= masa original de la muestra, en gramos;
Psh= masa de la muestra anhidra, en gramos.

2.1.3 Peso específico aparente (PE)

Se lo determinó siguiendo los procedimientos de la norma NTC 290. Maderas. Determinación del peso específico aparente (1974) [10]. Se define como el cociente entre el peso de la probeta y el volumen de la misma a igual contenido de humedad. Existen 3 clases de peso específico aparente y son: verde, seco y anhidro, mismos que se calculan mediante la ecuación 3, 4 y 5 respectivamente.

$$PE_{CH>30\%} = \frac{P_{CH>30\%}}{V_{CH>30\%}} \quad (3)$$

$$PE_{CH=12\%} = \frac{P_{CH=12\%}}{V_{CH=12\%}} \quad (4)$$

$$PE_{CH=0\%} = \frac{P_{CH=0}}{V_{CH=0}} \quad (5)$$

Donde:

P_{CH>30%}= peso de la probeta en estado verde, en gramos;

P_{CH=12%}= peso de la probeta seca en ambiente climatizado, en gramos;

P_{CH=0%}= peso de la probeta anhidra, en gramos

V_{CH>30%}= volumen de la probeta en estado verde, en centímetros cúbicos;

V_{CH=12%}= volumen de la probeta seca en ambiente climatizado, en centímetros cúbicos;

V_{CH=0%}= volumen de la probeta anhidra, en centímetros cúbicos.

Adicionalmente existe el peso específico aparente básico (PE_b), definido como el cociente entre el peso de la probeta anhidra y el volumen verde mismo que se determina mediante la ecuación 6.

$$PE_b = \frac{P_{CH=0}}{V_{CH>30\%}} \quad (6)$$

2.1.4 Cambios de dimensiones

Se define como la variación de las dimensiones de la madera debido a la pérdida o ganancia de agua. Para determinar la contracción se empleó la norma INEN 1164. Maderas. Determinación de la contracción (1984) [11].

En el caso de la expansibilidad se midieron las dimensiones de las probetas en estado natural a continuación se las sumergió en agua durante un periodo de 10 días hasta que obtengan un peso constante, pasado este tiempo nuevamente se midieron las probetas; calculando el porcentaje de hinchamiento.

Los cambios dimensionales se calculan mediante la ecuación 7; adicionalmente existe el coeficiente volumétrico (W) calculado con la ecuación 8.

$$C \text{ y } E = \frac{d1 - d2}{d1} * 100 \quad (7)$$

$$W = \frac{V1 - V2}{V1(CH1 - CH2)} * 100 \quad (8)$$

Donde:

C= contracción volumétrica, en porcentaje;
E= expansión volumétrica, en porcentaje;



(a) Falla por aplastamiento sin deterioro



(b) Falla por rajadura con

Figura 5. Compresión paralela al grano

$$RUM = \frac{F * 10}{A} \quad (7)$$

d1= dimensión de la probeta a un contenido de humedad 1, en centímetros;
d2= dimensión de la probeta a un contenido de humedad 2, en centímetros.

V1= volumen de la probeta a un contenido de humedad 1 (CH1), en centímetros cúbicos;

V2= volumen de la probeta a un contenido de humedad 2 (CH2), en centímetros cúbicos;

2.2. Propiedades mecánicas

Las probetas en estado verde fueron llevadas a un contenido de humedad cercano al 12%, mediante un secado al horno a una temperatura de 30°C durante 18 horas.

2.2.1 Compresión paralela al grano

Se utilizó la norma COPANT 464. Maderas. Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano (1972) [12]. Las probetas se colocaron en la máquina sobre sus caras transversales y se le aplicaron cargas hasta llegar a la falla, que se pueden apreciar en la figura 5. Las ecuaciones para los cálculos de los necesarios son la 7, 8 y 9.

$$RLP = \frac{F1 * 10}{A} \quad (8)$$

$$MOE = \frac{RUM_2 - RUM_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (9)$$

Donde:

RUM= resistencia unitaria máxima, en megapascal;

RLP= resistencia unitaria en el límite proporcional, en megapascal;

MOE= módulo de elasticidad, en megapascal;

F= carga máxima soportada por la probeta, en kilonewton;

F1= carga en el límite de proporcionalidad, en kilonewton;

ε= deformación unitaria, adimensional;

A= área de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en centímetros cuadrados.



(a) Falla por desprendimiento sin deterioro



(b) Falla por desprendimiento con deterioro envejecida

Figura 6. Compresión perpendicular al grano

2.2.2 Compresión perpendicular al grano

Siguiendo los procedimientos descritos en la norma COPANT 466. Maderas. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano (1972) [13]. Se colocaron las probetas en la máquina de compresión, aplicándose carga hasta que la pieza de presión penetre en la probeta 2.54 mm, obteniendo la falla del material. Las ecuaciones para los cálculos de los parámetros son la 10 y 11.

$$RUM = \frac{F * 10}{A} \quad (10)$$

$$RLP = \frac{F1 * 10}{A} \quad (11)$$

Donde:

RUM= resistencia unitaria máxima, en megapascal;

RLP= resistencia al límite proporcional, en megapascal;

F= carga utilizada para obtener la penetración de 2.54 mm, en kilonewton;

F1= carga al límite proporcional, en kilonewton;

A= área impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en centímetros cuadrados.

2.2.3 Flexión

Se utilizó la norma ITINTEC 251.017. Maderas. Método de ensayo de flexión estática (1971) [14]. Las probetas se colocaron en la máquina sobre los apoyos simples distanciados a 45 cm, se aplicaron cargas en el centro de la luz hasta llegar a la falla como se puede apreciar en la figura 7. Las ecuaciones para los cálculos de los parámetros son la 12,13 y 14.

$$MOR = \frac{3 * F * L}{2 * a * e^2} \quad (12)$$

$$ELP = \frac{3 * F1 * L}{2 * a * e^2} \quad (13)$$

$$ME = \frac{F1 * L^3}{4 * a * e^3 * Y} \quad (14)$$

Donde:

MOR= módulo de ruptura, en megapascal;

ELP= esfuerzo de la fibra al límite proporcional, en megapascal;

ME= módulo de elasticidad, en megapascal;

F= carga máxima, en kilonewton;

F1= carga al límite proporcional, en kilonewton

L= luz entre los soportes, en centímetros;

a= ancho de la probeta en dirección radial, en centímetros;



(a) Falla por astillamiento sin deterioro



(b) Falla por astillamiento con deterioro

Figura 7. Flexión

e= altura de la probeta en dirección tangencial; en centímetros
 Y= flecha al límite proporcional, en centímetros

2.3. Envejecimiento acelerado

Procedimiento mediante el cual las propiedades internas de los materiales son modificadas, estableciendo así el cambio de dichas propiedades después del paso del tiempo.

Kajita, Mukudai y Yano (1991) definen que los procedimientos de envejecimiento acelerado generalmente exponen las muestras a condiciones seleccionadas que inducen hinchamiento y contracción cíclica para maximizar el desarrollo de tensiones internas, seguido de la determinación de la tasa de pérdida de importantes propiedades mecánicas (Kajita, et al., 1991, p.239) [15].

El procedimiento de envejecimiento acelerado esta descrito en la norma ASTM D 1037-99. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials [16]. Consiste en exponer al material a 6 ciclos de variación térmica (condiciones de calor y frío), durando cada ciclo 48 horas, luego de los cuales se evalúan sus propiedades.

Se puede observar en la figura 8 como se lo realizó.

3. Resultados y Discusión



(a) Cocinado en agua



(b) Cocinado en vapor



(c) Congelación

Mediante el análisis de los siguientes resultados la palma Iriartea deltoidea es adecuada para ser utilizada como pilote en sus primeros 10 metros, inclusive considerando la disminución de las propiedades físicas y mecánicas después de los ensayos de envejecimiento acelerado.

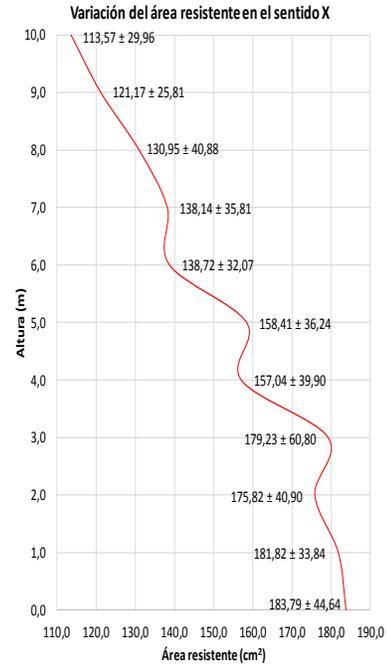
Utilizando la distribución t-student se presenta la variación de las propiedades de la palma con un nivel de confianza del 95%.

3.1. Propiedades físicas

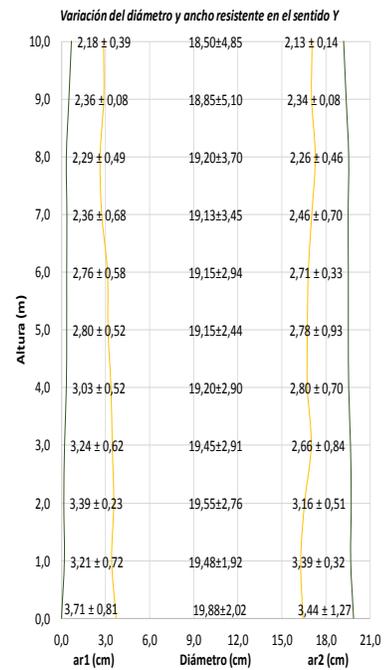
Se ha establecido un número de 36 probetas pequeñas, sin defectos, para determinar cada propiedad física; exceptuando la sección resistente.

3.1.1 Sección resistente

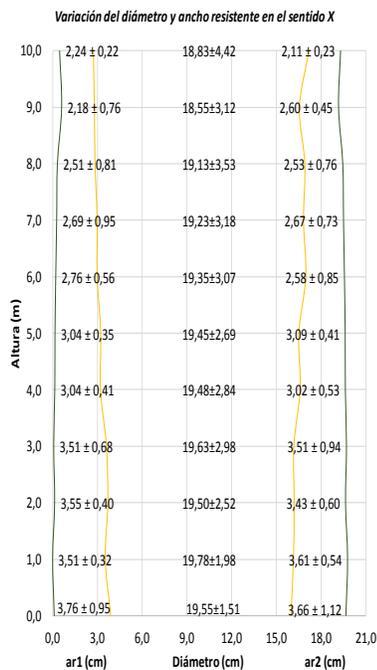
La figura 9 muestra como los componentes de la sección resistente del tronco de la palma Iriartea deltoidea disminuye según aumenta su altura, lo que limita su uso como pilote a los primeros 10 metros.



(b)



(c)



(a)

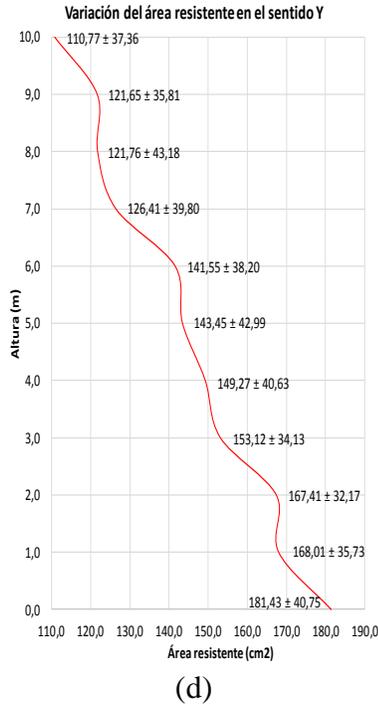


Figura 9. Variación de los componentes de la sección resistente según la altura considerada: (a) Diámetro y ancho sentido X (b) Área resistente sentido X (c) Diámetro y ancho sentido Y (d) Área resistente sentido Y

como un elemento duro o pesado, óptimo para ser usado como piso. La variación de esta propiedad se la presenta en la tabla 1.

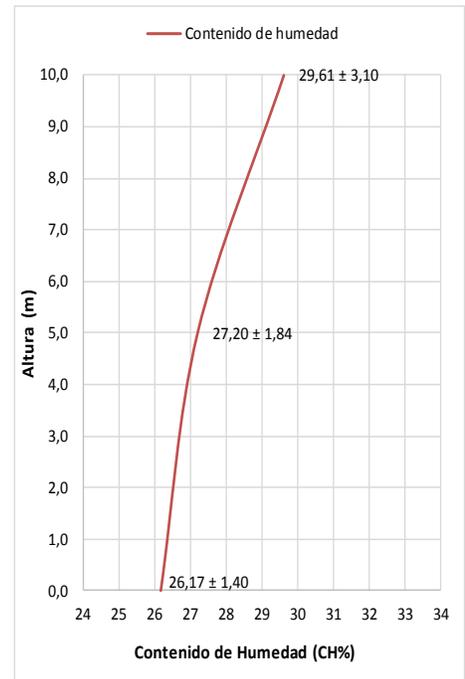


Figura 10. Variación del contenido de humedad

3.1.2 Contenido de humedad (CH%)

En la tabla 1 y figura 10 se observa una tendencia polinómica de aumento desde la base hacia arriba; siendo el crecimiento de 0 a 5 metros menor al existente entre la altura de 5 a 10 metros, esperando con esto que la resistencia del estípite de la palmera a las solicitaciones externas sea mayor en la base y menor a la altura de 10 metros.

3.1.3 Peso específico aparente (PE)

Tanto el peso específico aparente como el peso específico aparente básico tienden a disminuir casi linealmente desde la base hacia arriba sin bajar de 0.80 g/cm^3 , como se puede ver en la figura 11 y 12 respectivamente.

Considerando la clasificación de usos de maderas del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984) [17]. Se dice que el pambil se lo puede considerar

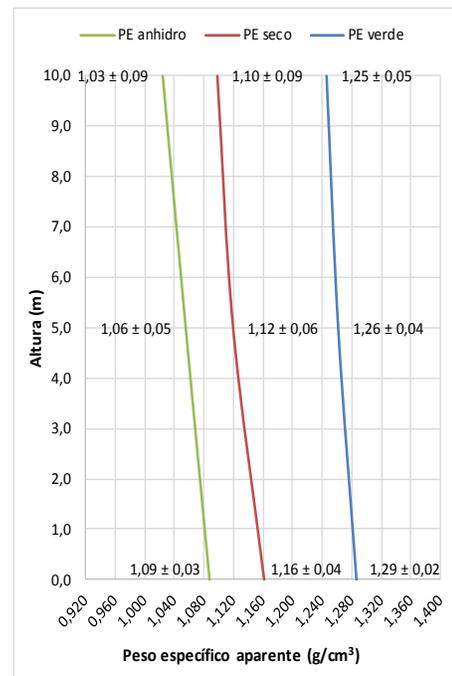


Figura 11. Variación del peso específico aparente

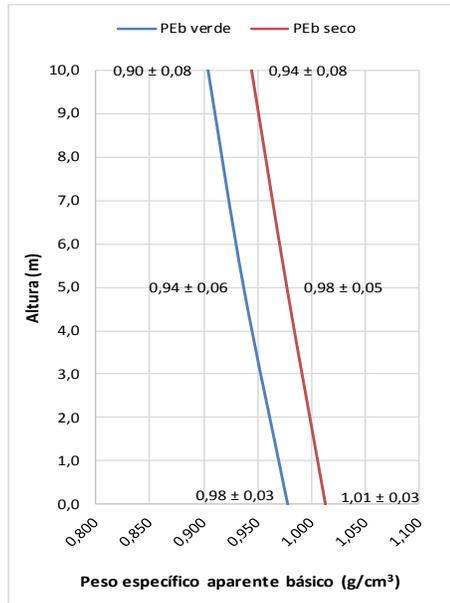


Figura 12. Variación del peso específico aparente básico

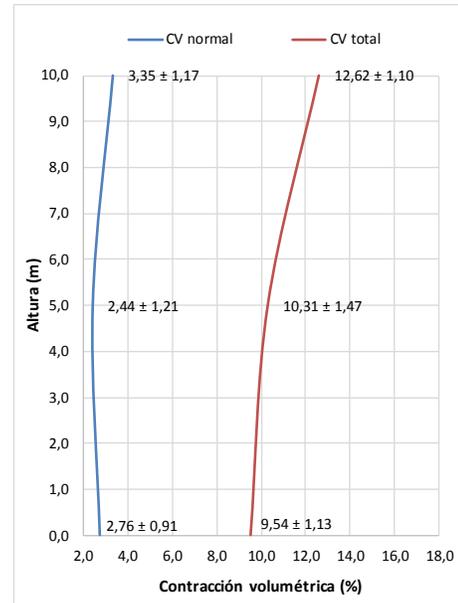


Figura 13. Contracción volumétrica

3.1.4 Cambios de dimensiones

Esta propiedad está definida por la contracción (C) y expansión (E) que a su vez son subdivididas en volumétrica (v) y coeficiente volumétrico (W). Adicionalmente la contracción posee el parámetro normal (n) y total (t), siendo la contracción normal cuando la variación del contenido de humedad va del estado verde al estado seco y la total cuando la variación del contenido de humedad va del estado verde al estado anhidro.

En la figura 13 y 14 se puede observar que la contracción total en la base del tronco es menor que en su parte alta; mientras que la contracción normal presenta una tendencia polinómica, en la cual disminuye hasta la altura de 5 metros, punto en el cual comienza a aumentar ligeramente.

La expansión tiende a bajar siguiendo una tendencia casi lineal desde la base hacia arriba, como se ve en la figura 15 y 16. Estos comportamientos se deben al contenido de humedad y a la estructura interna del pambil.

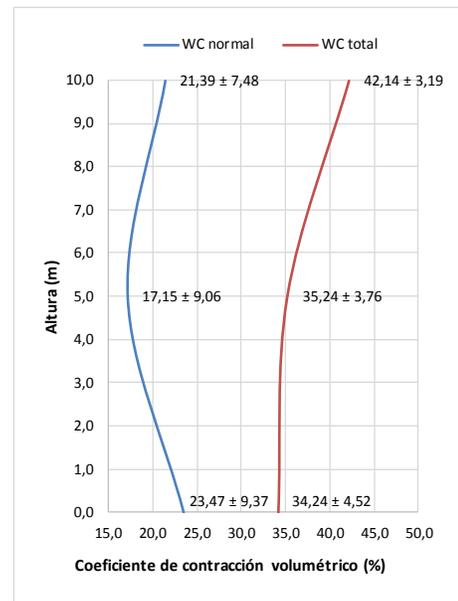


Figura 14. Coeficiente de contracción volumétrica

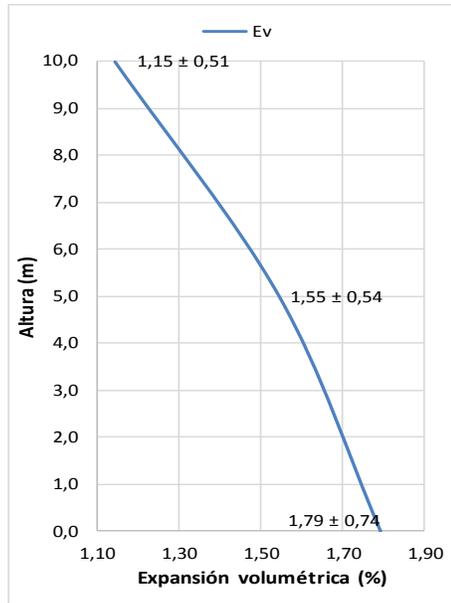


Figura 15. Expansión volumétrica

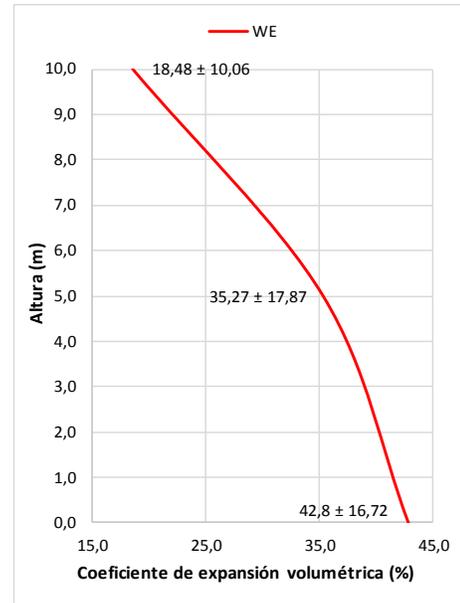


Figura 16. Coeficiente de expansión volumétrica

Con los valores de la tabla 1 se podrá determinar la sección transversal máxima y mínima que podrá alcanzar el pilote del tronco del pambil, revisando dicho tamaño con la figura 9.

Tabla 1: Propiedades físicas en estado natural

Ensayo	Norma	Ítem	Resultados		
			0,0	5,0	10,0
Contenido de humedad	INEN 1160. Maderas. Determinación del contenido de humedad	CH (%)	26,17 ± 1,40	27,20 ± 1,84	29,61 ± 3,10
Peso específico aparente	NTC 290. Maderas. Determinación del peso específico aparente	PE verde (g/cm ³)	1,29 ± 0,02	1,26 ± 0,04	1,25 ± 0,05
		PE seco (g/cm ³)	1,16 ± 0,04	1,12 ± 0,06	1,10 ± 0,09
		PE anhidro (g/cm ³)	1,09 ± 0,03	1,06 ± 0,05	1,03 ± 0,09
		PEb verde (g/cm ³)	0,98 ± 0,03	0,94 ± 0,06	0,90 ± 0,08
		PEb seco (g/cm ³)	1,01 ± 0,03	0,98 ± 0,05	0,94 ± 0,08
Cambios dimensionales	INEN 1164. Maderas. Determinación de la contracción	Cvn (%)	2,76 ± 0,91	2,44 ± 1,21	3,35 ± 1,17
		Cvt (%)	9,54 ± 1,13	10,31 ± 1,47	12,62 ± 1,10
		WCn (%)	23,47 ± 9,37	17,15 ± 9,06	21,39 ± 7,48
		WCt (%)	34,24 ± 4,52	35,24 ± 3,76	42,14 ± 3,19
		Ev (%)	1,79 ± 0,74	1,55 ± 0,54	1,15 ± 0,51
		WE (%)	42,8 ± 16,72	35,27 ± 17,87	18,48 ± 10,06

3.2. Propiedades mecánicas

Se usaron 48 probetas pequeñas, sin defectos, para determinar la compresión paralela al grano, al igual que para la compresión perpendicular al grano; para la resistencia a flexión se utilizó 45 probetas.

Al momento de ser evaluadas las probetas si el contenido de humedad es diferente al 12%, se hace necesario aplicar los factores de corrección de carga según la variación unitaria de contenido humedad, mismos que están expuestos en la Norma Técnica Colombiana 301 (2007) [17]. Presentados en esta investigación en la tabla 2.

Tabla 2: Índice de factores de corrección para el contenido de humedad

Ensayo	Corrección (%)
Flexión RLP (resistencia límite proporcional)	5
Flexión RUM (esfuerzo unitario máximo)	4
Flexión MOE (módulo de elasticidad)	2
Compresión paralela RUM	5
Compresión paralela RLP	6
Compresión perpendicular RUM	5.5

El valor dado en la corrección indica el porcentaje de variación por cada cambio del 1% en el contenido de humedad

Fuente: NTC 301 (Primera actualización) [18].

La función del estípote del pambil es ser usado como pilote, debido a esto se realiza un ensayo de La norma ASTM D 1037-99. Dicha norma no establece el tiempo en el cual se llega a las resistencias calculadas, pero se sabe que un pilote de madera puede durar indefinidamente cuando se encuentra rodeado de un suelo saturado, aunque puede llegar al deterioro sobre el nivel freático (Ralph.B. Peck, et al., p.240-241) [6]. No es recomendable colocar pilotes en zonas que queden expuestos a aguas saladas, con la excepción que se pruebe que no existen organismos corrosivos.

3.2.1 Compresión paralela al grano

Comparando las tablas 4 y 5, se dice que el pambil antes y después del deterioro presenta una tendencia convexa donde la mayor resistencia está en la base del tronco y la menor a la altura de 5 metros, desde la cual comienza a aumentar sin llegar a la resistencia de la base esto se ve en la figura 17.

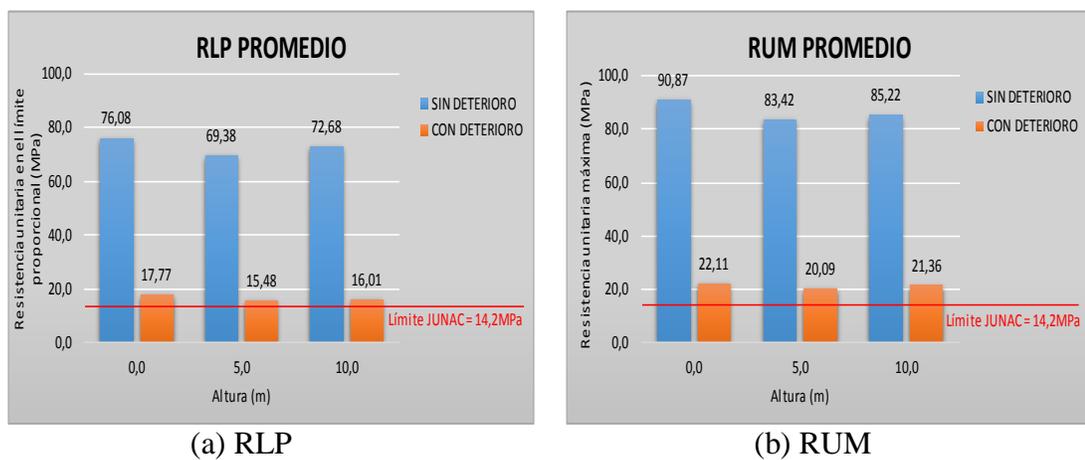


Figura 17. Compresión paralela (a) RLP y (b) RUM

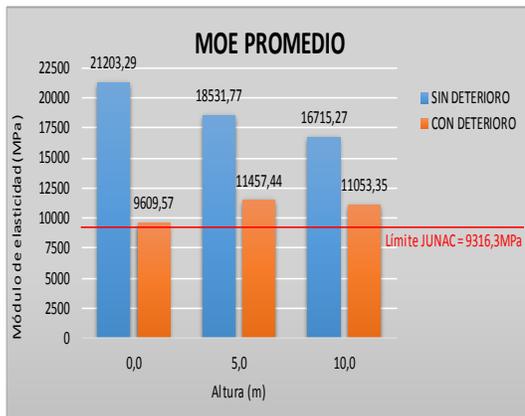


Figura 18. Módulo de elasticidad en compresión paralela

El módulo de elasticidad antes del deterioro tiende a bajar linealmente desde la base hacia la copa; mientras que después del deterioro presenta un comportamiento polinómico donde aumenta su valor hasta la altura de 5 metros altura en la cual empieza a bajar ligeramente, casi manteniéndose constante, como se puede ver en la figura 18.

El pambil soporta cargas entre 17-30 toneladas al límite proporcional, siendo sus cargas máximas entre 22-37 toneladas en sus primeros 10 metros; mismas que están expuestas en la tabla 3, estas cargas son superiores a las que usualmente trabaja un pilote de madera, siendo estas entre 10-20 toneladas de acuerdo a Braja M. Das (2001, p. 573) [7].

Tabla 3: Cargas resistentes; (T)

Sentido	Altura (m)	Carga límite proporcional (T)	Carga unitaria máxima (T)
1	0,0	33,31 ± 23,57	41,44 ± 26,99
	5,0	25,01 ± 19,18	32,45 ± 23,76
	10,0	18,54 ± 5,31	24,73 ± 8,16
2	0,0	32,88 ± 23,26	40,91 ± 26,64
	5,0	22,64 ± 17,37	29,39 ± 21,52
	10,0	18,08 ± 5,18	24,12 ± 7,96

3.2.2 Compresión perpendicular al grano

Con los resultados presentados en la tabla 4 y 5 se dice que el pambil antes del deterioro sigue una tendencia cóncava con su mayor resistencia a los 5 metros; después del deterioro esto se invierte, describiendo un comportamiento convexo, donde su mayor resistencia al límite proporcional está en la base y la resistencia máxima a la altura de 10 metros; como se ve en la figura 19.

3.2.3 Flexión

La figura 20 muestra como la resistencia antes y después del deterioro es casi constante hasta la altura de 5 metros donde empieza a aumentar ligeramente, casi linealmente hasta los 10 metros.

El módulo de elasticidad antes y después del deterioro, tiene un comportamiento polinómico en donde aumenta hasta la altura de 5 metros y comienza a disminuir hasta valores inferiores a los que tenía en la base, como se puede ver en la figura 21.

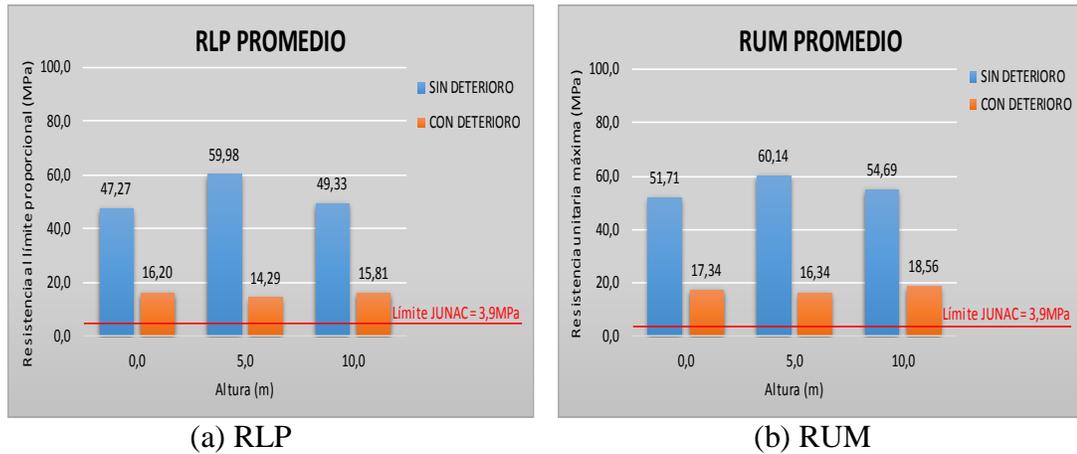


Figura 19. Compresión perpendicular (a) RLP y (b) RUM

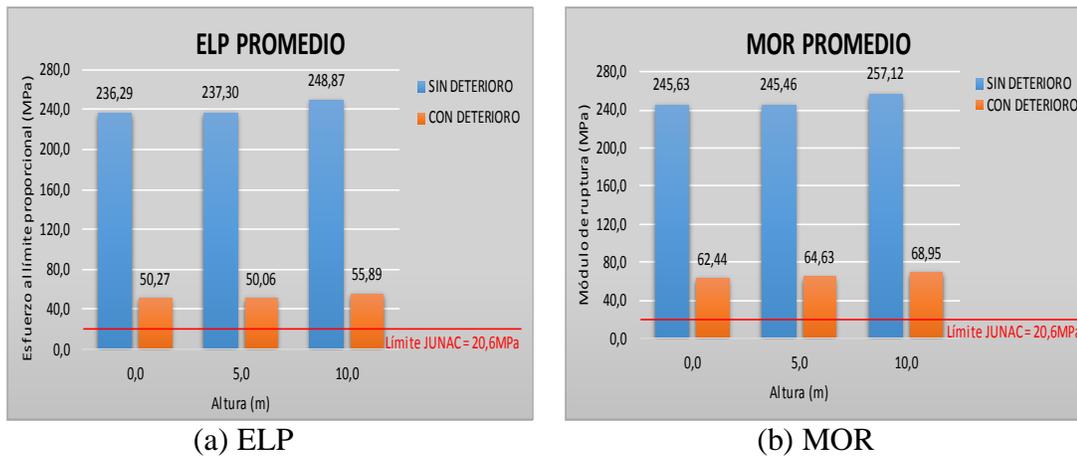


Figura 20: Flexión (a) ELP y (b) MOR

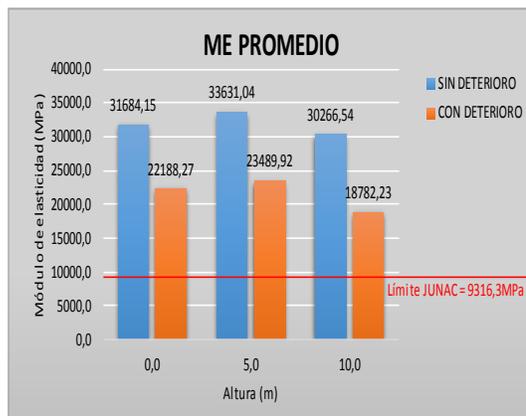


Figura 21. Módulo de elasticidad en Flexión

Al comparar las resistencias obtenidas de las propiedades mecánicas calculadas en la investigación y expuestas en la tabla 4 y 5, con las expuestas en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p. 7-4) [17]. Se puede observar que la palma *Iriartea deltoidea* posee resistencias mayores; incluso después del deterioro, por lo cual se la acepta como un elemento estructural con la mayor resistencia.

Tabla 4: Propiedades de la madera con deterioro (CH = 12%)

Ensayo	Norma	Ítem	Resultados			Valores admisibles*
			0,0 m	5,0 m	10,0 m	
Compresión paralela	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,10 ± 0,03	1,10 ± 0,02	1,01 ± 0,04	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,05 ± 0,03	1,05 ± 0,02	0,99 ± 0,04	> 0,80
	COPANT 466.	RLP (MPa)	17,77 ± 12,58	15,48 ± 11,87	16,01 ± 4,58	14,22
		RUM (MPa)	22,11 ± 14,40	20,09 ± 14,71	21,36 ± 7,05	14,22
		MOE (MPa)	9609,57 ± 3587,99	11457,44 ± 8993,33	11053,35 ± 6580,57	9316,32
Compresión perpendicular	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,11 ± 0,03	1,08 ± 0,02	1,10 ± 0,02	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,06 ± 0,03	1,03 ± 0,02	1,05 ± 0,02	> 0,80
	COPANT 466.	RLP (MPa)	16,20 ± 7,62	14,29 ± 5,98	15,81 ± 8,29	3,92
		RUM (MPa)	17,34 ± 15,27	16,34 ± 9,66	18,56 ± 9,02	3,92
Flexión	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,06 ± 0,17	1,04 ± 0,35	1,03 ± 0,30	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,02 ± 0,16	1,00 ± 0,34	0,98 ± 0,30	> 0,80
	ITINTEC 251.017.	ELP (MPa)	50,27 ± 21,55	50,06 ± 30,78	55,89 ± 39,97	20,59
		MOR (MPa)	62,44 ± 24,87	64,63 ± 30,44	68,95 ± 44,54	20,59
		ME (MPa)	22188,27 ± 13131,66	23489,92 ± 19229,01	18782,23 ± 17206,93	9316,32

(*) Valores tomados del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p. 7-4) [17].
 NOTA: La toma de valores de los intervalos presentados será responsabilidad del profesional.

Tabla 5: Propiedades de la madera sin deterioro (CH = 12%)

Ensayo	Norma	Ítem	Resultados			Valores admisibles*
			0,0 m	5,0 m	10,0 m	
Compresión paralela	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,18 ± 0,03	1,18 ± 0,02	1,10 ± 0,06	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,07 ± 0,02	1,07 ± 0,02	1,01 ± 0,05	> 0,80
	COPANT 466.	RLP (MPa)	76,08 ± 6,71	69,38 ± 10,03	72,68 ± 12,08	14,22
		RUM (MPa)	90,87 ± 5,07	83,42 ± 12,71	85,22 ± 6,42	14,22
		MOE (MPa)	21203,29 ± 1538,96	18531,77 ± 2357,64	16715,27 ± 3702,41	9316,32
Compresión perpendicular	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,23 ± 0,02	1,24 ± 0,01	1,17 ± 0,04	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,06 ± 0,01	1,07 ± 0,01	1,01 ± 0,03	> 0,80
	COPANT 466.	RLP (MPa)	47,27 ± 4,72	59,98 ± 2,80	49,33 ± 9,04	3,92
		RUM (MPa)	51,71 ± 9,22	60,14 ± 5,34	54,69 ± 4,77	3,92
Flexión	NTC 290.	PE seco (g/cm ³)	1,19 ± 0,03	1,23 ± 0,04	1,14 ± 0,06	> 0,80
		PEb seco (g/cm ³)	1,06 ± 0,02	1,08 ± 0,02	1,01 ± 0,05	> 0,80
	ITINTEC 251.017.	ELP (MPa)	236,29 ± 13,44	237,30 ± 15,36	248,87 ± 12,74	20,59
		MOR (MPa)	245,63 ± 13,03	245,46 ± 15,48	257,12 ± 11,86	20,59
		ME (MPa)	31684,15 ± 2114,39	33631,04 ± 4037,21	30266,54 ± 2280,18	9316,32

(*) Valores tomados del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p. 7-4) [17].
 NOTA: La toma de valores de los intervalos presentados será responsabilidad del profesional.

3.3. Modelo del pilote

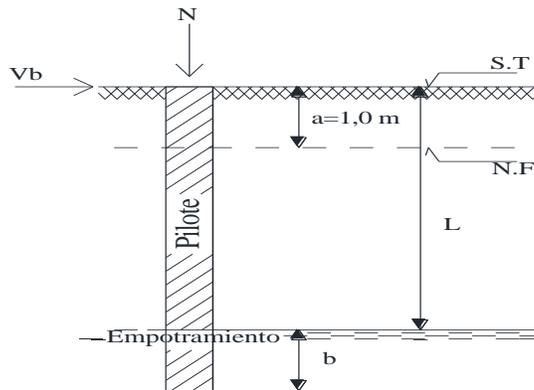


Figura 22. Pilote modelo

Este modelo muestra un pilote a punta que transporta las cargas generadas por la superestructura hacia un estrato más fuerte, presente a una profundidad máxima de 10 metros; considerando los criterios del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p. 9-21 – 9-24) [17]. Se establecen la carga axial (N) que puede soportar el estípite del pambil con la correspondiente carga de corte (V_b), que permiten cumplir con los requerimientos mínimos de resistencia establecidos para la palma *Iriartea deltoidea*.

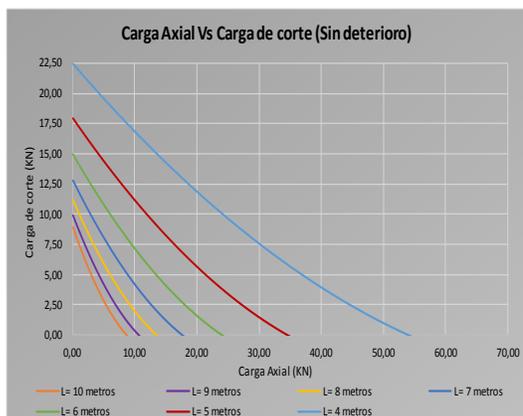


Figura 23. Relación de Carga axial y Carga de corte, sin deterioro

Las figuras 23 y 24 muestran un comportamiento polinómico-descendente

antes y después del deterioro respectivamente, entre la carga axial resistente y la carga de corte, esto quiere decir que, al aumentar la carga axial disminuye la carga de corte que puede absorber el pilote; adicionalmente al disminuir la longitud (L) y siendo que la esbeltez disminuye, se puede apreciar un aumento significativo en las cargas que puede resistir el pilote.

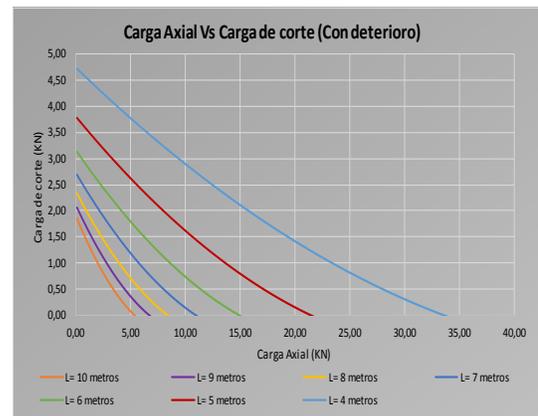


Figura 24. Relación de Carga axial y Carga de corte, con deterioro

4. Conclusiones

El estípite de la palma *Iriartea deltoidea* puede ser utilizado como pilote en sus primeros 10 metros, siendo un elemento estructural duro con la mayor resistencia, debido a que antes y después del deterioro su peso específico y propiedades mecánicas son superiores a los límites definidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p. 7-4) [17]. En base a los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se concluye lo siguiente:

En cuanto a las propiedades físicas en estado natural, el contenido de humedad tiende a bajar desde la base hacia la parte más alta del estípite; siguiendo una tendencia polinómica, esperando con esto que las propiedades mecánicas sean menores a la altura de 10 metros,

comportamiento que se puede observar en la compresión paralela a las fibras.

Los cambios dimensionales tienen una relación directa con el contenido de humedad, siendo mayor los cambios cuanto mayor cantidad de agua se pierda, esto se observa en la contracción y expansión de la palma *Iriartea deltoidea* donde la contracción volumétrica sube desde la base hacia arriba mientras que la expansión baja desde la base hacia arriba.

En cuanto las propiedades mecánicas, en el ensayo de compresión paralela al grano se describe una tendencia de variación convexa, en la cual en su parte más baja tiene un valor de resistencia unitaria en el límite proporcional de $69,38 \pm 10,03$ MPa y resistencia unitaria máxima de $83,42 \pm 12,71$ MPa, mismas que después del ensayo de envejecimiento acelerado bajan a $15,48 \pm 11,87$ MPa y $20,09 \pm 14,71$ MPa respectivamente, lo cual muestra una reducción para RLP al $22,31 \pm 17,12\%$ y RUM al $24,08 \pm 17,64\%$ de las resistencias iniciales; a pesar de esta reducción la palma *Iriartea deltoidea* muestra valores superiores a los establecidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p.7-4) [17]. Para ser clasificado como un elemento estructural con la mayor resistencia.

El módulo elástico en compresión paralela al grano tiende a bajar linealmente desde la base hacia arriba, presentando el valor máximo de $21203,29 \pm 1538,96$ MPa, mientras que después del ensayo de envejecimiento acelerado presenta un comportamiento polinómico con valor mínimo en la base de $9609,57 \pm 3587,99$ MPa, teniendo una reducción al $45,32 \pm 16,92\%$ del inicial, lo cual muestra que a pesar del deterioro la palma *Iriartea*

deltoidea tiene valores superiores a los establecidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p.7-4) [17].

El ensayo de compresión perpendicular a las fibras describe una tendencia de variación cóncava; con valores máximos en la altura de 5 metros, de resistencia al límite proporcional de $59,98 \pm 2,80$ MPa y resistencia unitaria máxima de $60,14 \pm 5,34$ MPa, mientras que después del ensayo de envejecimiento acelerado se presenta una tendencia convexa con valores mínimos de resistencia al límite proporcional de $14,29 \pm 5,98$ MPa y resistencia unitaria máxima de $16,34 \pm 9,66$ MPa; lo cual muestra una reducción para RLP al $23,83 \pm 9,98\%$ y RUM al $27,17 \pm 16,06\%$ de las resistencias iniciales; a pesar de esta reducción la palma *Iriartea deltoidea* muestra valores superiores a los establecidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p.7-4) [17]. Para ser clasificado como un elemento estructural con la mayor resistencia.

El ensayo de flexión describe un aumento casi lineal desde la altura de 5 a 10 metros, con valores de esfuerzo al límite proporcional de $237,30 \pm 15,36$ MPa y módulo de ruptura de $245,63 \pm 13,03$ MPa, mismas que después del ensayo de envejecimiento acelerado muestran valores mínimos de esfuerzo al límite proporcional de $50,06 \pm 30,78$ MPa y módulo de ruptura de $62,44 \pm 24,87$ MPa, lo cual muestra una reducción para ELP al $21,09 \pm 12,97\%$ y MOR al $25,42 \pm 10,13\%$ de las iniciales; a pesar de esta reducción la palma *Iriartea deltoidea* muestra valores superiores a los establecidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p.7-4) [17]. Para ser clasificado como un

elemento estructural con la mayor resistencia.

El módulo elástico en flexión presenta un comportamiento cóncavo, con valor mínimo en la parte alta del estípite de $30266,54 \pm 2280,18$ MPa, misma que después del ensayo de envejecimiento acelerado baja a $18782,23 \pm 17206,93$ MPa, teniendo una reducción al $62,06 \pm 56,85\%$ de la inicial, lo cual muestra que a pesar del deterioro la palma *Iriartea deltoidea* tiene valores superiores a los establecidos por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (1984, p.7-4) [17].

El estípite del pambil puede ser utilizado como pilote hasta una profundidad de 10 metros, siempre y cuando se cumpla con los requerimientos de resistencia presentados en las figuras 23 y 24, según la profundidad a la cual se encuentre el estrato resistente, en caso que la carga axial o cortante supere a los establecidos en esta investigación, se hará necesario utilizar dos o más pilotes.

Referencias

- [1] A. Barrance, J. Beer, et. Al, “Árboles de Centroamérica un Manual para Extensionistas”. CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2003, pp. 617-620.
- [2] R. González, A. Parrado, R, López, “Estructura Poblacional de la Palma *IRIARTEA DELTOIDEA*, en un Bosque de Tierra Firme de la Amazonia Colombiana”, vol. 34 (1), pp. 187-204, 2012. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36435/38148>
- [3] F. Anthelme, C. Altamirano, et. Al, “PALMAS ECUATORIANAS: biología y uso sostenible”, 1ra ed., R. Valencia, R. Montúfar, Ed., 2013, pp. 175-186.
- [4] Walter A. Palacios, “Árboles del Ecuador. Familias y Géneros”, 2016, pp77-76.
- [5] P. Rich, “Mechanical Architecture of Arborescent Rain Forest Palms”, vol 30 (3), pp. 117-131, 1986. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Paul_Rich/publication/237382490_Mechanical_Architecture_of_Arborescent_Rain_Forest_Palms/links/0a85e52dcd52f02b8b000000/Mechanical-Architecture-of-Arborescent-Rain-Forest-Palms.pdf
- [6] B. Peck, E Hanson, H. Thornburn, “Ingeniería de cimentaciones”, pp. 239-241
- [7] Braja M. Das, “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, 4ta ed., 2001, pp.564-565, 570-575.
- [8] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Maderas. Selección y Colección de Muestras. Quito, 1983. (INEN 1158).
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Maderas. Determinación del Contenido de Humedad, Quito, 1983. (INEN 1160).
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Maderas. Determinación del Peso Específico Aparente, Bogotá: ICONTEC, 1974. (NTC 290).
- [11] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Maderas. Determinación de la contracción. Quito, 1984. (INEN 1164).
- [12] Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Maderas. Método de determinación de la Compresión

- Axial o Paralela al grano, abril 1972.
(COPANT 464).
- [13] Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Maderas. Método de determinación de la Compresión Perpendicular al grano, abril 1972. (COPANT 466).
- [14] Instituto Nacional de Investigación Tecnológica y Normas Técnicas, Maderas. Método de ensayo de Flexión Estática, noviembre 1971. (ITINTEC 251.017)
- [15] H. Kajita, J. Mukudai & H. Yano “Durability Evaluation of Particleboards by Accelerated Aging Tests” Wood Science and Technology. 199, pp. 239-240.
- [16] American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM D 1037-99.
- [17] C. Arbaiza, A. Aróstegui, et. AL, “. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”. PADT-REFORT, Proyectos Andinos de Desarrollo tecnológico en el Área de los recursos forestales tropicales, 4ta ed.1984, pp.1-15 a 1-24,1-29,2-18 a 2-19,3-7, 3-26 ,7-4.
- [18] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera, Bogotá: ICONTEC, 2007. (NTC 301).