UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

ESTADO DEL DETERIORO DE MADERA ARQUEOLÓGICA PROCEDENTE DEL PECIO EL ÁNGEL

TESIS DE GRADO

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Presenta:

CLAUDIA IVETH GIRÓN PILLADO

Bajo la supervisión de:

DIRECTORA: DRA. MA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASOSORA: DRA. PAZ ALEJANDRA QUINTANAR ISAÍAS

ASESOR: M. en C. ALEJANDRO CORONA AMBRIZ

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2019

ESTADO DEL DETERIORO DE MADERA ARQUEOLÓGICA PROCEDENTE DEL PECIO EL ÁNGEL

Tesis realizada por **CLAUDIA IVETH GIRÓN PILLADO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____
Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa

ASESOR: _____
Dra. Paz Alejandra Quintanar Isaías

ASESOR: _____
M. en C. Alejandro Corona Ambriz

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL 14

2. REVISIÓN DE LITERATURA 17

2.1. Características del contexto arqueológico pecio El Ángel 17

2.2. Evaluación del deterioro de madera arqueológica sumergida 19

2.3. Deterioro químico de madera arqueológica sumergida 19

2.4. Deterioro físico y mecánico de madera arqueológica sumergida 20

2.5. Referencias bibliográficas 22

3. PECIO EL ÁNGEL: IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA E INTERPRETACIÓN BIOLÓGICA-ARQUEOLÓGICA DE VESTIGIOS DE MADERA 25

3.1. RESUMEN/ABSTRACT 25

3.2. ANTECEDENTES 26

3.3. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO *EL ÁNGEL* 28

3.4. METODOLOGÍA 29

3.4.1. Obtención de muestras de madera del pecio "El Ángel" 29

3.4.2. Preparación de cortes histológicos 33

3.4.3. Caracteres anatómicos diagnósticos utilizados para la identificación de las maderas 33

3.5. RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS MUESTRAS DE MADERA 34

3.5.1. Características anatómicas de las muestras de madera 35

3.6. INTERPRETACIÓN ARQUEOBOTÁNICA 37

3.7. COMENTARIOS FINALES 44

3.8. BIBLIOGRAFÍA 45

4. EVALUACIÓN DEL DETERIORO FÍSICO DE MADERA ARQUEOLÓGICA PROCEDENTE DEL PECIO EL ÁNGEL. 48

4.1. RESUMEN/ABSTRACT 48

4.2. INTRODUCCIÓN 49

4.3. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO HISTÓRICO. PECIO EL ÁNGEL 51

4.4. METODOLOGÍA 54

4.4.1. Obtención de muestras de madera del pecio "El Ángel" 54
4.4.2. Determinación de parámetros físicos en madera arqueológica sumergida 56
4.4.3. Análisis micromorfológico de madera arqueológica 57
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 58
4.6. CONCLUSIONES..... 68
4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68
5. CONCLUSIONES GENERALES..... 70
6. LITERATURA CITADA..... 72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de muestras de madera colectadas en el pecio “El Ángel” entre el año 2009 y 2014. 29

Cuadro 2. Correlación estratigráfica entre los distintos tipos de madera y su uso en la construcción naval del pecio “El Ángel”. 42

Cuadro 3. Lista de maderas examinadas……53

Cuadro 4. Valores de referencia en madera fresca utilizados para comparar el deterioro de madera arqueológica ..... **¡Error! Marcador no definido.**54

Cuadro 5. Propiedades físicas de madera arqueológica, madera fresca y clasificación del deterioro según su contenido de humedad 57

Cuadro 6. Comparación de pares de acuerdo al máximo contenido de humedad ..... **¡Error! Marcador no definido.**61

Cuadro 7. Comparación de pares de acuerdo a la densidad básica..... 61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestras colectadas en el pecio “El Ángel” durante la temporada 2009, 2012 y 2014. Nótese que gran parte de las muestras presentan una cantidad considerable de perforaciones y restos de los tubos calcáreos de invertebrados marinos. Fotografía: Claudia Girón. Archivo: INAH/SAS© 30

Figura 2. Zonas de colecta de las muestras de madera en el pecio “El Ángel” durante las temporadas 2009, 2012 y 2014. Plano modificado de Carrillo 2014. 31

Figura 3. Colecta de muestra de madera. Fotografía: Laura Carrillo. Archivo: INAH/SAS© 31

Figura 4. Cortes histológicos de los cuatro géneros de madera identificados en el sitio “El Ángel”. A - C. Madera identificada como Haematoxylum sp. D- F. Madera identificada como Quercus sp. G-I. Madera identificada como Fagus sp. J-K. Madera identificada como Pinus sp. Donde: vasos = v, vasos angulares = v.a, elementos de vaso = e.v, parénquima = p, radios = r, fibras = f, cristales prismáticos = c, tilides = t, goma = g, placa de perforación simple = p.p.s, canal resinífero axial = cra, madera temprana = m tem, madera tardía = m tar, canales resiníferos radiales = crr, punteaduras tipo ventana = pv, punteaduras en una sola serie longitudinal = pu y punteaduras biseriadas opuestas = pb. Fotografía: Claudia Girón. Archivo: INAH/SAS©..... 34

Figura 5. Mapas de distribución geográfica del las especies *P. nigra, P. sylvestris*, *F. sylvatica, F. orientalis, Q. petraea* y *Q. robur.* Mapas tomados de www.euforgen.org. 38

Figura 6. Ubicación geográfica del pecio El Ángel. Mapa elaborado por M. I. Campos. INAH/SAS. Fuente. Marco Geoestadístico Nacional, INEGI 2005, Imagen satelital World Imagery ESRI, 2013. 51

Figura 7. Modelo 3D del área excavada. Elaborado por A. Soto y M. Segura. Archivo: INAH/SAS https://sketchfab.com/models/5b46a3359bbd44c4828a408beead9511 52

Figura 8. Comparaciones múltiples del máximo contenido de humedad (MCH %) de sus asociaciones estructurales, considerando al género y si se trata de una madera fresca (color azul) o una estructura del barco (color rojo). Lo anterior a partir, de la media ± error estándar (μ ± E.E.) empleando la prueba no

paramétrica Kruskal Wallis (H), donde se observa que hay diferencias significativas (H=36.96 p<0.01)..... 60

Figura 9. Comparaciones múltiples de la densidad básica de sus asociaciones estructurales, considerando al género y si se trata de una madera fresca (color azul) o una estructura del barco (color rojo). Lo anterior a partir, de la media ± error estándar (μ ± E.E.) empleando la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (H), donde se observa que hay diferencias significativas (H=36.26 p<0.01). . . 62

Figura 10. Relación del MCH y BD en madera arqueológica (R= -0.9026)..... 63

Figura 11. Imágenes de TEM donde se observa el deterioro ultraestructuras de los cuatro géneros utilizados en la construcción del pecio El Ángel. A. *Quercus* sp, B. *Pinus* sp, C. *Fagus* sp y D. *Haematoxylum* sp. Donde: LM = Lamina media, S2 y S3: capas de la pared secundaria..... 64

Figura 12. Tinciones histoquímicas en *Quercus* sp. A, B- tinciones con azul de toluidina; C, D -tinciones con fluroglucinol. Notese que las tinciones en la madera arqueológica ya no presentan la misma coloración debido a la perdida de los contenidos celulares……66

DEDICATORIAS

A mis padres:

Mario Neftalí Girón Cruz† y Natalia Pillado Hernández

Gracias por darme la vida y por brindarme su apoyo incondicional. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, que podemos alcanzar nuestras metas. Gracias por ser mis padres, mis amigos, pero, sobre todo, gracias por todos los momentos de felicidad que he pasado junto a ustedes.

A mis hermanos:

Mario y Erika

Por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos. Por ser mis amigos incondicionales. Son mi orgullo y mi ejemplo a seguir.

A mis abuelos, tíos y primos:

Por estar al pendiente de mí, de mis logros y mis errores. Por demostrarme que la familia es lo más impórtate que hay.

A mis amigos:

A esas personas que, sin tener los mismos apellidos, forman parte de mi familia. Gracias por su apoyo y motivación incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por brindarme la beca para realizar mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y a la **Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales** por permitirme realizar mis estudios de posgrado, así como por el financiamiento y sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

A la **Subdirección de Arqueología Subacuática** del **Instituto Nacional de Antropología e Historia** por haberme autorizado el uso de los materiales para el desarrollo de esta investigación.

Al **Laboratorio de Anatomía funcional y Biomecánica de Plantas vasculares** de la **Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa** por permitirme el acceso a sus equipos e instalaciones para el desarrollo de la investigación.

Al **Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y forestal (LANISAF)** por permitirme el acceso y uso de sus instalaciones durante el desarrollo de la investigación.

Al **Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la madera de la UACh** por permitirme el acceso y uso de sus instalaciones durante el desarrollo de la investigación.

A la **Arqueóloga Laura Carrillo Márquez**, encargada del proyecto Inventario y Diagnostico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México, por haberme permitido el acceso a los materiales arqueológicos, así como a los informes técnicos del sito en estudio.

A la **Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa**, quien siempre estuvo al pendiente de esta investigación, desarrollo académico y que me ha brindado su apoyo incondicional durante esta etapa.

A la **Dra. Paz Alejandra Quintanar Isaías**, quien me ha brindado su apoyo incondicional, así como su conocimiento académico que ha acumulado durante su vida profesional.

Al **M. en C. Alejandro Corona Ambriz**, por sus consejos y enseñanzas en la parte estadística.

Al **M. en C. Ernesto Peredo Rivera**, por sus ayuda y enseñanzas en la parte estadística, las cuales serán de gran valor en lo que resta de mi vida profesional.

A la **M. en B. Berenice Jarquín Pacheco**, quien me apoyo incondicionalmente durante el manejo y procesamiento de las muestras en el LANISAF.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Claudia Iveth Girón Pillado

Fecha de nacimiento: 30 de octubre de 1990

Lugar de nacimiento: Ciudad de México

CURP: GIPC901030MDFRLL08

Profesión: Licenciada en Biología

Cédula profesional: 8962676

Desarrollo académico

Bachillerato: Escuela Preparatoria Instituto Isaac Newton.

Licenciatura: Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa.

Desarrollo profesional.

Investigadora en la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

RESUMEN GENERAL

ESTADO DEL DETERIORO DE MADERA ARQUEOLÓGICA PROCEDENTE DEL PECIO EL ÁNGEL

Los vestigios arqueológicos del naufragio *El Ángel,* localizados en la reserva de la Biósfera Banco Chinchorro en el estado de Quintana Roo, México, corresponden posiblemente a un velero de la primera mitad del siglo XIX. En el contexto destacan vestigios de madera de la estructura principal de la embarcación. La presente investigación se enfocó en el análisis arqueobotánico y el deterioro físico de las estructuras principales del casco del navío y de vestigios de madera asociados al sitio para identificar qué maderas se utilizaron en la construcción del barco, su posible procedencia y el estado de deterioro que presentan.

Durante los trabajos de excavación arqueológica se recolectaron pequeños fragmentos de madera de las principales estructuras del barco. Para la identificación taxonómica, se obtuvieron cortes histológicos en los tres planos diagnósticos de la madera, mientras que, para evaluar el deterioro, se calculó la densidad básica y el máximo contenido de humedad según la metodología propuesta por Jensen y Gregory (2006). También se usaron técnicas histoquímicas y de microscopía electrónica. Adicionalmente se obtuvo información histórica, biológica y ecológica de las maderas identificadas.

Los resultados muestran que en la construcción del navío se utilizaron varios tipos de maderas. El piso de una cubierta se fabricó con *Fagus;* en el forro del casco o tablones de un posible piso de cubierta se usó *Pinus;* las cabillas fueron hechas con *Quercus* y el cargamento fue identificado como *Haematoxylum.* Las identificaciones de estas maderas y la documentación histórica sugieren que éste fue construido en Europa. Asimismo, la identificación taxonómica del cargamento y la revisión histórica indican una actividad comercial con Europa. Por otra parte, las maderas arqueológicas mostraron diferencias significas en cuanto a la densidad básica y el máximo contenido de humedad respecto a maderas sanas, lo que nos indica maderas altamente degradadas.

Palabras clave: Pecio, Banco Chinchorro, identificación taxonómica, densidad básica, máximo contenido de humedad.

[1]Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo
Autora: Claudia Iveth Girón Pillado
Director de Tesis: Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa.

STATE OF DECAY OF WATERLOGGED ARCHAEOLOGICAL WOOD OF THE *EL ÁNGEL* SHIPWRECK

GENERAL ABSTRACT

The archaeological vestiges of the *El ángel* shipwreck, located in the biosphere reserve of the *Banco chinchorro* in the state of Quintana Roo, Mexico, probably belonged to a sailboat of the first half of the 19th century . On the context many wood vestiges stand out of the main structure of the boat. The present investigation was focused on the archaeobotanical analysis and in the physical deterioration of the main structure and other wood vestiges associated in the site with the purpose of identifying the different kinds of wood used on the construction, its posible origin and current deterioration.

During excavation works in the archaelogical site many wood test tubes were collected from the main structure of the boat. To identify the wood, histological cuts were obtained from the three diagnostic wood plans, while to evaluate deterioration basic density and maximum content of humidity were calculated, based on the methodology of Jensen and Gregory (2006). Histochemistry and electron microscopy techniques were also used. Additionally historical, biological and ecological information was obtained.

Results show that in the construction of the ship different kinds of wood were used. The floor from one of the decks was manufactured with *Fagus* sp. For the hull, *Pinus* sp. was used, the rafters were made with *Quercus* sp. and for the load area of the ship *Haematoxylium* was detected. By identifying these woods we can tell that the boat was manufactured in Europe. On the other hand the anatomic identification and the historical background of the wood founded on the load area suggests a commercial activity with Europe. Also the archaelogical wood shows differences in basic density and maximun content of humidity with respect to healthy wood, and that indicates us about the highly deteriorated status of the wood actually.

Keywords: shipwreck, Banco Chinchorro, basic density, taxonomic identification, maximum content of humidity.

[2]Thesis Master's Degree in Forestry Sciences, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Claudia Iveth Girón Pillado
Thesis advisor: Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde el comienzo de las primeras civilizaciones, la madera fue una de las materias primas aprovechadas por el hombre como material de construcción para viviendas, utensilios, herramientas, muebles, instrumentos, obras de arte, retablos, entre otros usos (Lobo, Santana, & Rodríguez, 2007). Durante los siglos XVI al XIX, época del gran desarrollo naval, el aprovechamiento de este recurso no fue la excepción, en ese periodo, fue el principal recurso forestal maderable empleado como elemento constructivo de los diferentes barcos que navegaban en los mares buscando nuevas tierras y/o expandiendo redes de comercio entre países y continentes (Crespo-Solana, 2016; De Aranda y Antón, 2003).

En el periodo antes mencionado, la madera utilizada en la construcción naval debía cumplir con una serie de características para su adecuado uso en el barco. Principalmente, el tipo de madera utilizada dependía de la cantidad y disponibilidad de los recursos forestales maderables encontrados cerca de los astilleros, el tipo de barco, la sección o parte del mismo, los defectos presentes en el material, la forma del árbol según la ubicación en el diseño del barco (dendromorfismo), así como de las propiedades físicas, mecánicas (densidad, dureza, flexión, elasticidad, contracción, contenidos celulares, etc.) y químicas de las especies (De Aranda y Antón, 1999).

Una vez que las embarcaciones estaban listas y eran arrogadas al mar, quedaban expuestas a fenómenos climáticos como tormentas o vientos; oceanográficos como corrientes, oleaje y mareas; y sociales, como el manejo de la embarcación y las reacciones de la tripulación a bordo, que, en muchos casos, ocasionaban accidentes navales (hundimiento total o parcial del barco) (Moya, 2012).

En consecuencia, a partir de los hallazgos de restos de embarcaciones en el lecho marino y la documentación histórica sobre los eventos de naufragios en

siglos pasados, surge uno de los contextos de investigación de la arqueología subacuática: los pecios (Carrillo & Noguera, 2012). Un pecio está conformado por los restos o fragmentos de una nave naufragada, incluyendo cualquier objeto que se encuentre a bordo en el momento del naufragio (RAE, 2014). En México se cuenta con el registro de 307 contextos en aguas marinas compuestos por restos de naufragios u objetos aislados con cronologías que van entre los siglos XVI y el XX (Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2019 (SAS-INAH)), todos ellos con valor histórico, arqueológico, en muchos casos, con valor biológico pues ayudan a la formación de nuevos arrecifes coralinos (Carrillo, 2018). El registro de estos sitios es el punto de partida para conocer su valor histórico, el estado actual, así como las amenazas que los pueden afectar.

Por lo antes mencionado la SAS comienza a desarrollan diferentes proyectos para conocer aquellos recursos culturales localizados en contextos acuáticos (marinos y continentales). Uno de ellos corresponde al proyecto *Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México*, a cargo de la Arqueóloga Laura Carrillo, el cual tiene como objetivo inventariar los vestigios de embarcaciones presentes en dicha área natural protegida, para realizar acciones relacionadas a investigación, protección, comunicación, uso público y manejo.

En la región citada, existen 69 contextos registrados constituidos por restos de siniestros marítimos, de los cuales 27 están conformados de objetos aislados (anclas, artillería y diferentes componentes de barcos) y 42 por embarcaciones varadas, hundidas o encalladas; de estos últimos 11 requieren atención prioritaria por su antigüedad y amenaza, (Carrillo, 2018), de los cuales El Ángel forma parte de ellos.

Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo conocer el estado de deterioro de los vestigios de madera de uno de los sitios amenazados, el pecio *El Ángel*, considerando el cambio en sus propiedades físicas y características

anatómicas. Esto con la finalidad de saber el estado de conservación después de haber estado sumergidos en aguas marítimas por más de 100 años y en consecuencia aportar nueva información para sugerir planes de manejo y conservación de este tipo de contextos.

En este documento se detallan las principales características, así como la revisión de literatura acerca del contexto en estudio (capitulo 2). Asimismo, en el capítulo correspondiente a la revisión de literatura, se encuentra la información relacionada con las propiedades físicas, las características anatómicas, así como los principales componentes celulares de la madera utilizada para evaluar el estado de deterioro de madera arqueológica. En el capítulo tres se incluye un artículo científico enfocado a la identificación taxonómica y la interpretación arqueobotánica de distintos vestigios utilizados en la construcción del ahora pecio El Ángel. Por último, en el capitulo cuatro se presenta un artículo científico con los resultados del deterioro físico de las maderas del pecio El Ángel.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características del contexto arqueológico pecio El Ángel

La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro es un complejo arrecifal coralino clasificado como falso atolón. Se localiza en mar abierto, a 30.8 km del poblado costero de Mahahual (punto continental más cercano). Banco Chinchorro está conformado por cuatro cayos que abarcan el 0.40% de la superficie total de la Reserva. Al Norte se localiza Cayo Norte, integrado por dos cayos, donde crece principalmente vegetación arbórea, manglar y se ubica el campamento de la marina; hacia el centro el Cayo Centro, es el más grande cubierto por manglar, palmas, vegetación arbórea y aquí se sitúa el campamento de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). El cuarto cayo, Cayo Lobos, es el más pequeño con vegetación arbustiva, rastrera y algunas palmas de coco (Carabias et al., 2000).

Desde el siglo XVI, Banco Chinchorro fue bien conocido por navegantes españoles e ingleses quienes probablemente lo denominaban como Triángulo. Es así como comienza a ser una región navegada por embarcaciones españolas, inglesas, portuguesas, francesas y holandesas (Carabias et al., 2000; Carrillo, 2018), mismas que por errores humanos, desconocimiento del lugar, tempestades climatológicas terminaron encalladas y/o naufragando en esta región. Tal es el caso del sitio de estudio actualmente conocido como El Ángel.

El pecio El Ángel fue descubierto en la década de 1980 por el Sr. Manuel Polanco, pescador retirado de Xcalak y Banco Chinchorro (Laura Carrillo, comunicación personal 2015), registrado por primera vez en el año 2004 por el equipo de investigadores de la SAS-INAH y personal de la CONANP. El Ángel se localiza al sur de la Reserva de Banco Chinchorro, cerca de Cayo Lobos. Se halla a doce metros de profundidad en aguas poco turbias que permiten distinguir los restos del barco desde superficie.

Si bien el área excavada representa solo una pequeña parte del pecio, con la información arqueológica, histórica y biológica, se puede decir que los restos de este contexto corresponden a una embarcación de finales del siglo XVIII principios del XIX. Este barco es de mediano porte propulsado a vela, con un sistema constructivo mixto de estructura y forro de madera, pero revestimiento de planchas de aleación de cobre sobre la obra viva y algunos refuerzos de hierro.

En *El Ángel,* se llevan a cabo diferentes estudios interdisciplinarios que aportan información para la comprensión del sitio. Entre las líneas de investigación que se desarrollan actualmente en este naufragio existen especialistas que se enfocan en el análisis de los procesos de formación y transformación de contextos sumergidos, otros dirigen sus estudios a la caracterización y análisis de procedencia de los materiales del ángel, algunos realizan la evaluación de la comunidad de organismos bentónicos que colonizan la superficie de los materiales. También hay investigaciones enfocadas en la identificación taxonómica de los restos de madera, análisis de sedimentos y monitoreo de parámetros ambientales de la columna de agua y estudios de degradación por corrosión de los artefactos manufacturados en hierro (Carrillo, 2018), sin olvidar, la investigación histórica en torno a los accidentes navales ocurridos en esa región, investigaciones arqueológicas sobre la arquitectura naval de los barcos e investigaciones sobre el manejo del patrimonio cultural sumergido.

Es claro que se han desarrollado diferentes líneas de investigación que permiten una mejor interpretación de dichos contextos, pero aún se desconoce gran parte de la información acerca del estado actual de conservación de los vestigios, en especial de la madera (materia prima en la construcción del ahora pecio 40 Cañones y El Ángel). Lo cual debe investigarse porque estos sitios forman parte de la historia de la navegación en México y es de vital importancia su conservación, protección, difusión y manejo.

2.2. Evaluación del deterioro de madera arqueológica sumergida

El estudio sobre el deterioro que sufre la madera arqueológica hallada en sitios sumergidos, como es el caso de los vestigios asociados a un contexto de naufragio, principalmente se lleva a cabo a través del análisis de la degradación de los componentes químicos presentes en las células de la madera. Sin embargo, actualmente, y con la finalidad de tener mayor conocimiento sobre el estado de preservación en el que se encuentran estos vestigios, se han implementado metodologías que permiten evaluar el deterioro que sufre el material por medio del cambio en sus propiedades físicas y mecánicas (Jensen et. al. 2006).

En México, fue a partir de 1990 cuando se comenzaron a desarrollar los primeros trabajos de investigación relacionados al deterioro de madera arqueológica procedente de contextos húmedos a partir de la evaluación de las propiedades físicas del material (Alonso et. al., 2001; García, 1990).

2.3. Deterioro químico de madera arqueológica sumergida

La caracterización química de la madera arqueológica sumergida es un parámetro importante que permite analizar los procesos naturales de degradación de las maderas, así como desarrollar nuevas técnicas de conservación y consolidación de los vestigios en estudio. Actualmente se conoce poco acerca de la transformación química de los diferentes componentes celulares de la madera arqueológica no sumergida durante su proceso de deterioro (Crestini et. al., 2009; Gjelstrup, 2012). Para el caso de madera arqueológica sumergida, esto no es la excepción.

En un contexto de naufragio, la madera comienza a degradarse lentamente gracias a las bacterias y hongos que la atacan ocasionando la perdida de celulosa y lignina del material. Las pérdidas de los principales componentes celulares en la madera proporcionan una textura suave y frágil al material. Para llevar a cabo el análisis de los compuestos celulares presentes en madera

arqueológica inundada se recurren a técnicas y equipo especializado que permita medir el porcentaje los diferentes contenidos celulares presentes en este tipo de vestigios.

Una de las técnicas más actuales que se utilizan para realizar estas investigaciones, se lleva a cabo a través de aparatos como el FT-IR (Fourier Transform Infrared spectrometry), el cual basa sus principios en técnicas de espectrometría molecular que funciona con pequeñas muestras colocadas en una celda infrarroja, donde es sometida a una fuente de luz infrarroja, la cual hace un barrido desde las longitudes de onda de 4000 cm-1 hasta 600 cm-1. La intensidad de la luz transmitida a través de la muestra es medida en cada número de onda, lo que permite que la cantidad de luz absorbida por la muestra sea calculada por la diferencia entre la intensidad de la luz antes y después de pasar por la celda de muestra. Con la ayuda de este equipo se puede determinar el porcentaje de lignina, celulosa y hemicelulosa presente en la madera arqueológica (Giachi et. al., 2003).

Por otro lado, para observar el daño estructural que ocasiono el ataque de hongos y bacterias en las maderas arqueológicas, se utilizan aparatos como el microscopio electrónico de barrido (MEB) o, con ayuda de un criostato o xilotomo se realizan cortes histológicos de muestras extraídas de estos sitios. Esta metodología permite observar los cambios en las estructuras anatómicas de la madera, con lo cual se puede realizar una interpretación del daño que ocasionaron estos microrganismos en dichos vestigios.

2.4. Deterioro físico y mecánico de madera arqueológica sumergida

Como se mencionó en párrafos anteriores, se han implementado metodologías, para evaluar el actual estado de preservación de la madera que forma parte de los pecios. Dichas técnicas consisten en conocer las características físicas y mecánicas de los vestigios. Para ellos, desde el 2006, especialistas en el tema comienzan a analizar cuáles eran las propiedades de mayor conveniencia para este estudio.

Fue a partir de ello que se llegó a la conclusión de que en estos materiales es de vital importancia calcular el Máximo Contenido de Humedad (MCH). De acuerdo con Christense (1970) y De Jong (1977), esta propiedad física permite separar en tres diferentes clases el grado el deterioro de la madera según el porcentaje de agua que presente. En este sentido, madera con un porcentaje de agua menor a 185% pertenece a la clase III (Madera no degradada); madera con un porcentaje de humedad entre 185 – 400% forma parte de la clase II (Madera moderadamente degradada) y, por último, madera con un porcentaje de agua mayor a 400% corresponde con la clase I (Madera altamente degradada).

Otra de las propiedades sumamente útiles para este estudio corresponde con la densidad básica (Db). La Db, mantiene una estricta relación con el máximo contenido de humedad, ya que, al aumentar el contenido de humedad, la densidad básica disminuye, ya que el agua que penetra en las células provoca un cambio en la masa y volumen de las sustancias presentes en las pareces celulares del material (Palma, 2005). En este tipo de vestigios, la densidad básica sirve como un indicador de la tendencia que tiene un objeto a sufrir un colapso. Asimismo, es una de las propiedades que se calculan cuando se desea realizar algún proceso de restauración o conservación de objetos arqueológicos elaborados en madera, ya que de este valor dependerá, la selección del compuesto químico que se requiera durante el procedimiento (Jensen and Gregory, 2006).

Además de las dos características mencionadas anteriormente, para obtener más información acerca del deterioro de los vestigios de madera es necesario calcular otros parámetros como: la porosidad, la densidad básica residual, la densidad de las sustancias de la madera, entre muchos otros más.

Es importante mencionar que, en madera arqueológica, al igual que en madera fresca, las propiedades físicas cambian no solo por el grado de descomposición que presente, sino que también se modifican de acuerdo a la zona donde se obtuvo la muestra (tronco, rama, raíz, duramen o albura), la etapa de

crecimiento del árbol (árbol juvenil o maduro), los contenidos celulares de la madera, el tamaño de la muestra, entre otras características específicas de cada especie. Por esta razón es importante no sobrestimar los resultados obtenidos de estos análisis, ya que, al ser un material arqueológico, se desconoce gran cantidad de información biológica e histórica respecto a la madera en estudio (Babiński et. al., 2014).

Es importante mencionar que, en la actualidad, en el pais, este tipo de análisis aún no se lleva a cabo en vestigios de madera que forman parte de contextos asociados a naufragios. Razón por la cual merece su estudio con la final de desarrollar nuevos protocolos de investigación que puedan ser aplicados en la evaluación del deterioro de madera arqueológica sumergida, además del establecimiento de nuevos parámetros para monitorizar el estado de preservación in situ de los vestigios, la comparación del estado de preservación entre vestigios de madera sumergidos procedentes de contextos diferentes, así como para determinar el mejor método de conservación de los objetos arqueológicos de madera que se localicen en sitios sumergidos; ya que la información de este tipo de investigaciones ayudara en las futuras decisiones respecto al plan de conservación in situ que se debe seguir para la preservación de la madera que forma parte naufragios. Los cuales al estar ubicados en aguas del territorio mexicano forman parte del patrimonio cultural subacuático de la nación, por lo que se debe de proteger, investigar, difundir, manejar y conservar, ya que constituye parte fundamental de la historia de la navegación en México.

2.5. Referencias bibliográficas

Alonso O. A., Tzompantzi R. M.T., Mendoza A. D., 2001. *Conservación de maderas arqueológicas húmedas: perspectiva actual y retos para el futuro en México*. Conserva No. 5, pp, 57-79

Babiński, L., Izdebska-Mucha, D., & Waliszewska, B. (2014). Evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood based on its physical properties: Basic density vs. wood substance density. *Journal of Archaeological Science*, *46*(1), 372–383. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.038

Carabias, J., Provencio, E., de la Maza, J., Gutiérrez, D., Gómez, M., & Camarena, T. (2000). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro México*. (J. Carabias Lilo, E. Provencio, J. de la Maza Elvira, D. Gutiérrez Carbonell, M. Gómez Cruz, & T. Camarena Luhrs, Eds.) (1a ed.). México: Instituto Nacional de Ecología.

Carrillo, L. (2018). ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA EN MÉXICO. *Revista de Arqueología Hitoríca Argentina y Latinoamericana*, *12*(1), 37–68.

Carrillo, L., & Noguera, N. (2012). El manejo de recursos culturales sumergidos en México. Naufragios en la sonde de Campeche, Golfo de México. In V. Moya (Ed.), *Pensar arqueología marítima: refrlexiones teórico-Metodológicas en el estudio de accidentes navales en México* (1 a, pp. 191–245). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Crespo-Solana, A. (2016). ForSEADiscovery: Génesis y marco historico-metodológico de un proyecto interdisciplinar en humanidades. *A Gestão Dos Recursos Florestais Portugueses Na Construção Naval Da Idade Moderna: História e Arqueologia*.

Crestini C., El Hadidi N. M.N., Palleschi G., 2009. *Characterisation od archaeological Wood: A case study on the deterioration of a coffin*. Microchemical Journal Vol. 92 pp. 150-154.

Christensen, B.B., 1970. *Conservation of waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*. National Museum of Denmark, Copenhagen.

De Jong, J., 1977. *Conservation Techniques for Old Waterlogged Wood from ship wrecks found in the Netherlands*. In Walters, A.h. (Ed.), Biodeterioration Investigation Techniques. Applied Science Publishers, London, pp. 295-338.

De Aranda y Antón, G. (1999). La Carpintería y la Industria Naval en el Siglo XVIII. *Cuadernos Monográficos Del Instituto de Historia Naval*, *33*, 1–124.

De Aranda y Antón, G. (2003). Relaciones Documentales de los Bosques y Los Montes Marítimos Peninsulares en los Archivos Historícos Españoles Drante el Siglo XVIII y Comienzo del XIX. *Ecología*, *17*, 359–379.

García Lacurain, G., 1990. *Liofilización: una alternativa para la conservación de materiales arqueológicos húmedos*. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Conservación, restauración y Museografia “Manuel deL Castillo Negrete”. Mexico, D.F., Mexico: INAH-SEP.

Gibbs Martin., 2006. Cultural site formation processes in maritime archaeology: disaster response, salvage and Muckelroy 30 years on. The international journal of nautical archaeology. 35.1: 4-19.

Gjelstrup Björdal Charlotte, 2012. *Evaluation of microbial degradation of shipwrecks in the Baltic Sea*. International Biodeterioration & Biodegradradation. Vol. 70 pp. 126-140.

Giachi G., Bettazzi F., Chimichi S., Staccioli G., 2003. *Chemical caracterisation of degraded Wood in ships discovered in a recent excavation of the Etruscan an Roman harbour of Pisa.* Journal of cultural heritage. Vol. 4 pp. 73-83.

Jensen, P., & Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood : A practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science*, *33*, 551–559. https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.007

3. PECIO EL ÁNGEL: IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA E INTERPRETACIÓN BIOLÓGICA-ARQUEOLÓGICA DE VESTIGIOS DE MADERA

3.1. RESUMEN/ABSTRACT

Los vestigios arqueológicos del naufragio *El Ángel,* localizados en la reserva de la Biósfera Banco Chinchorro en el estado de Quintana Roo, México, corresponden posiblemente a un velero de la primera mitad del siglo XIX. En el contexto destacan vestigios de madera de la estructura principal de la embarcación. La presente investigación se enfocó en el análisis arqueobotánico y el deterioro físico de las estructuras principales del casco del navío y de vestigios de madera asociados al sitio para identificar qué maderas se utilizaron en la construcción del barco, su posible procedencia y el estado de deterioro que presentan.

Durante los trabajos de excavación arqueológica se recolectaron pequeños fragmentos de madera de las principales estructuras del barco. Para la identificación taxonómica, se obtuvieron cortes histológicos en los tres planos diagnósticos de la madera. Adicionalmente se obtuvo información histórica, biológica y ecológica de las maderas identificadas.

Los resultados muestran que en la construcción del navío se utilizaron varios tipos de maderas. El piso de una cubierta se fabricó con *Fagus;* en el forro del casco o tablones de un posible piso de cubierta se usó *Pinus;* las cabillas fueron hechas con *Quercus* y el cargamento fue identificado como *Haematoxylum.* Las identificaciones de estas maderas y la documentación histórica sugieren que éste fue construido en Europa. Asimismo, la identificación taxonómica del cargamento y la revisión histórica indican una actividad comercial con Europa.

Palabras claves: Pecio, Banco Chinchorro, Identificación taxonómica

SHIPWRECK EL ANGEL: TAXONOMIC IDENTIFICATION AND BIOLOGICAL-ARCHAEOLOGICAL INTERPRETATION OF WOOD VESTIGES

Abstract

The archaeological vestiges of the *El ángel* shipwreck, located in the biosphere reserve of the *Banco chinchorro* in the state of Quintana Roo, Mexico, probably belonged to a sailboat of the first half of the 19th century . On the context many wood vestiges stand out of the main structure of the boat. The present investigation was focused on the archaeobotanical analysis and in the physical deterioration of the main structure and other wood vestiges associated in the site with the purpose of identifying the different kinds of wood used on the construction, its posible origin and current deterioration.

During excavation works in the archaelogical site many wood test tubes were collected from the main structure of the boat. To identify the wood, histological cuts were obtained from the three diagnostic wood plans. Additionally historical, biological and ecological information was obtained.

Results show that in the construction of the ship different kinds of wood were used. The floor from one of the decks was manufactured with *Fagus* sp. For the hull, *Pinus* sp. was used, the rafters were made with *Quercus* sp. and for the load area of the ship *Haematoxylium* was detected. By identifying these woods we can tell that the boat was manufactured in Europe. On the other hand the anatomic identification and the historical background of the wood founded on the load area suggests a commercial activity with Europe.

Keywords: shipwreck, Banco Chinchorro, taxonomic identification.

3.2. ANTECEDENTES

Desde épocas muy antiguas el ser humano ha utilizado la madera como una de las materias primas para la construcción de embarcaciones. El tipo de madera que se utilizaba, entre otras razones, variaba según la sección del navío que se quisiera construir, así como de la zona geográfica en la que se ubicaba el astillero, la disponibilidad de recursos y las propiedades físicas de los árboles. Los registros históricos sobre el uso de diferentes ejemplares de madera durante la fabricación de una embarcación, aunado al hallazgo de restos de las estructuras de madera de embarcaciones en contextos sumergidos, impulsó la realización de análisis de identificación taxonómica[1] de estos materiales. La identificación de los especímenes permite el acceso a información de tipo biológica como son la tallas de los ejemplares, su distribución geográfica, ciclos de vida, hábitat o propiedades mecánicas en el caso específico de la madera, de modo que se puede deducir en algunos casos determinados características constructivas de los navíos, determinar si hubo reparaciones efectuadas en algunas secciones de los barcos durante sus viajes, identificar taxonómicamente los tipos de madera que se utilizaban y establecer una

[1] Esta identificación consiste en ubicar a un organismo dentro de la categoría taxonómica en que fue clasificado, asignándole su correspondiente nombre científico.

posible zona de construcción del barco, así como inferir si el navío transportaba cargamento de madera para comerciar, entre otros aspectos.

En este sentido, un ejemplo es el estudio realizado en el naufragio de Bahía Galenses, barco de finales del siglo XVIII o principios del XIX localizada en Argentina, en el que se identificó el uso de maderas de roble europeo para el primer ligazón y el genol, pino escocés para las cuadernas y el recubrimiento externo, madera de pino caribeño para el forro exterior e interior, cuñas de cabilla y tacos de separación de las cuadernas, y madera de "falsa acacia" para las cabillas. De acuerdo con las identificaciones de los diferentes tipos de madera utilizados en la fabricación de este navío, se infirió que la embarcación fue construida en algún astillero europeo o americano (Murray *et al.,* 2009: 1097).

Asimismo, en la embarcación ballenera vasca del siglo XVI hallada en la bahía de Red Bay, Terranova y Labrador, Canadá, se identificó madera de roble en la manufactura de varengas, genoles, tracas del forro exterior y bauprés, entre otras estructuras del casco del ballenero. A su vez, el abedul se empleó para elaborar los baos, las cintas y las mangas, y las maderas de pino y pinabete para las vigas y tracas. Por último, en este estudio también se reportó la identificación de madera de haya empleada para la quilla (Grenier *et al.,* 2007: 71-73). Otro caso de estudio es el del buque de guerra británico *HMS*[2] *Swift*, hundido frente a la costa de la Patagonia en 1770, en el cual se utilizó madera de roble para la elaboración de las cuadernas y pino silvestre para el mástil (Elkin *et al.*, 2007: 32, 37, 39). En el buque francés *Queen Anne´s Revenge* estructuras como cabillas, marcos, cuñas, así como distintos tablones del barco, se fabricaron con madera de roble del grupo de los encinos blancos. Adicionalmente, algunos tablones del revestimiento de la embarcación fueron elaborados con pino silvestre (Newsom & Miller*,* 2009: 2-13).

[2] *Her Majesty's Ship*.

En México, a partir del año 2005 la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia (SAS-INAH) envió al laboratorio de Arqueobotánica de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico del INAH algunas muestras de madera procedentes de contextos de naufragios para su identificación, pero fue en el año 2010 cuando se comenzó el análisis sistemático sobre la identificación taxonómica de restos de madera asociados a las estructuras y/o a la carga de embarcaciones hundidas (Carrillo, 2011), con la finalidad de obtener información sobre los usos y criterios de selección de los distintas especies maderables apreciadas en construcción naval.

La identificación taxonómica de la madera empleada en la arquitectura naval en conjunto con la investigación documental, brinda información relevante para la interpretación del contexto arqueológico y la reconstrucción de la historia de una embarcación.

Por lo anterior, el presente estudio se enfocó a la identificación taxonómica de los vestigios de madera hallados en el pecio *El Ángel* con el objetivo de sugerir una posible procedencia geográfica de las maderas y por lo tanto de la embarcación, así como algunas características relativas a la construcción del barco.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO *EL ÁNGEL*

El pecio *El Ángel* se ubica en la reserva de la biosfera Banco Chinchorro en Quintana Roo, México. Fue descubierto por el Sr. Manuel Polanco (pescador retirado de Xcalak y Banco Chinchorro) y registrado por primera vez en el año 2004 por el Arq. Octavio del Río, colaborador de la SAS del INAH y por personal de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas) (Carrillo, 2014: 44). De acuerdo con la información arqueológica disponible de este contexto se ha establecido que los restos de la embarcación pueden corresponder a un velero de la primera mitad del siglo XIX.

Se halla a doce metros de profundidad promedio en aguas con una turbidez mínima, propias de las aguas del Mar Caribe, lo que permite distinguir los restos desde la superficie. Entre los materiales que se aprecian sobre el lecho marino arenoso, se encuentran algunas piedras de lastre, láminas de aleación de cobre que cubrían la obra viva de la embarcación, cadenotes, dos contenedores de hierro y un ancla, entre otros más. No obstante, con base en algunos pozos de sondeo realizados en el pecio se ha observado que bajo el sedimento hay tablones de madera de la estructura de la embarcación, pernos de bronce y madera, tachuelas y clavos de aleación de cobre, así como componentes metálicos no identificados (Carrillo, 2014: 46).

Las condiciones que prevalecen en los sedimentos como características granulométricas, una menor disponibilidad de oxígeno disuelto, así como una menor actividad biológica de micro y macro organismos, entre otras, han favorecido la preservación de los vestigios de madera que se hallan enterrados y que constituyen el principal material empleado en la construcción de esta embarcación.

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Obtención de muestras de madera del pecio "El Ángel"

Durante los trabajos de investigación realizados en campo entre los años 2009 y 2014 del proyecto *Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo* que lleva acabo la SAS, se colectaron muestras de madera del pecio *El Ángel* (Tabla 1 y Figura 1). Algunas de ellas se obtuvieron de piezas de madera que estaban expuestas, es decir, que no se encontraban debajo de la capa de sedimento del lecho marino, mientras que el resto se colectó de estructuras que yacían debajo de esta capa.

Cuadro 1. Relación de muestras de madera colectadas en el pecio “El Ángel” entre el año 2009 y 2014.		
AÑO DE COLECTA	**CLAVE DE LA MUESTRA . (*)Muestras incluidas en AGA.**	**PRESENCIA (+) DE RESTOS DE ORGANISMOS XILÓFAGOS EN LA MADERA**
2009	M1-2009	+
2012	M1-2012	+
	M2-2012*	+
	M3-2012*	+
	M-Nuc-2012	-
2014	M1-2014	+
	M2-2014	+
	M3-2014	+
	M4-2014	-
	M5-2014	-
	M6-2014	+
	M7-2014	-
	M8-2014	-
	M9-2014	-
	M10-2014	+

Figura 1. Muestras colectadas en el pecio “El Ángel” durante la temporada 2009, 2012 y 2014. Nótese que gran parte de las muestras presentan una cantidad considerable de perforaciones y restos de los tubos calcáreos de invertebrados marinos. Fotografía: Claudia Girón. Archivo: INAH/SAS©

Con un berbiquí de carpintero y una broca sacabocados de cinco centímetros (~2”) de diámetro se obtuvieron núcleos muestra de la madera de distintas secciones de la estructura de la embarcación (Figuras 2 y 3). Las muestras se colocaron en frascos de plástico transparente llenos con agua de mar con los datos de colecta. Para desalinizarlas se usó el método gradual de sustitución de agua de mar por destilada, en los siguientes porcentajes: 75%$_{mar}$-25%$_{dH2O,}$ 50%$_{mar-}$ 50% $_{dH2O}$, 25%$_{mar}$- 75% $_{dH2O}$ y 100% $_{dH2O;}$ posteriormente se prepararon para obtener laminillas permanentes.

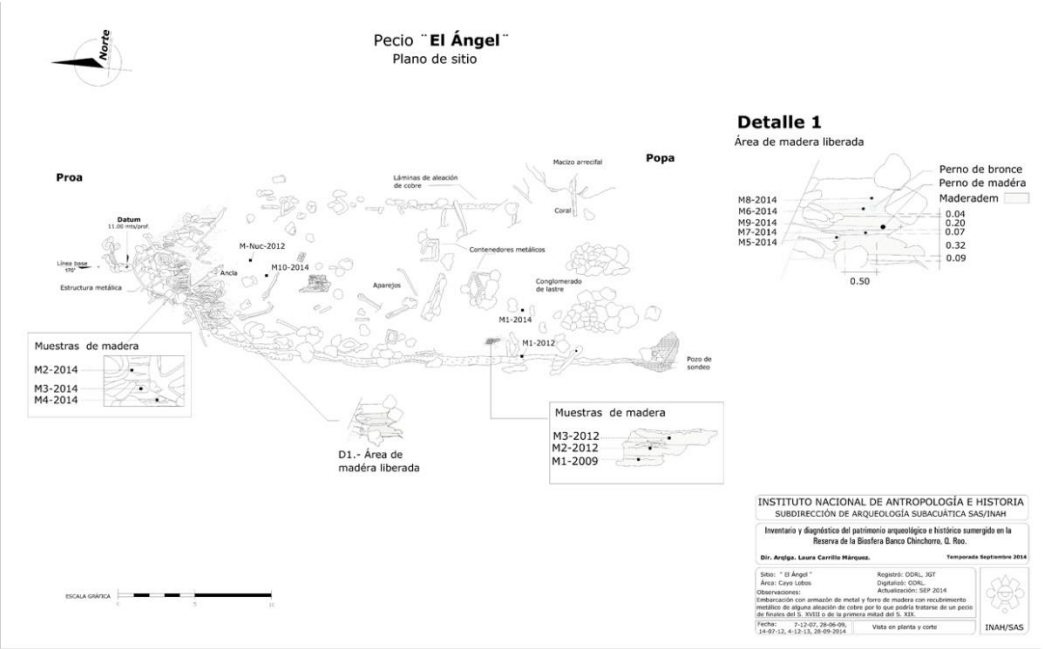

Figura 2. Zonas de colecta de las muestras de madera en el pecio “El Ángel” durante las temporadas 2009, 2012 y 2014. Plano modificado de Carrillo 2014.

Figura 3. Colecta de muestra de madera. Fotografía: Laura Carrillo. Archivo: INAH/SAS©

3.4.2. Preparación de cortes histológicos

De cada muestra de madera se cortó un cubo aproximadamente de 1 x 1 cm dejando claras las secciones transversales, tangenciales y radiales. Aquellas muestras que mantenían una gran dureza se incluyeron en una solución de alcohol-glicerol-agua (AGA) por tres días para ablandar el material y poder seccionarlo (Tabla 1). Al resto de las muestras se les retiró el exceso de agua para seccionar la madera con mayor facilidad. Los cortes transversales, tangenciales y radiales se hicieron a mano alzada con navajas de doble filo y se deshidrataron con alcoholes a concentraciones graduales: 30%, 50%, 70%, 80%, 96% y alcohol absoluto. Posteriormente se aclararon con xilol y se cubrieron y montaron con bálsamo de Canadá. Este proceso se realizó en el laboratorio de la SAS.

3.4.3. Caracteres anatómicos diagnósticos utilizados para la identificación de las maderas

Las descripciones microscópicas para la identificación taxonómica se hicieron de acuerdo con los criterios de la lista de la IAWA (1989: 1-70 y 2004: 219-332). En las secciones transversales se reconoció: presencia o ausencia de vasos para determinar el grupo vegetal al que pertenece la muestra: angiospermas = vasos, gimnospermas = traqueidas.

De la sección transversal de la madera de angiosperma se describió el tipo de porosidad, agrupación y contorno de vasos, su arreglo, y la presencia y tipo de extractivos. Se describió el tipo de parénquima apotraqueal (difuso o difuso en agregados) o paratraqueal (escaso, vasicéntrico, aliforme, aliforme-confluente o en bandas, entre otros). De la sección tangencial se describieron: el tipo de placa de perforación de los elementos de vaso y de punteadura y la presencia o ausencia de traqueidas vasicéntricas y vasculares. Asimismo, se contó el número de células que forman los cordones de parénquima, se midió la anchura y altura de los radios, se identificó el tipo de extractivos presentes, se clasificó el tipo de radios (homogéneos o heterogéneos) y si había

estratificación o no, además se midió el grosor de las fibras, así como la presencia o ausencia de algún tipo de inclusión mineral.

En la sección transversal de la madera de gimnospermas se describió la presencia o ausencia de anillos de crecimiento, el tipo de transición entre madera temprana y tardía (abrupta o gradual) y la presencia o no de parénquima axial y de canales resiníferos verticales. En las secciones tangenciales se buscaron los engrosamientos helicoidales, la presencia de canales resiníferos de radio y se midieron la altura y anchura de radios. En la sección radial se verificó el tipo de punteadura en las paredes de las traqueidas de madera temprana, el tipo de radios (homo o heterocelulláres), el tipo de células que los componen y los extractivos. También se buscó la presencia de traqueidas de radio, si el parénquima de radio presentaba paredes lisas, dentadas o reticuladas, y se describió el tipo de punteadura de campo de cruzamiento (ventana, pineoide, piceoide, cupresoide, taxodioide o araucarioide) y su número.

3.5. RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS MUESTRAS DE MADERA

De acuerdo con las características anatómicas que presentaron las quince muestras analizadas (Figura 4), se determinó que ocho pertenecen al género *Haematoxylum* sp., tres al género *Quercus* sp. , tres corresponden al género *Fagus* sp., y una al género *Pinus* sp.

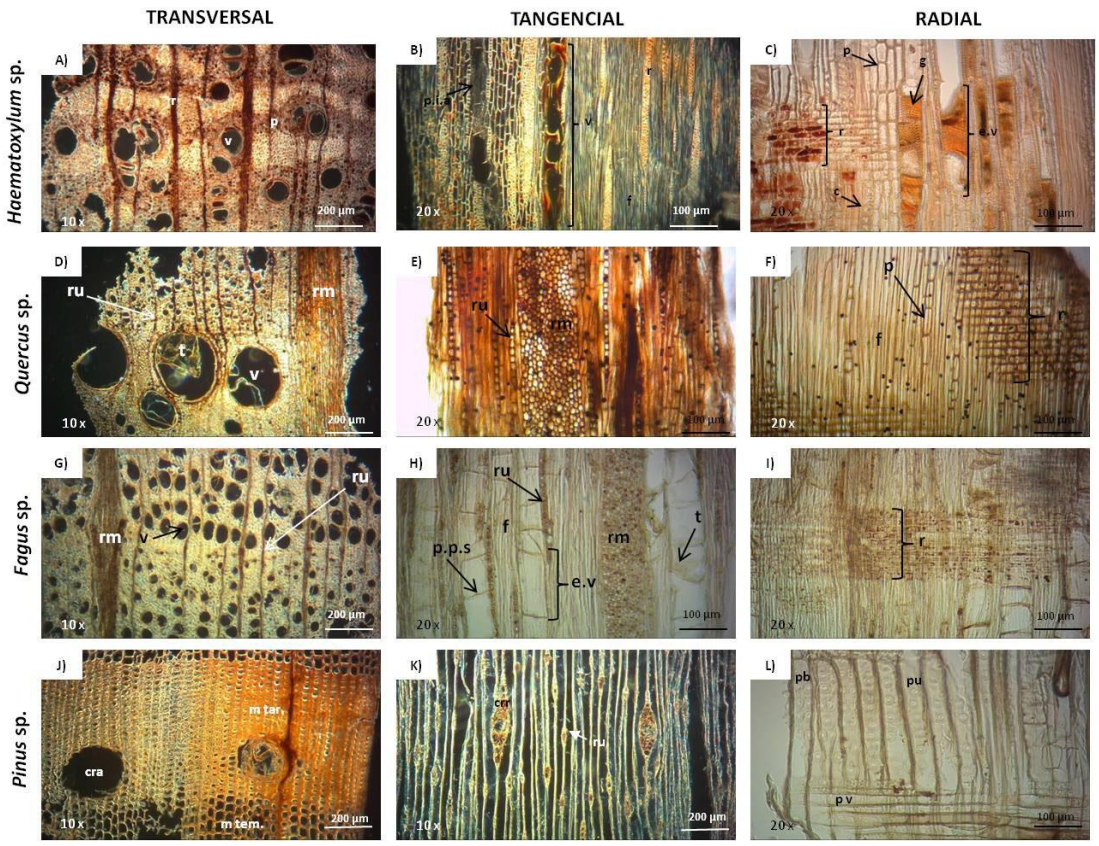

Figura 4. Cortes histológicos de los cuatro géneros de madera identificados en el sitio “El Ángel”. A - C. Madera identificada como ***Haematoxylum* sp**. D- F. Madera identificada como ***Quercus* sp.** G-I. Madera identificada como ***Fagus* sp.** J-K. Madera identificada como ***Pinus* sp.** Donde: vasos = v, vasos angulares = v.a, elementos de vaso = e.v, parénquima = p, radios = r, fibras = f, cristales prismáticos = c, tilides = t, goma = g, placa de perforación simple = p.p.s, canal resinífero axial = cra, madera temprana = m tem, madera tardía = m tar, canales resiníferos radiales = crr, punteaduras tipo ventana = pv, punteaduras en una sola serie longitudinal = pu y punteaduras biseriadas opuestas = pb. Fotografía: Claudia Girón. Archivo: INAH/SAS©

3.5.1. Características anatómicas de las muestras de madera

a) *Haematoxylum* sp.

Familia: Fabáceae

Muestras: M1-2009, M2-2012, M3-2012, M1-2014, M2-2014, M3-2014, M5-2014 y M10-2014.

La madera presenta porosidad difusa. Vasos con depósitos de goma, mayormente solitarios aunque hay algunos múltiples radiales (dos a tres

células) arreglados radialmente. Elementos de vaso con placa de perforación simple y punteaduras intervasculares alternas. Parénquima axial paratraqueal aliforme confluente. Cordones del parénquima formados por 3 o 4 células. Presencia de cristales prismáticos en cámaras del parénquima. Radios heterocelulláres, largos de 4 a 10 series, irregularmente estratificados formados por células procumbentes y una hilera de células cuadradas. Fibras libriformes con paredes muy gruesas.

b) *Quercus* sp.

Familia: Fagácea

Muestras: M-Nuc-2012, M4-2014 y M9-2014.

La madera presenta porosidad circular. Vasos con tílides exclusivamente solitarios, arreglados dendríticamente. Elementos de vaso con placa de perforación simple y punteaduras intervasculares. Presencia de traqueidas vasicéntricas. Parénquima axial apotraqueal difuso en agregados. Presencia de cristales prismáticos en las células del parénquima. Los radios se presentan uniseriados y multiseriados (> diez células); los multiseriados son altos (> un mm) y agregados. La composición de los radios es homogénea formada por células procumbentes y no están estratificados. Las fibras presentan paredes celulares que van de delgadas a gruesas.

c) *Fagus* sp.

Muestras: M6-2014, M8-2014 y M7-2014

La madera presenta porosidad semicircular. Vasos con tilides, solitarios y con contorno angular. Elementos de vaso con placa de perforación simple y punteaduras intervasculares opuestas y medianas (siete a diez µm). Parénquima axial apotraqueal difuso. Los radios se presentan uniseriados y multiseriados (> diez células); los multiseriados son altos (> un mm). La composición de los radios es heterogénea formados por células procumbentes y una hilera de células cuadradas. Fibrotraqueidas con paredes celulares que van de delgadas a gruesas.

d) *Pinus* sp.

Familia: Pinácea

Muestra: M1-2012

La madera presenta anillos de crecimiento conspicuos y la transición entre madera temprana y tardía es abrupta. Las traqueidas de madera temprana con punteaduras en una sola serie. Se observa la presencia de canales resiníferos axiales y de radio. Los radios son medianos (cinco a quince células de alto), uniseriados, heteroceluláres compuestos por parénquima de radio y traqueidas de radio dentadas. Paredes del parénquima de radio lisas. Campo de cruzamiento con punteaduras de tipo ventana (una por campo).

3.6. INTERPRETACIÓN ARQUEOBOTÁNICA

Las características anatómicas de las maderas identificadas como género *Haematoxylum,* presentan gran afinidad con la especie *Haematoxylum campechianum*, comúnmente conocida como palo de tinte, palo tinto o palo de campeche, la cual tuvo gran importancia mercantil a partir del siglo XVII, teniendo su auge a mediados del siglo XVIII y durante el siglo XIX.

H. campechianum es una especie arbórea espinosa que alcanza los 15 m de altura, su tronco es nudoso y retorcido con un diámetro que va desde los 45 a los 60 cm. Es una especie nativa de las regiones tropicales de América que se distribuye naturalmente en la península de Yucatán en México, Guatemala y Belice. En esta área de distribución, la especie forma grupos densos llamados tintales (Niembro, 2010: 485-486). Antiguamente en México, existían abundantes tintales en Tabasco, Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Contreras, 2010: 371).

La riqueza de este árbol radica en el alto contenido de hematoxilina, sustancia que se extrae del duramen de la madera y que sirve para teñir otras maderas o textiles. Desde épocas antiguas esta especie se ha utilizado para la fabricación de tintas y tinturas de gran utilidad en la industria textil. Por ejemplo, de este árbol se podían obtener sustancias para teñir la lana en color negro o en azul y la seda y algodón en negro, pero también se le atribuyen colores como el amarillo rojizo, el amarillo vivo, el violeta, el rojo oscuro y el morado (Contreras,

1987: 49-50). En la actualidad tiene un gran uso en la histología animal para teñir los cortes histológicos dándoles una coloración violeta.

El auge alcanzado por la revolución industrial, específicamente en la industria textil, provocó que algunos países Europeos como Inglaterra, Francia y Holanda, incrementaran la demanda del palo de tinte, lo que dio paso a una mayor explotación y comercialización de este recurso. De acuerdo con Villegas & Torras (2014: 81), durante el siglo XIX los barcos que entraban a los puertos situados en el sureste de México, procedentes tanto de Europa (Liverpool, Hamburgo, Amberes, Barcelona, Génova, Marsella, Le Havre, Burdeos, Queenstown) como del Caribe (Kingstown, La Habana, Santo Thomas) y Norteamérica (Nueva York, Nueva Orleans, Mobila) transportaban gran variedad de mercancía que provenía de sus mismas regiones y salían cargados con toneladas de palo de tinte extraídas de regiones como Palizada y el Carmen, ambas en Campeche. Esto ayuda a inferir que la madera afín a palo de tinte hallada en *El Ángel* puede formar parte de alguna carga de madera que transportaba esta embarcación, ya sea para comercio o como contrabando. A su vez, esta información permite plantear posibles rutas de comercio entre la zona de la península de Yucatán y países extranjeros interesado en la adquisición de palo de tinte como es el caso de Inglaterra, Francia, Cuba, entre muchos otros más.

Por otro lado, las muestras de madera identificadas taxonómicamente como genero *Quercus* (conocido principalmente en Europa como roble), muestran una gran afinidad con dos especies de roble que se distribuyen en Europa, las cuales eran utilizadas comúnmente en la construcción de embarcaciones, las cuales son *Q. robur* y *Q. petraea* (Pla, 1880: 109-110). No obstante, el análisis anatómico de la madera no permite establecer las diferencias estructurales entre las especies del genero Q*uercus* debido a la gran similitud existente entre sus estructuras celulares.

En cuanto a las características biológicas de las dos especies afines (*Q. robur* y *Q. petraea*) se puede decir que los ejemplares de estas especies son árboles que alcanzan alturas entre los 30 m y 40 m y se encuentran

ampliamente distribuidos por Europa, desde el norte de España hasta el sur de Escandinavia y desde Irlanda hasta Europa del Este (Figura 5). Su hábitat comprende llanuras de cualquier tipo de suelo, además de que se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta los 1 800 msnm. Esta distribución tan amplia explica en parte el gran aprovechamiento de estas especies en los astilleros, ya que eran maderas de fácil acceso (Ducousso & Bordasc., 2008: 2), aunque también hace imposible definir una región precisa de procedencia de la madera empleada.

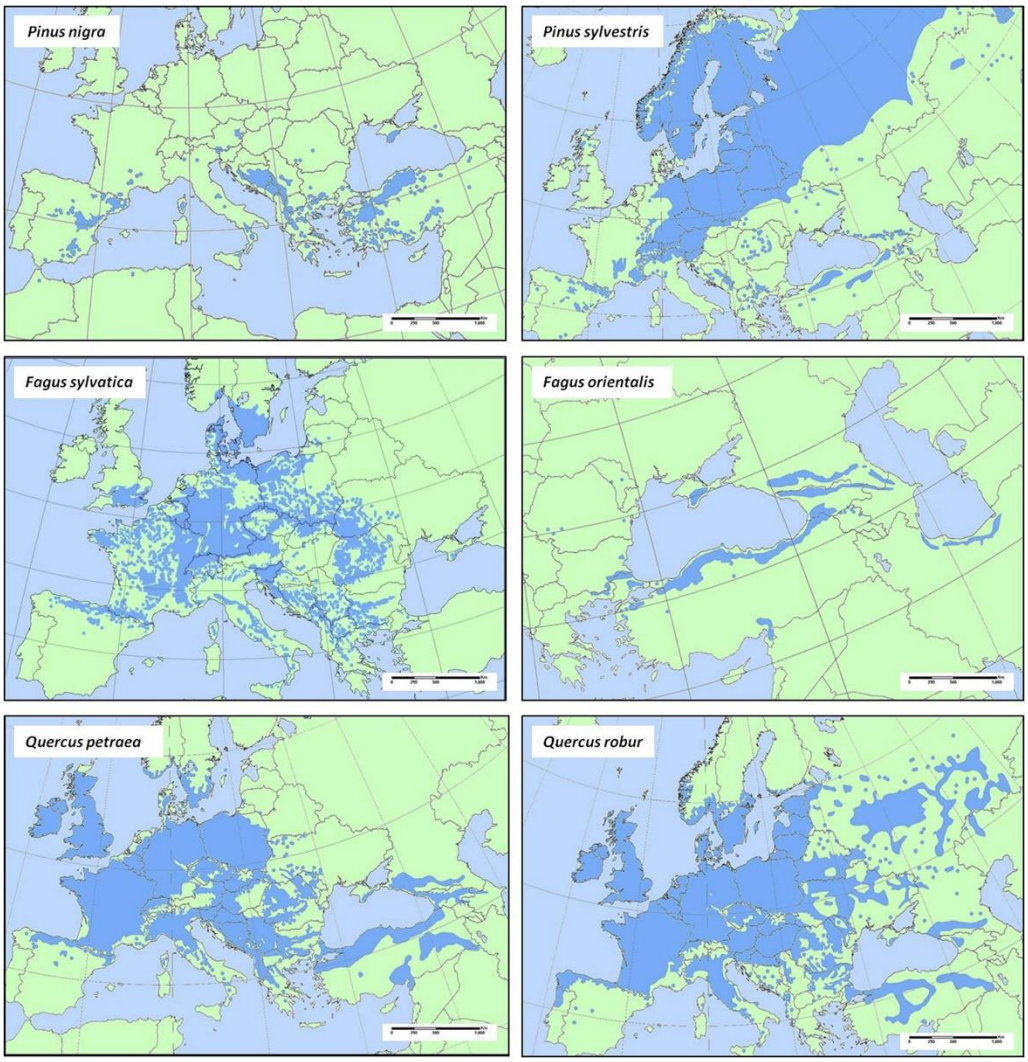

Figura 5. Mapas de distribución geográfica del las especies *P. nigra, P. sylvestris*, *F. sylvatica, F. orientalis, Q. petraea* y *Q. robur.* Mapas tomados de www.euforgen.org.

Existen otros factores por los cuales la madera de roble era ampliamente utilizada en la construcción naval, uno de ellos es por el contenido de ácido tánico que contribuye a su mayor duración cuando está expuesta a la acción del agua y del aire (Pla, 1880: 109-110), además de que es una madera de buena calidad y gran dureza (Heywood, 1985: 56).Por estas propiedades, el roble fue utilizado en distintas piezas importantes de la embarcación como: la quilla, la sobrequilla, las cuadernas, el codaste, la roda, el timón y los baos.

De forma similar, la madera del género *Fagus* sp., es considerada de buena calidad y de gran dureza, por lo que también fue empleada para construir algunas partes de los barcos. De acuerdo con la composición celular que presentaron las muestras del género *Fagus* identificadas en el presente estudio, se estableció una gran afinidad con las especies europeas *F. sylvatica* y/o *F. orientalis*. No obstante, al igual que en el caso del género *Quercus*, no es posible definir por medio de las técnicas histológicas la especie a la que pertenece cada muestra, ya que presentan características celulares muy similares.

F. sylvatica (haya), es un árbol que puede alcanzar hasta 40 m de altura, con una corteza lisa y gris. Actualmente se distribuye en Europa Central y Occidental. En la parte norte de su área de distribución crece en elevaciones bajas (Von Wühlisch, 2008: 2). Por otra parte, *F. orientalis* (haya oriental) es un árbol caducifolio, el cual puede alcanzar de 30 a 40 m de altura, con un diámetro del tronco aproximado de un metro. Su área de distribución se ha reducido al paso de los años, y actualmente comprende Grecia, Turquía y el Norte de Irán (Kandemir & Kaya., 2009: 2).

Al analizar los mapas de distribución geográfica correspondientes a *F. sylvatica* y *F. orientalis* (Figura 5), se observa que *F. sylvatica* comparte un área considerable con las especies de roble (*Q. robur* y *Q. petraea)*, a diferencia de la especie *F. orientalis*, la cual se distribuye en regiones más alejadas de estas especies. Esto sugiere una mayor probabilidad de que las muestras identificadas como *Fagus* pertenezcan a la especie *F. sylvatica*, debido a que su presencia en la misma área que la de las especies de roble pudo haber sido un factor determinante en el suministro de madera para la construcción naval, puesto que

era importante que en los astilleros tuvieran fácil acceso a este material. O´Scanlan (1847: 11), menciona que la madera de haya (*F. sylvatica)* era empleada para la producción de remos o tablonería de fondo, lo cual reafirma el uso de este tipo de madera para la construcción del pecio *El Ángel*.

Por otra parte, desde el punto de vista taxonómico, Mirov (1967: 360), señala que la madera identificada como *Pinus sp.* (M1-2012) forma parte del subgénero Diploxylon por presentar traqueidas de radio dentadas. Dentro de este subgénero se encuentran dos especies de pino que tuvieron un gran uso en arquitectura naval (*Pinus. sylvestris* y *P. nigra)* y con las cuales la muestra tiene cierta afinidad (Pla, 1880: 108-109). Es importante mencionar que la composición celular de la madera de estas dos especies es muy similar entre sí y que la técnica de análisis empleada no permite una identificación taxonómica más precisa.

P. nigra (pino negro o pino laricio), es un árbol que crece de 40 a 50 m de altura y posee un tronco generalmente recto de corteza pardo grisácea o pardo oscura. Procede del sur de Europa, norte de África y Asia Menor, y es considerado uno de los pinos europeos más antiguos. Actualmente se extiende por España (principalmente en su mitad oriental), sureste de Francia, Córcega, Italia, Sicilia, Austria, países Balcánicos, Crimea, Base del Cáucaso, Anatolia, Chipre y otras islas del mediterráneo occidental, y norte de Marruecos y Argelia. No obstante, las mayores concentraciones se encuentran en España y en Asia menor (Alejano & Martínez*.,* 1996: 232-233). Por otra parte*, P. sylvestris* conocido por su nombre vernáculo como pino silvestre, es un árbol que alcanza entre los 25 y 35 m de altura, posee un tronco recto y cilíndrico de hasta 3.5 m de diámetro. Actualmente se extiende en Europa, del norte al sur, desde Escandinavia y Escocia hasta España y hacia el este, llegando hasta Manchuria (García *et al*., 2003: 219-220) (Figura 5).

La madera de pino era empleada en la producción de piezas de la embarcación que requerían una menor resistencia, por lo que se aserraba en tablones y se empleaba para entablar los sollados y otros entarimados de la bodega, falsos baos, ligazones, barrotines, mamparos, pañoles, galerías,

tablones de la obra muerta del barco, parte de la sobrequilla, los forros, cubiertas y arboladuras, entre muchas otras piezas más que forman la obra de carpintería de blanco (Carrillo, 2014: 96).

Al llevar a cabo el análisis de la posición estratigráfica de los vestigios de madera dentro del contexto arqueológico y su identificación taxonómica (Tabla 2), se aprecia que las muestras de madera que fueron afín a palo de tinte están ubicadas en el estrato superior del pecio, lo que permite inferir que corresponden con troncos que formaban parte de la carga que transportaba la embarcación. Por otro lado, se infiere que la madera de pino (M1-2012) colectada hacia babor (Figura 2), muy cercana a la superficie del lecho marino sobre el mismo nivel que el cargamento del palo de tinte, corresponde al piso de una cubierta o de la bodega del barco, o al forro interior del casco de la embarcación (Carrillo, 2015).

Cuadro 2. Correlación estratigráfica entre los distintos tipos de madera y su uso en la construcción naval del pecio "El Ángel".			
Posición estratigráfica del vestigio de madera	**Muestra**	**Identificación taxonómica**	**Posible asociación estructural**
Estrato superior	M1-2009 M2-2012 M3-2012 M1-2014 M2-2014 M3-2014 M5-2014 M10-2014	*Haematoxylum*	Carga que transportaba la embarcación
	M1-2012	*Pinus* (pino)	Forro interior del casco de la embarcación o posible piso
Estrato intermedio	M6-2014 M8-2014 M7-2014	*Fagus* (haya)	Cubierta
	M9-2014	*Quercus* (roble)	Cabilla
Estrato basal	M-Nuc-2012 M4-2014	*Quercus* (roble)	Estructura principal de la embarcación (cuaderna, sobrequilla)

Nota: La posición estratigráfica está relacionada con la superficie del fondo marino.

Respecto a los tablones de madera de haya localizados en un estrato intermedio (Tabla 2), se infiere que forman parte de alguna de las cubiertas de la embarcación. Este supuesto se sustenta tanto por datos bibliográficos que

mencionan que los cargamentos de madera se transportaban sobre la cubierta de los barcos (Ryan, 2010: 144), tal y como se encontró la carga de palo de tinte en *El Ángel*, como por su disposición en el contexto arqueológico. En el caso particular de la muestra M9-2014 -también identificada como roble y extraída de una pieza localizada en el estrato intermedio-, se cree que puede corresponder a una cabilla de madera que evitaba que los tablones de la cubierta se movieran entre sí (comunicación personal con el P.A. Josué Guzmán, 2015).

Por último, las maderas de roble localizadas en el estrato basal (Tabla 2), se han asociado con elementos principales de la embarcación, probablemente con la sobrequilla y con las tracas longitudinales respectivamente ya que, como se mencionó, para las estructuras que componen el esqueleto del barco se empleaba este tipo de madera (O´Scanlan, 1847: 8).

3.7. COMENTARIOS FINALES

La identificación taxonómica de los restos de la estructura de madera del pecio *El Ángel* permitió determinar el uso de al menos tres géneros en su construcción. Uno de ellos fue el roble, empleado en la elaboración de piezas que forman parte de la obra viva de la embarcación; el haya, utilizada en una cubierta del navío, y el pino, para algunos componentes como la cubierta y el forro interior del casco. De acuerdo a la zona de distribución geográfica de las especies con las que estos tres géneros mostraron afinidad, se puede suponer que la embarcación fue construida en un astillero Europeo.

Asimismo, el hallazgo de troncos de palo de tinte sobre la cubierta aprueba que *El Ángel* era una embarcación que transportaba uno de estos cargamentos. A su vez, la información histórica del comercio de esta madera así como la ubicación geográfica donde se encuentra el naufragio, sugiere que esta embarcación posiblemente zarpó de algún puerto en las costas de Quintana Roo para transportar el cargamento hacia regiones del Caribe como Kingstown, La Habana, Santo Thomas o hacia algún país en Europa.

Cabe mencionar que los análisis de madera del pecio *El Ángel* aún continúan, con el objetivo de conocer más características constructivas de la embarcación, delimitar con mayor precisión el área geográfica donde pudo haberse construido el navío, obtener mayor información sobre las rutas de comercio del palo de tinte, así como de identificar aquellas especies utilizadas para la manufactura de los componentes del naufragio que se liberan en cada temporada de campo.

3.8. BIBLIOGRAFÍA

Carrillo Márquez Laura
2011 "Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe parcial de actividades 2010", México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

_____
2014 "Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe de actividades 2013", México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

_____
2015 "Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe de actividades 2014", México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

Elkin D., Argüeso A., Grosso M., Murray C., Vainstub D., Bastida R. & Dellino-Musgrave V. 2007 *Archaeological research on HMS Swift: a Britich Sloop-of-War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770,* The International Journal of Nautical Archaeology, 36 (1): 32-58.

García Esteban L., Guindeo Casasús A., Peraza Oramas C. y de Palacios de Palacios P. 2003 *La madera y su anatomía. Anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular,* Madrid, Mundi-Pensa AITIM, pp. 219-220.

Grenier Robert, Bernier Marc André & Stevens W. 2007 *The underwater Archaeology of Red Bay Basque Shipbuilding and Whaling in the 16th Century*, Vol. 5, Canada, Parks Canada.

Heywood V. H. 1985 *Las plantas con flores,* España, Reverte.

IAWA Committee. 1989. *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*, IAWA Bulletin 10 (3), Netherlands.

_____
2004 *IAWA list of microscopic features for softwood identification,* IAWA Journal 25 (1), Netherlands.

Mirov N. T. 1967 *The Genus Pinus,* United States of America, The Ronald Press Company.

Ryan Terrence. 2010. "The Development of Pacific Coast Lumber Ships", Nautical Research Journal, Vol. 55, Illinois, Estados Unidos de Norteamérica, No. 3:141- 160.

Alejano R. & E. Martínez Montes. 1996. "Distribución de Pinus nigra Arn. Subsp. Salzmannii en las sierras Beticas", Ecología, 10: pp. 231-241, en: http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/ publicaciones/ecologia_10_16_tcm7-46171.pdf, consultado el 13 de noviembre del 2014.

Contreras, S. 1987. "El palo de tinte, motivo de un conflicto entre naciones, 1670-1802", pp. 49-50, en: http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/YX5YI6RS1 TYJ66UPMP9UM7QM39IH3R.pdf, consultado el 23 de febrero del 2015.

2010 "Biodiversidad perdida: el caso de los colorantes", pp. 368-372, en: http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap7/16%20Biodiversidad%20perdida.pdf, consultado el 27 de noviembre del 2015.

Ducousso A. & Bordacs S. 2008. "EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks *(Quercus robur and Q. petraea)"*, International Plant Genetic Resources Institute, Italy, en: http://www.euforgen.org/uploads/tx_news/1038_ Technical_guidelines_for_genetic_conservation_and_use_for_Pedunculate_and_sessile_oaks__Quercus_robur__and__Quercus_petraea_.pdf, consultado el 11 de febrero del 2015.

EUFORGEN, en http://www.euforgen.org, consultado el mes de febrero del 2015.

Kandemir G. and Kaya Z. 2009. *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of oriental beech (Fagus orientalis),* Biodiversity International, Rome, Italy, en: http://www.euforgen.org, consultado el 19 de febrero del 2015.

Murray C., Grosso M., Elkin D., Coronato F., De Rosa H., Castro M., Bastida R y Ciarlo N.

2009 “Un sitio costero vulnerable: el naufragio de Bahía Galenses (Puerto Madryn, Chubut)”, Arqueología de la Patagonia, pp. 1093-1108, en: http://aquaticcommons.org/10192/, consultado el 18 de febrero del 2015.

Newsom L. & Miller R. 2009. “Research report and bulletin series QAR-R-09-01, Wood Species Analysis of Ship Timbers and Wooden Items Recovered from Shipwreck 31CR314, Queen Anne´s Revenge Site”, pp. 1-16, en: http://digital.ncdcr.gov/cdm/ref/collection/p249901 coll22/id/695867, consultado el 15 de noviembre del 2014.

Niembro R. A. 2010. “*Haematoxylum campechianum* L. Manual de Semillas de árboles tropicales”, pp. 485-486, en: http://www.rngr.net/publications/ttsm/species/PDF.2004-03-03.3013/at_download/file, consultado el 23 de febrero del 2015.

O’Scanlan T. 1847. “Cartilla practica de construcción naval, dispuesta en forma de vocabulario”, Madrid, pp. 8, 11, en: http://www.aammb.cat/DOCUMENTACION/Cartilla%20practica%20de%20construccion%20naval%201829%20O-SCANLAN.pdf, consultado el 25 de mayo del 2014.

Pla y Rave E. D. 1880. “Tratado de maderas construcción civil y naval”, Impresiones de cámara de S. M. Madrid, pp. 109-110. Recuperado el 14 de mayo del 2014 en http://gilbert.aq.upm.es/sedhc/biblioteca_digital/Tratados/T-031.pdf.

Villegas, P.& Torras, R. 2014. “La extracción y exportación de palo de tinte a manos de colonos extranjeros. El caso de la B. Anizan y Cia”, Secuencia, Revista de historia y ciencias sociales, num. 90, pp. 77-93. Recuperado el 10 de febrero del 2015 en http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319132504004#.

Von Wühlisch G. 2008. “EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech *(Fagus sylvatica)”,* Biodiversity International, Rome, Italy, en: http://www.euforgen.org, consultado el 19 de febrero del 2015.

Sin autor, Microscopy Wood Anatomy of Central European Species en: http://www.woodanatomy.ch/, consultado en el mes de diciembre 2014.

Sin autor, The InsideWood Database, en: http://insidewood.lib.ncsu.edu/search;jsessionid=FE76FAF74DD09E20CB199F5E40E6A3E6?0, consultada el mes de diciembre 2014.

4. EVALUACIÓN DEL DETERIORO FÍSICO DE MADERA ARQUEOLÓGICA PROCEDENTE DEL PECIO EL ÁNGEL.

4.1. RESUMEN/ABSTRACT

Los vestigios arqueológicos del naufragio *El Ángel,* localizados en la reserva de la Biósfera Banco Chinchorro en el estado de Quintana Roo, México, corresponden posiblemente a un velero de la primera mitad del siglo XIX. En el contexto destacan vestigios de madera de la estructura principal de la embarcación. La presente investigación se enfocó en el análisis arqueobotánico y el deterioro físico de las estructuras principales del casco del navío y de vestigios de madera asociados al sitio para identificar qué maderas se utilizaron en la construcción del barco, su posible procedencia y el estado de deterioro que presentan.

Durante los trabajos de excavación arqueológica se recolectaron pequeños fragmentos de madera de las principales estructuras del barco. Para evaluar el deterioro, se calculó la densidad básica y el máximo contenido de humedad según la metodología propuesta por Jensen y Gregory (2006). También se usaron técnicas histoquímicas y de microscopía electrónica

Los resultados muestran que hay diferencias significas en cuanto a la densidad básica y el máximo contenido de humedad respecto a maderas sanas, lo que nos indica que la mayoría de las maderas del barco están altamente degradadas.

Palabras claves: Pecio, Banco Chinchorro, densidad básica, máximo contenido de humedad.

Evaluation of physic decay of archaeological wood of shipwreck El Ángel

Abstract

The archaeological vestiges of the *El ángel* shipwreck, located in the biosphere reserve of the *Banco chinchorro* in the state of Quintana Roo, Mexico, probably belonged to a sailboat of the first half of the 19th century . On the context many wood vestiges stand out of the main structure of the boat. The present investigation was focused on the archaeobotanical analysis and in the physical deterioration of the main structure and other wood vestiges associated in the

site with the purpose of identifying the different kinds of wood used on the construction, its posible origin and current deterioration.

During excavation works in the archaelogical site many wood test tubes were collected from the main structure of the boat. The evaluate deterioration basic density and maximum content of humidity were calculated, based on the methodology of Jensen and Gregory (2006). Histochemistry and electron microscopy techniques were also used

Results show that in the archaelogical wood shows differences in basic density and maximun content of humidity with respect to healthy wood, and that indicates us about the highly deteriorated status of the wood actually.

Keywords: shipwreck, Banco Chinchorro, basic density, maximun water content

4.2. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de las primeras civilizaciones, la madera fue una de las materias primas aprovechadas por el hombre como material de construcción para viviendas, utensilios, herramientas, muebles, instrumentos, obras de arte, retablos, entre muchos otros usos más (Lobo, Santana, & Rodríguez, 2007). Durante los siglos XVI al XIX, época del gran desarrollo naval, el aprovechamiento de este recurso no fue la excepción, puesto que, en ese periodo, fue el principal recurso forestal empleado como elemento constructivo de los diferentes barcos que navegaban en los mares buscando nuevas tierras y/o expandiendo redes de comercio entre países y continentes (Crespo-Solana, 2016; De Aranda y Antón, 2003).

Cuando una embarcación estaba lista para navegar, quedaba expuesta a fenómenos climáticos o antropogénicos que ocasionaban su hundimiento (naufragio). Es así, que, a partir de los hallazgos de restos de embarcaciones en el lecho marino, en conjunto con la documentación histórica sobre los eventos de naufragios en siglos pasados, surge uno de los contextos de investigación de la arqueología subacuática: los pecios (Carrillo & Noguera, 2012), que corresponden con aquellos sitios con restos de embarcaciones hundidas o la carga que llevaban consigo.

En estos sitios, la capa de sedimento que cubre los materiales crea un ambiente anaerobio que ayuda a preservar, por periodo de tiempos largos, los vestigios que forman parte de estos contextos. La madera, al encontrarse en un ambiente con menor disponibilidad de oxígeno disuelto y menor actividad de micro y macroorganismos, puede lograr un estado de conservación estable (Capretti et al., 2008). No obstante, con el paso del tiempo, las condiciones ambientales propias del sitio, como la temperatura, pH, salinidad, corrientes, oxígeno disuelto, presencia de algunos microorganismos (bacterias u hongos), paulatinamente, generan un deterioro en la composición de las células de la madera, el cual se ve reflejado en el cambio de las propiedades físicas y anatómicas del material (Jensen & Gregory, 2006).

Actualmente, para conocer el daño que presentan estos materiales, se recurre, principalmente, a la caracterización de parámetros físicos, químicos y anatómicos, en combinación de análisis ultraestructurales utilizando microscopia electrónica de transmisión, que permitan realizar una evaluación integral del estado de conservación en el que se encuentran, con la finalidad de generar nuevos planes de conservación y monitoreo de los mismos (Capretti et al., 2008).

Los parámetros físicos que frecuentemente se evalúan para conocer el deterioro que presenta la madera corresponde con la densidad, el contenido de humedad y la contracción celular (Jensen & Gregory, 2006). La densidad, en maderas sumergidas, funciona como un indicador de la tendencia que puede sufrir un artefacto al colapso, así como un parámetro para estimar la compresión que puede recibir el artefacto de acuerdo con el peso de la capa de sedimento que lo recubre o puede utilizarse como un punto de referencia para comenzar con mediciones periódicas que permitan evaluar el deterioro continuo que presente la madera (Jensen & Gregory, 2006). Por otro lado, el contenido de humedad (CH) permite clasificar, según el porcentaje de humedad, el estado de degradación del material, de tal forma que, maderas que presenten un porcentaje de CH menor a 185% pertenece a la clase III (Madera no

degradada); madera con un porcentaje de humedad entre 185 – 400% forma parte de la clase II (Madera moderadamente degradada), y madera con un porcentaje de agua mayor a 400% corresponde con la clase I (Madera altamente degradada (Christensen, 1970; De Jong, 1977). Mientras que medir la contracción de maderas sumergidas nos muestra el comportamiento en los cambios dimensionales que puede tener el material frente a los cambios de humedad, en especial frente al secado (Igartúa, Monteoliva, & Piter, 2009).

Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar, por medio de las dos propiedades físicas de la madera (densidad y contenido de humedad) el deterioro que presentan las maderas del actual pecio conocido como El Ángel. La investigación también incluye algunos análisis histológicos que demuestran el daño celular presente en las maderas de este barco.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO HISTÓRICO. PECIO EL ÁNGEL

El pecio El Ángel se ubica al sur de la reserva de la biosfera Banco Chinchorro en Quintana Roo, México (figura 1). Fue descubierto por el Sr. Manuel Polanco (pescador retirado de Xcalak y Banco Chinchorro) y registrado por primera vez en el año 2004 por el Arq. Octavio del Río, colaborador de la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia (SAS-INAH) y por personal de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas) (Carrillo, 2014: 44).

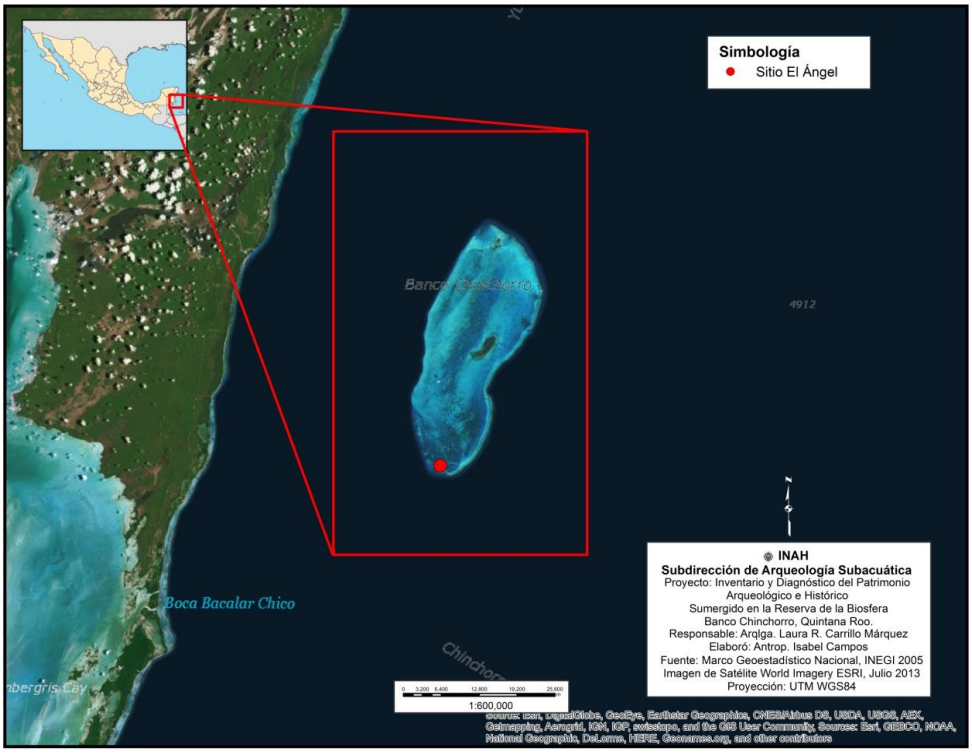

Figura 6. Ubicación geográfica del pecio El Ángel. Mapa elaborado por M. I. Campos. INAH/SAS. Fuente. Marco Geoestadístico Nacional, INEGI 2005, Imagen satelital World Imagery ESRI, 2013.

El barco se halla a doce metros de profundidad promedio en aguas con una turbidez mínima propias de las aguas del Mar Caribe, lo que permite distinguir los restos desde la superficie. Mide nueve metros de manga y 35, 5 m de eslora (Figura 2). Entre los materiales arqueológicos que se observan sobre el lecho marino se observan varios artefactos metálicos y láminas de aleación de cobre que cubren la obra viva del barco. Hacia la proa se observa un ancla de tipo Almirantazgo; en la región central se hallan algunos cadenotes y dos contenedores de hierro, y hacia popa se observan dos montículos de piedra de lastre (Carrillo, 2014). Sin embargo, después de los trabajos de excavación y registro en el sitio, debajo del sedimento se observan diferentes troncos de madera correspondiente al cargamento que transportaba el barco, así como tablones de madera que forman la estructura arquitectónica del navío.

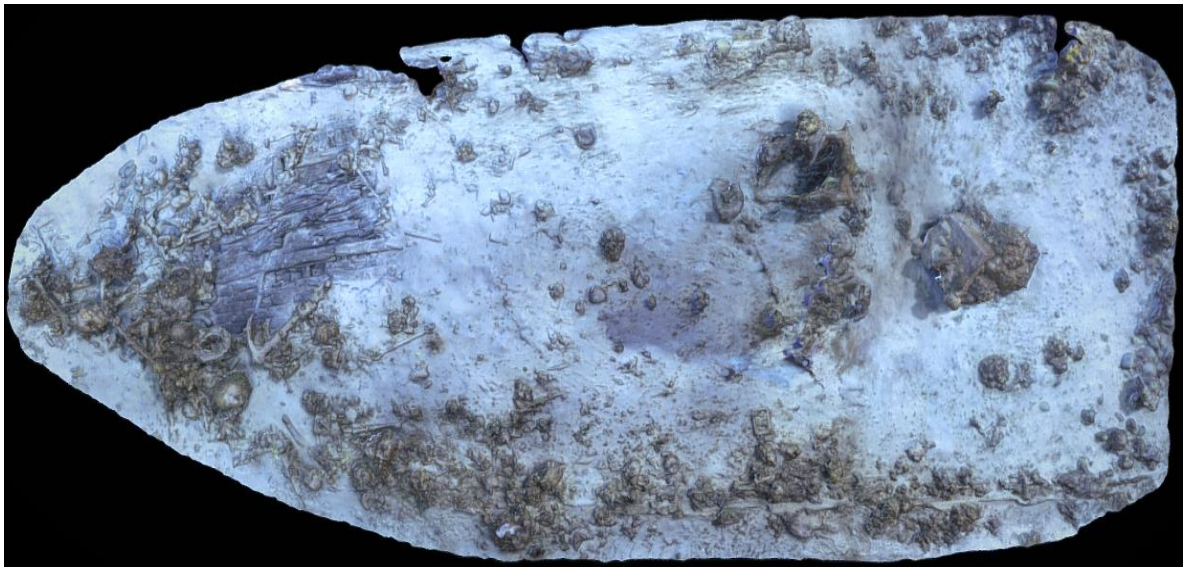

Figura 7. Modelo 3D del área excavada. Elaborado por A. Soto y M. Segura. Archivo: INAH/SAS

https://sketchfab.com/models/5b46a3359bbd44c4828a408beead9511

. El Ángel era un barco de mediano porte propulsado a vela, con un sistema constructivo mixto de estructura y forro de madera, pero revestimiento de planchas de aleación de cobre sobre la obra viva y algunos refuerzos de hierro. Los estudios de identificación taxonómica de madera indican que para la construcción de este barco se usaron diferentes tipos de madera, identificando principalmente madera de Fagus sp. para la construcción del forro del casco, Pinus sp. en diferentes tablones de cubierta, Larix sp. en cuadernas y algunas tablas de cubierta, Picea sp. también en tablones de cubierta, el género Quercus sp. en un tablón de cubierta, así como en cabillas y Ulmus sp. en un par de tablas de las cuales aún no se tiene su asociación estructural en el barco. Mientras que los troncos del cargamento de la embarcación corresponden con maderas del género Haematoxylum con gran afinidad a la especie H. campechianum (Girón Pillado & Lopez Garrido, 2018). Si bien el área excava representa solo una pequeña parte del pecio, es posible, con la información arqueológica, histórica y biológica, aseverar que los restos de este contexto corresponden con una embarcación mercante de finales del siglo XVIII principios del XIX, que participó en el negocio de la explotación y transporte de

madera de H. campechiaum (palo de campeche o palo tinto) con alguna colonia del Reino Unido durante el siglo XIX, época del gran auge comercial de este tipo de productos tintóreos en naciones europeas (Villegas & Torras, 2014)

4.4. METODOLOGÍA

4.4.1. Obtención de muestras de madera del pecio "El Ángel"

Durante los trabajos de investigación realizados en campo entre los años 2015 y 2016 del proyecto *Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo* que lleva acabo la SAS, se colectaron diferentes muestras de madera del pecio *El Ángel* (cuadro 3). Algunas de ellas se obtuvieron de piezas de madera que correspondían con el cargamento que transportaba la embarcación, mientras que el resto se colectó de maderas que forman parte de la estructura del barco.

Cuadro 3. Lista de maderas examinadas

Muestra	Identificación taxonómica	Nombre común	Asociación estructural
M29-2016	*Quercus* sp.	Encino	Cabilla
M42-2016	*Quercus* sp.	Encino	Cabilla
M44-2016	*Quercus* sp.	Encino	Cabilla
M50-2016	*Quercus* sp.	Encino	Cabilla
M24-2015	*Haematoxylum campechianum*.	Palo de tinte	Cargamento
M28-2015	*Haematoxylum* . *campechianum*	Palo de tinte	Cargamento
M30-2015	*Haematoxylum campechianum*.	Palo de tinte	Cargamento
M32-2015	*Haematoxylum* . *campechianum*	Palo de tinte	Cargamento
M36-2015	*Haematoxylum campechianum*.	Palo de tinte	Cargamento
M13-2015	*Fagus* sp.	Haya	Forro del casco
M16-2015	*Fagus* sp.	Haya	Forro del casco
M10-2016	*Fagus* sp.	Haya	Forro del casco
M31-2016	*Fagus* sp.	Haya	Tablón de

			cubierta
M34-2016	*Fagus* sp.	Haya	Tablón de cubierta
M47-2016	*Fagus* sp.	Haya	Tablón de cubierta
M17-2015	*Pinus* sp.	Pino	Cuaderna
M20-2015	*Pinus* sp.	Pino	Forro del casco
M22-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M23-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M34-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M35-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M37-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M38-2015	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M3-2016	*Pinus* sp.	Pino	Forro del casco
M5-2016	*Pinus* sp.	Pino	Forro del casco
M7-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M8-2016	*Pinus* sp.	Pino	Forro del casco
M20-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M21-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M22-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M35-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M48-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M49-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M51-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta
M52-2016	*Pinus* sp.	Pino	Tablón de cubierta

Con un berbiquí de carpintero y una broca sacabocados de cinco centímetros (~2”) de diámetro se obtuvieron muestra de la madera de distintas secciones de la estructura de la embarcación. Las muestras se colocaron en

frascos de plástico transparente llenos con agua de mar con los datos de colecta. Para desalinizarlas se usó el método gradual de sustitución de agua de mar por destilada en los siguientes porcentajes: 75%$_{mar}$-25%$_{dH2O,}$ 50%$_{mar-}$ 50% $_{dH2O}$, 25%$_{mar}$- 75% $_{dH2O}$ y 100% $_{dH2O;}$ y finalmente se colocaron en una solución de formaldehido, alcohol y agua destilada para fijar el material y conservarlo.

4.4.2. Determinación de parámetros físicos en madera arqueológica sumergida

De cada muestra colectada se tomó un pequeño fragmento de madera, siguiendo los tres planos anatómicos de la madera y tratando de obtener el mayor material posible de cada muestra. En general, se trató de obtener 1 cm^3 de madera. El peso y el volumen se calculó a través del método de desplazamiento de agua siguiendo el procedimiento descrito por Jensen and Gregory (2006).

La evaluación del máximo contenido de humedad y la densidad básica se llevó a cabo siguiendo las ecuaciones establecidas por Babiński et. al. (2014), las cuales siguen la siguiente formula:

$$\boldsymbol{MCH = 100 * (mw - md) / md}$$

Donde:

MCH = Máximo Contenido de Humedad (%)

mw = masa de la muestra sumergida (g)

md = masa de la muestra seca (g)

$$\boldsymbol{DB = md / vw}$$

Donde:

DB = Densidad básica (g/cm3)

md = masa de la muestra seca (g)

vw = volumen de la muestra sumergida (cm3)

Es importante mencionar que, para el presente trabajo, no se consideró el uso de normas ISO durante la evaluación de las propiedades físicas de la madera

arqueológica, puesto que las muestras tomadas de los vestigios presentan un tamaño mucho más pequeño que el tamaño de las muestras que comúnmente se establecen en dichas normas. Asimismo, el deterioro se evaluó comparando los valores de madera arqueológica con valores de madera fresca de las especies con las que las muestras presentan una mayor afinidad taxonómica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de referencia en madera fresca utilizados para comparar el deterioro de madera arqueológica

Especie	DB (g/cm3)	MCH (%)
Quercus robur	0.496	109.114
Haematoxylum campechianum	0.727	67.577
Fagus sylvatica	0.474	131.313
Pinus sylvestris	0.525	118.465

El análisis estadístico se realizo por medio de comparaciones múltiples empleando la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (H).

4.4.3. Análisis micromorfológico de madera arqueológica

El análisis micromorfológico estuvo constituido por un análisis ultraestructural tomando una muestra representativa de cada uno de los géneros identificados en el barco, así como por un par de tinciones histoquímicas que nos permitieran observar la presencia o ausencia de los principales componentes químicos presentes en estas maderas (lignina, celulosa y hemicelulosa).

El análisis ultraestructural se realizó en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y forestal (LANISAF) de la Universidad Autónoma Chapingo, siguiendo los procedimientos estándar para el procesamiento de muestras para análisis ultraestructural. Para ello se utilizó un Microscopio Electrónico de Transmisión FEI TECNAI G2 SPIRIT. Mientras que las pruebas histoquímicas se hicieron en el laboratorio de Laboratorio de Anatomía funcional y Biomecánica de Plantas vasculares de la Universidad Autónoma

Metropolitana-Iztapalapa. Para teñir diferencialmente celulosa (azul), hemicelulosa (morado, azul lila, rosa-violeta) y lignina (azul turquesa) se usó azul de toluidina-O y para diferenciar específicamente la lignina se usó fluroglucinol (rojo a violeta) (Rivera Nava, Quintanar Isaias, & De la Paz Pérez, 1999).

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 5 muestra los resultados obtenidos de la densidad básica y el máximo contenido de humedad, así como la clasificación del grado de deterioro.

Cuadro 5. Propiedades físicas de madera arqueológica, madera fresca y clasificación del deterioro según su contenido de humedad

Muestra	DBa (g/cm3)	DBf (g/cm3)	MCH (%)	Nivel de degradación por CH
M29-2016	0.101	0.496	666	Clase I
M42-2016	0.103	0.496	616	Clase I
M44-2016	0.139	0.496	651	Clase I
M50-2016	0.123	0.496	715	Clase I
M24-2015	0.278	0.727	227	Clase II
M28-2015	0.160	0.727	572	Clase I
M30-2015	0.135	0.727	430	Clase I
M32-2015	0.376	0.727	156	Clase III
M36-2015	0.331	0.727	162	Clase III
M13-2015	0.120	0.474	558	Clase I
M16-2015	0.155	0.474	568	Clase I
M10-2016	0.149	0.474	571	Clase I
M31-2016	0.114	0.474	754	Clase I
M34-2016	0.111	0.474	791	Clase I
M47-2016	0.130	0.474	556	Clase I
M17-2015	0.169	0.525	483	Clase I
M20-2015	0.146	0.525	560	Clase I
M22-2015	0.156	0.525	404	Clase I
M23-2015	0.335	0.525	195	Clase II
M34-2015	0.222	0.525	328	Clase II
M35-2015	0.135	0.525	556	Clase I
M37-2015	0.178	0.525	412	Clase I
M38-2015	0.290	0.525	230	Clase II
M3-2016	0.165	0.525	453	Clase I

M5-2016	0.145	0.525	453	Clase I
M7-2016	0.162	0.525	504	Clase I
M8-2016	0.208	0.525	302	Clase II
M20-2016	0.258	0.525	319	Clase II
M21-2016	0.224	0.525	328	Clase II
M22-2016	0.146	0.525	549	Clase I
M35-2016	0.176	0.525	475	Clase I
M48-2016	0.408	0.525	140	Clase III
M49-2016	0.180	0.525	335	Clase II
M51-2016	0.285	0.525	250	Clase II
M52-2016	0.109	0.525	675	Clase I

Abreviaciones: DBa - densidad básica de madera arqueológica, DBf - densidad básica de madera fresca, MCH - máximo contenido de humedad, Clase I -Madera altamente degradada, Clase II - Madera moderadamente degradada y Clase III - Madera no degradada.

De acuerdo con los resultados del porcentaje del Máximo Contenido de Humedad (MCH), se distinguen las tres clases de degradación de madera de acuerdo con los valores limite de 185% y 400% del MCH (Christense, 1970; De Jong, 1977). Siguiendo estos parámetros de clasificación, se puede observar que el rango del porcentaje del MCH en maderas de encino (entre 616% y 715%) y maderas de haya (entre 571% y 791%) permite clasificar estas muestras dentro de las maderas que presentan un alto grado de degradación. En el caso del palo de tinte, se observan las tres clases de degradación de madera, clase III (maderas no degradadas) con porcentajes de MCH menores de 185%; clase II (maderas moderadamente degradadas) presentando valores entre 185% y 400% y clase I (madera altamente degradada) con porcentajes del MCH de 430% y 572%. En el pino, al igual que en el palo de tinte, también se presentan las tres clases de degradación de madera (Clase I, II y III), en estas muestras se puede notar que 11 de las 20 maderas de este género presentan un alto grado de degradación, ocho de ellas están moderadamente degradas y solo una muestra (M48-2016) presento un valor del MCH por debajo del 185%, clasificándola dentro de la maderas de la clase I, es decir, maderas no degradadas. Analizando el número total de muestras, se puede observar que 23 de las 35 muestras analizadas presentan un alto grado de deterioro,

mientras que solo tres muestras se pueden considerar como maderas no degradadas (M32-2015, M36-2015 y M48-2016). Es importante resaltar que los valores del MCH más altos (715%, 754% y 791%) se presentaron en las maderas de *Quercus* sp. y *Fagus* sp., ambos géneros pertenecientes a la familia Fagaceae (De la Paz Pérez, Vélez, & Ceja, 2006).

De acuerdo con los resultados de comparaciones múltiples del MCH entre asociación estructural, género, madera fresca (azul) y madera arqueológica (color rojo) se puede observar que existen diferencias significativas ($H=36.96$ $p<0.01$) entre los grupos (Figura 8). En el cuadro 6 se muestran aquellos grupos que presentan una diferencia significativa entre sí. De esta forma se puede observar que el porcentaje del MCH de las maderas de *Quercus* sp. utilizadas para la construcción de cabillas mostro una diferencia significativa respecto al porcentaje del MCH de las maderas frescas de *Q. robur*., *H. campechianum* y *P. sylvestris*. Por otra parte, las maderas de *Fagus* sp. utilizadas para la construcción del forro del casco solo mostro diferencias significas del porcentaje del MCH con las maderas frescas de *Q. robur* y *H. campechianum.* Las maderas de pino usadas para las cuadernas, tablones de cubierta y el forro del casco no presentaron ninguna diferencia significativa del contenido de humedad respecto a las cuatro especies de madera fresca utilizadas. Caso similar para las maderas de *Haematoxylum* sp. del cargamento y las maderas de *Fagus* sp. que forman parte de los tablones de cubierta.

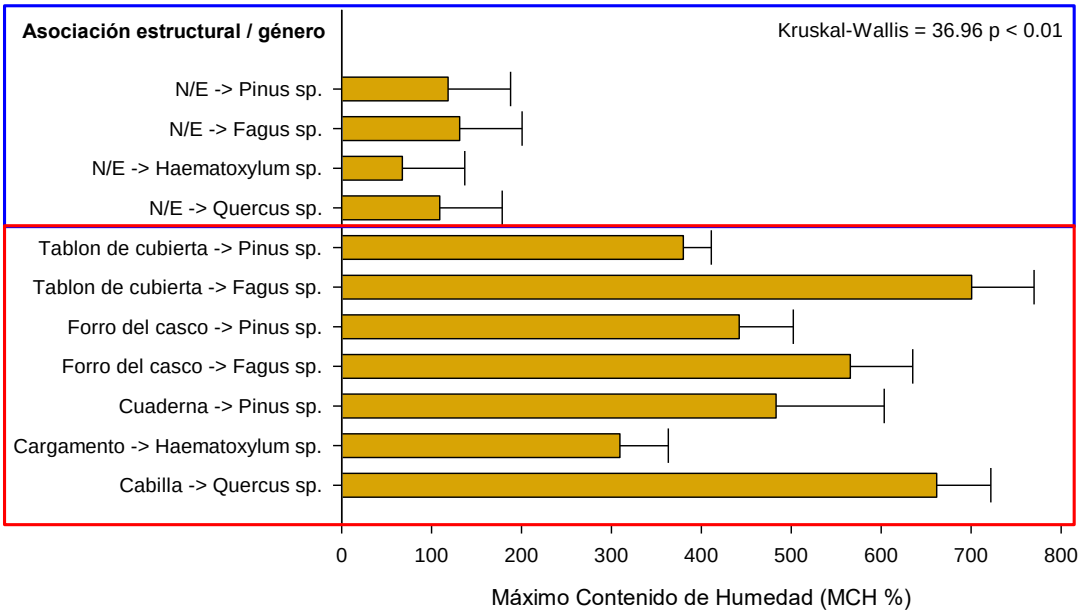

Figura 8**.** Comparaciones múltiples del máximo contenido de humedad (MCH %) de sus asociaciones estructurales, considerando al género y si se trata de una madera fresca (color azul) o una estructura del barco (color rojo). Lo anterior a partir, de la media ± error estándar (μ ± E.E.) empleando la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (H), donde se observa que hay diferencias significativas (H=36.96 p<0.01).

Cuadro 6. Comparación de pares de acuerdo al máximo contenido de humedad

Máximo Contenido de Humedad (MCH %)		Cabilla Quercus sp.	Cargamento Haematoxylum sp.	Cuaderna Pinus sp.	Forro del casco Fagus sp.	Forro del casco Pinus sp.	Tablon de cubierta Fagus sp.	Tablon de cubierta Pinus sp.	N/E Quercus sp.	N/E Haematoxylum sp.	N/E Fagus sp.	N/E Pinus sp.
		R:42.750	R:22.600	R:37.667	R:42.667	R:31.000	R:28.500	R:25.267	R:5.333	R:2.000	R:11.00	R:8.000
Cabilla	Quercus sp.		2.19	0.49	0.01	0.77	1.47	2.27	3.57	3.89	3.03	3.32
Cargamento	Haematoxylum sp.			1.50	2.00	0.56	0.64	0.38	1.72	2.06	1.16	1.46
Cuaderna	Pinus sp.				0.45	0.42	0.88	1.43	2.89	3.19	2.38	2.65
Forro del casco	Fagus sp.					0.74	1.35	2.01	3.33	3.63	2.83	3.10
Forro del casco	Pinus sp.						0.16	0.40	1.62	1.83	1.26	1.45
Tablon de cubierta	Fagus sp.							0.42	2.21	2.53	1.67	1.96
Tablon de cubierta	Pinus sp.								2.30	2.68	1.65	1.99
N/E	Quercus sp.									0.30	0.51	0.24
N/E	Haematoxylum sp.										0.80	0.54
N/E	Fagus sp.											0.27
N/E	Pinus sp.											

Cuadro 7. Comparación de pares de acuerdo a la densidad básica

Densidad Basica (Gravedad especifica g/g)		Cabilla Quercus sp.	Cargamento Haematoxylum sp.	Cuaderna Pinus sp.	Forro del casco Fagus sp.	Forro del casco Pinus sp.	Tablon de cubierta Fagus sp.	Tablon de cubierta Pinus sp.	N/E Quercus sp.	N/E Haematoxylum sp.	N/E Fagus sp.	N/E Pinus sp.
		R:5.2500	**R:24.600**	**R:12.333**	**R:5.6667**	**R:21.000**	**R:17.750**	**R:22.667**	**R:40.000**	**R:46.000**	**R:37.333**	**R:42.667**
Cabilla	Quercus sp.		2.10	0.68	0.04	1.03	1.29	2.26	3.32	3.89	3.06	3.57
Cargamento	Haematoxylum sp.			1.23	1.89	0.24	0.74	0.27	1.54	2.14	1.27	1.80
Cuadema	Pinus sp.				0.60	0.55	0.52	1.19	2.47	3.01	2.23	2.71
Forro del casco	Fagus sp.					0.97	1.15	1.96	3.07	3.60	2.83	3.30
Forro del casco	Pinus sp.						0.21	0.12	1.20	1.58	1.03	1.37
Tablon de cubierta	Fagus sp.							0.64	2.12	2.70	1.87	2.38
Tablon de cubierta	Pinus sp.								2.00	2.69	1.69	2.31
N/E	Quercus sp.									0.54	0.24	0.24
N/E	Haematoxylum sp.										0.77	0.30
N/E	Fagus sp.											0.48
N/E	Pinus sp.											

Comparando la densidad básica de las maderas arqueológicas (DBa) con la densidad básica de la madera fresca (DBf), se nota que la DB es menor en todas las maderas arqueológicas a diferencia del valor de la DB de la madera fresca de acuerdo con cada uno de los valores de las especies con las que se compara. No obstante, en el caso de la muestra M48-2016 (Clase III) se puede observar que su DB no presentó un valor tan bajo respecto al valor promedio de la DB de la madera fresca con las que se esta comparando. De manera general, se puede observar que todas las maderas pertenecientes a la Clase I, es decir aquellas maderas con porcentajes de contenido de humedad > 400%, presentan valores de DB muy bajos.

Las comparaciones múltiples de la DB entre asociación estructural, género, madera fresca (azul) y madera arqueológica (color rojo) se puede observar que existen diferencias significativas (H=36.26 p<0.01) entre los grupos (Figura 9).

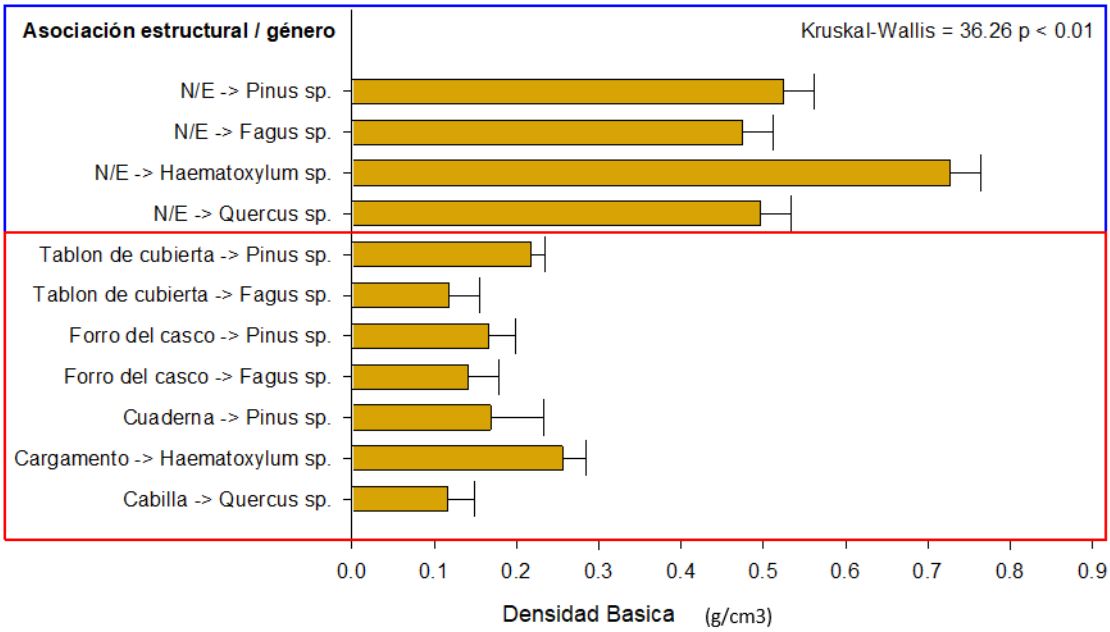

Figura 9**.** Comparaciones múltiples de la densidad básica de sus asociaciones estructurales, considerando al género y si se trata de una madera fresca (color azul) o una estructura del barco (color rojo). Lo anterior a partir, de la media ± error estándar (μ ± E.E.) empleando la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (H), donde se observa que hay diferencias significativas (H=36.26 p<0.01).

En el cuadro 7 se muestran aquellos grupos que presentan una diferencia significativa entre sí. De tal forma que se puede observar que la densidad básica de las muestras de madera de *Quercus* sp. con las que se construyeron las cabillas mostro una diferencia significativa respecto a la DB de las maderas frescas de *Q. robur*., *H. campechianum* y *P. sylvestris.* Por otra parte, las maderas de Fagus sp. que corresponden con el forro del casco solo mostro una diferencia significativa con las maderas frescas de *H. campechianum*. Al igual que ocurrió con los resultados del porcentaje del MCH, las demás maderas utilizadas para la construcción del pecio no presentan ninguna diferencia con la DB en maderas frescas.

Mezclando todas las especies, en la figura 10, se muestra la correlación que existe entre el MCH y la DB de las maderas arqueológicas.

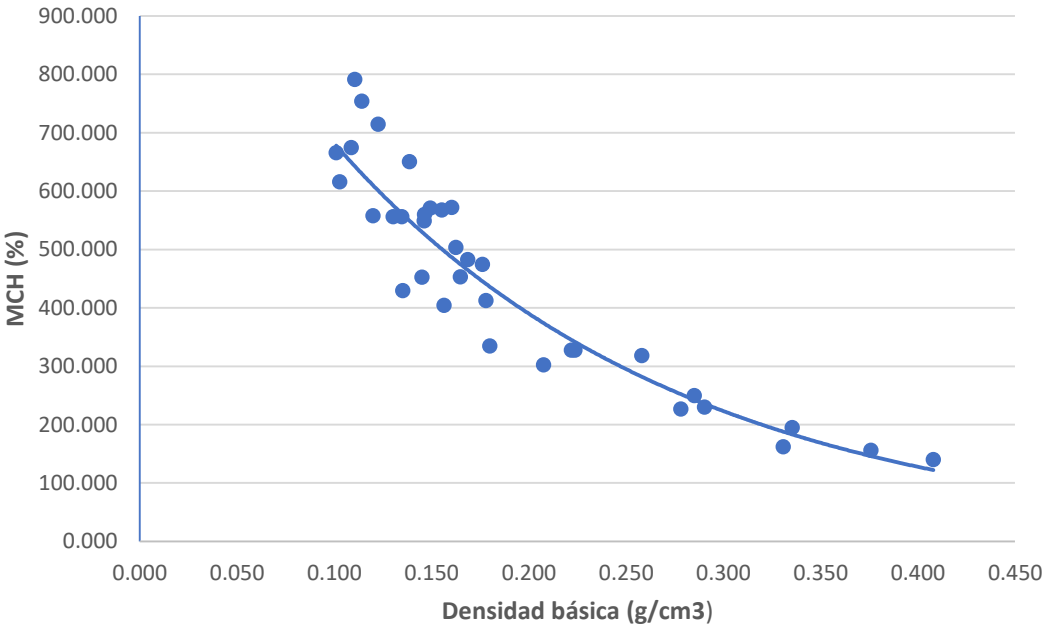

Figura 10. Relación del MCH y BD en madera arqueológica (R= -0.9026).

La evaluación de la fuerza de la correlación se basó en el valor del coeficiente de correlación (R). De esta forma se puede observar que existe una fuerte correlación entre las variables MCH y DB (R= -0.9026), indicando que valores altos en el contenido de humedad van a ocasionar valores bajos en la densidad

básica (Macchioni, 2003). La disminución de la densidad básica en este tipo de materiales se debe al ataque de agentes biológicos, como las bacterias o los hongos, que degradan los componentes químicos que constituyen la madera (celulosa, lignina y hemicelulosa) descomponiendo la pared celular, dando lugar a nuevos espacios intracelulares que, con el paso del tiempo, se llenaran de agua (Eriksen, Gregory, & Shashoua, 2015). Lo anterior se puede observar a nivel ultraestructural.

La figura 11 muestra el deterioro ultraestructural presente en las células de cada uno de los géneros utilizados en la construcción del pecio El Ángel.

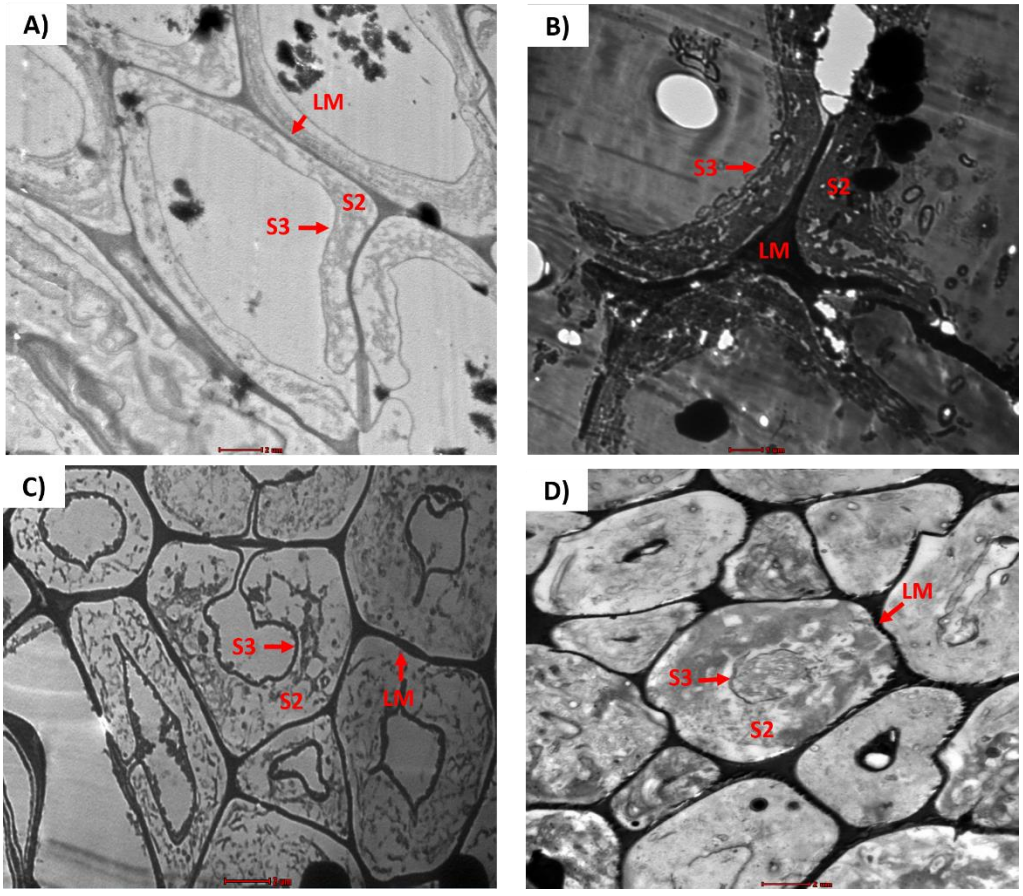

Figura 11. Imágenes de TEM donde se observa el deterioro ultraestructuras de los cuatro géneros utilizados en la construcción del pecio El Ángel. A. ***Quercus*** **sp**, B. ***Pinus*** **sp, C. *Fagus* sp y D. *Haematoxylum* sp.** Donde: LM = Lamina media, S2 y S3: capas de la pared secundaria.

Al realizar una evaluación más profunda del deterioro presente en las maderas del pecio El Ángel, se puede notar que una de las capas (S1) que conforman la pared secundaria ya no se logra diferenciar. Por otra parte, se puede observar que el ataque de microorganismos ha ocasionado la degradación de la celulosa que conforma la pared secundaria, dejando gran cantidad de espacios huecos en la capa S2, lo que provoca una notable deformación, como en el caso del *Quercus* sp. o *Fagus* sp., de la capa S3, o en casos como en el *Pinus* sp., la ruptura de esta capa. Para el género *Haematoxylum* sp., también se nota un deterioro de la capa S2, sin embargo, se puede observar que el deterioro es menor en comparación con las maderas de *Quercus* sp. o *Fagus* sp.

La pérdida de la celulosa en la pared secundaria ocasiona un cambio en las propiedades físicas de las maderas, tal cual se puede ver en la disminución de la DB en las maderas arqueológicas y, por ende, el incremento del contenido de humedad (Babiński, Izdebska-Mucha, & Waliszewska, 2014; Macchioni, 2003).

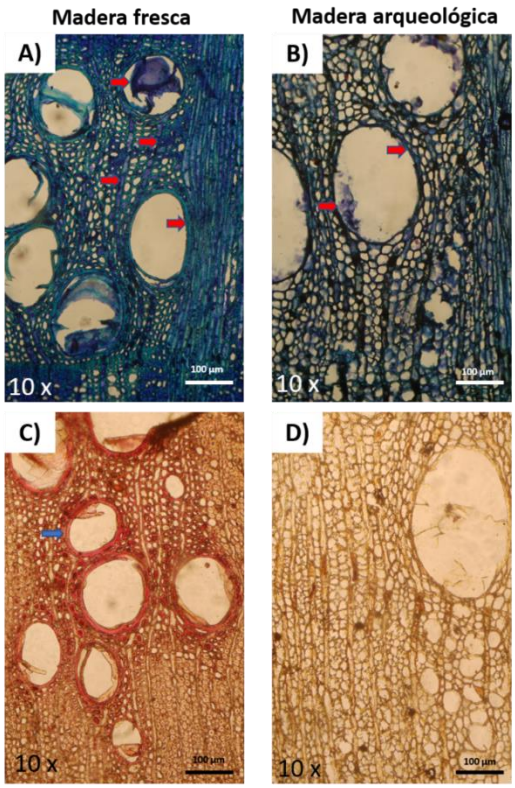

Figura 12. Tinciones histoquímicas en *Quercus* sp. A, B- tinciones con azul de toluidina; C, D -tinciones con fluroglucinol. Notese que las tinciones en la madera arqueológica ya no presentan la misma coloración debido a la perdida de los contenidos celulares.

Como se puede notar en la figura 12, que el deterioro de la madera arqueológica es sumamente visible. La tinción diferencial de celulosa y hemicelulosa en madera fresca (azul, morado, azul lila) se observa claramente en las células del parénquima de radio, las fibras y las tilides (todas ellas constituidas por pared primaria), mientras que el color azul turquesa indica la presencia de lignina que forma parte de las paredes secundarias. Caso contrario con los tejidos arqueológicos, puesto que, la perdida de los contenidos celulares se refleja en los tonos de la coloración de la tinción, los cuales son más tenues en comparación con la madera fresca. No obstante, en algunas células de la madera arqueológica se puede apreciar claramente la presencia de celulosa (azul), hemicelulosa (morado, azul lila), así como los restos de lignina (azul turquesa) presentes en las paredes secundarias de las células. Por otra parte, la tinción con fluroglucinol en tejido fresco muestra claramente la

presencia de lignina en las paredes de los elementos de vaso y en las traqueidas vasicentricas, mientras que en las maderas deterioradas no se presentó ninguna reacción de coloración por medio de esta tinción.

4.6. CONCLUSIONES

Los valores de las propiedades físicas en los vestigios de madera del pecio El Ángel, dan la posibilidad de medir su deterioro. La densidad básica y el máximo contenido de humedad se puede considerar como parámetros para medir el deterioro en madera arqueológica. El análisis ultraestructural e histoquímico demostró que el deterioro ocurre principalmente en los elementos celulares que constituyen la pared secundaria de la madera (celulosa) y en menor grado en la lámina media que está compuesta de lignina. La descomposición de la pared secundaria provocó cambios en las propiedades físicas de la madera (aumento del contenido de humedad y disminución de la densidad básica).

De acuerdo con las clasificaciones del grado de degradación en las maderas arqueológicas (clase I, II y III), todas las muestras de cabilla fabricas con madera de encino presentan un alto nivel de degradación, al igual que todas las maderas de *Fagus* sp presente en piezas del forro de casco, así como en tablones de cubierta. En las maderas del cargamento identificadas como Haematoxylum sp. se presentaron los tres niveles de degradación, donde dos maderas presentan un alto grado de degradación, una muestra esta moderadamente degradada y dos maderas no están degradadas. En *Pinus* sp*.,* también se encuentran las tres clases de degradación de madera. La clase I se observa en dos muestras que corresponden con madera del forro del casco y ocho en maderas de tablones de cubierta. La clase II la presenta una muestra del forro del casco y siete en tablones de cubierta. Por último, una madera de un tablón de cubierta forma parte de la clase III.

4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Babiński, L., Izdebska-Mucha, D., & Waliszewska, B. (2014). Evaluation of the

state of preservation of waterlogged archaeological wood based on its physical properties: Basic density vs. wood substance density. *Journal of Archaeological Science*, *46*(1), 372–383. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.038

Capretti, C., Macchioni, N., Pizzo, B., Galotta, G., Giachi, G., & Giampaola, D. (2008). The characterization of waterlogged archaeological wood: The three roman ships found in Naples (Italy). *Archaeometry*, *50*(5), 855–876. https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2007.00376.x

Carabias, J., Provencio, E., de la Maza, J., Gutiérrez, D., Gómez, M., & Camarena, T. (2000). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro México*. (J. Carabias Lilo, E. Provencio, J. de la Maza Elvira, D. Gutiérrez Carbonell, M. Gómez Cruz, & T. Camarena Luhrs, Eds.) (1a ed.). México: Instituto Nacional de Ecología.

Carrillo, L. (2018). ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA EN MÉXICO. *Revista de Arqueología Hitoríca Argentina y Latinoamericana*, *12*(1), 37–68.

Carrillo, L., & Noguera, N. (2012). El manejo de recursos culturales sumergidos en México. Naufragios en la sonde de Campeche, Golfo de México. In V. Moya (Ed.), *Pensar arqueología marítima: refrlexiones teórico-Metodológicas en el estudio de accidentes navales en México* (1 a, pp. 191–245). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Crespo-Solana, A. (2016). ForSEADiscovery: Génesis y marco historico-metodológico de un proyecto interdisciplinar en humanidades. *A Gestão Dos Recursos Florestais Portugueses Na Construção Naval Da Idade Moderna: História e Arqueologia*.

De Aranda y Antón, G. (1999). La Carpintería y la Industria Naval en el Siglo XVIII. *Cuadernos Monográficos Del Instituto de Historia Naval*, *33*, 1–124.

De Aranda y Antón, G. (2003). Relaciones Documentales de los Bosques y Los Montes Marítimos Peninsulares en los Archivos Historícos Españoles Drante el Siglo XVIII y Comienzo del XIX. *Ecología*, *17*, 359–379.

De la Paz Pérez, C., Vélez, S., & Ceja, J. (2006). Anatomía de la madera de ocho especies de Quercus (FAGACEAE) de Oaxaca , México. *Ma*, *12*(1).
Eriksen, A. M., Gregory, D., & Shashoua, Y. (2015). Selective attack of waterlogged archaeological wood by the shipworm, Teredo navalis and its implications for in-situ preservation. *Journal of Archaeological Science*, *55*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.12.011

Girón Pillado, C., & Lopez Garrido, P. (2018). *Estudio arqueobotánico de muestras de madera procedente del sitio sumergido El Ángel en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo*. Informe presentado a la Subdireccion de Arqueología Subacuática, INAH. Ciudad de México, México.

Igartúa, D. V., Monteoliva, S., & Piter, J. C. (2009). Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de Acacia melanoxylon en Argentina. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, *11*(1), 3–18. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2009000100001

Jensen, P., & Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood : A practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science*, *33*, 551–559. https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.007

Lobo, M., Santana, G., & Rodríguez, Á. L. (2007). *Los Usos de la Madera: Recursos Frestales en Gran Canaria Durante el Siglo XVI* (CABILDO DE).
Macchioni, N. (2003). Physical characteristics of the wood from the excavations of the ancient port of Pisa. *Journal of Cultural Heritage*, *4*, 85–89. https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00019-0

Moya, V. (2012). Pensar arqueología marítima: refrlexiones teórico-Metodológicas en el estudio de accidentes navales en México. In V. Moya Sordo (Ed.), *Arqueología marítima en México. Estudios interdisciplinarios en torno al patrimonio cultural sumergido* (1 ai, pp. 1–299). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Rivera Nava, L., Quintanar Isaias, A., & De la Paz Pérez, C. (1999). Comparación histoquímica de albura y duramen de tres especies de Quercus. *Madera y Bosques*, *5*(1), 27–41.

Villegas, P., & Torras, R. (2014). La extracción y exportación del palo de tinte a manos de colonos extranjeros. El caso de la B. Anizan y Cía. *Secuencia*, *90*, 79–93.

5. CONCLUSIONES GENERALES

La identificación taxonómica de los restos de la estructura de madera del pecio *El Ángel* permitió determinar el uso de al menos tres géneros en su construcción. Uno de ellos fue el roble, empleado en la elaboración de piezas que forman parte de la obra viva de la embarcación; el haya, utilizada en una cubierta del navío, y el pino, para algunos componentes como la cubierta y el forro interior del casco. De acuerdo a la zona de distribución geográfica de las especies con

las que estos tres géneros mostraron afinidad, se puede suponer que la embarcación fue construida en un astillero Europeo.

Asimismo, el hallazgo de troncos de palo de tinte sobre la cubierta aprueba que *El Ángel* era una embarcación que transportaba uno de estos cargamentos. A su vez, la información histórica del comercio de esta madera así como la ubicación geográfica donde se encuentra el naufragio, sugiere que esta embarcación posiblemente zarpó de algún puerto en las costas de Quintana Roo para transportar el cargamento hacia regiones del Caribe como Kingstown, La Habana, Santo Thomas o hacia algún país en Europa.

Por otra parte, los valores de las propiedades físicas en los vestigios de madera del pecio El Ángel, dan la posibilidad de medir su deterioro. La densidad básica y el máximo contenido de humedad se puede considerar como parámetros para medir el deterioro en madera arqueológica. El análisis ultraestructural e histoquímico demostró que el deterioro ocurre principalmente en los elementos celulares que constituyen la pared secundaria de la madera (celulosa) y en menor grado en la lámina media que está compuesta de lignina. La descomposición de la pared secundaria provocó cambios en las propiedades físicas de la madera (aumento del contenido de humedad y disminución de la densidad básica).

De acuerdo con las clasificaciones del grado de degradación en las maderas arqueológicas (clase I, II y III), todas las muestras de cabilla fabricas con madera de encino presentan un alto nivel de degradación, al igual que todas las maderas de *Fagus* sp presente en piezas del forro de casco, así como en tablones de cubierta. En las maderas del cargamento identificadas como Haematoxylum sp. se presentaron los tres niveles de degradación, donde dos maderas presentan un alto grado de degradación, una muestra esta moderadamente degradada y dos maderas no están degradadas. En *Pinus* sp.*,* también se encuentran las tres clases de degradación de madera. La clase I se observa en dos muestras que corresponden con madera del forro del casco y ocho en maderas de tablones de cubierta. La clase II la presenta una muestra

del forro del casco y siete en tablones de cubierta. Por último, una madera de un tablón de cubierta forma parte de la clase III.

6. LITERATURA CITADA

Alonso O. A., Tzompantzi R. M.T., Mendoza A. D., 2001. *Conservación de maderas arqueológicas húmedas: perspectiva actual y retos para el futuro en México*. Conserva No. 5, pp, 57-79

Alejano R. & E. Martínez Montes. 1996. "Distribución de Pinus nigra Arn. Subsp. Salzmannii en las sierras Beticas", Ecología, 10: pp. 231-241, en: http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/ publicaciones/ecologia_10_16_tcm7-46171.pdf, consultado el 13 de noviembre del 2014.

Babiński, L., Izdebska-Mucha, D., & Waliszewska, B. (2014). Evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood based on its physical properties: Basic density vs. wood substance density. *Journal of Archaeological Science*, *46*(1), 372–383. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.038

Capretti, C., Macchioni, N., Pizzo, B., Galotta, G., Giachi, G., & Giampaola, D. (2008). The characterization of waterlogged archaeological wood: The three roman ships found in Naples (Italy). *Archaeometry*, *50*(5), 855–876. https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2007.00376.x

Carabias, J., Provencio, E., de la Maza, J., Gutiérrez, D., Gómez, M., & Camarena, T. (2000). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro México*. (J. Carabias Lilo, E. Provencio, J. de la Maza Elvira, D. Gutiérrez Carbonell, M. Gómez Cruz, & T. Camarena Luhrs, Eds.) (1a ed.). México: Instituto Nacional de Ecología.

Carrillo Márquez Laura
2011 "Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe parcial de actividades 2010", México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

_____
2014 "Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe de actividades 2013", México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

_____

2015 “Inventario y diagnóstico del patrimonio arqueológico e histórico sumergido en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, informe de actividades 2014”, México, Archivo de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH, mecanoescrito.

Carrillo, L. (2018). ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA EN MÉXICO. *Revista de Arqueología Hitoríca Argentina y Latinoamericana*, *12*(1), 37–68.

Carrillo, L., & Noguera, N. (2012). El manejo de recursos culturales sumergidos en México. Naufragios en la sonde de Campeche, Golfo de México. In V. Moya (Ed.), *Pensar arqueología marítima: refrlexiones teórico-Metodológicas en el estudio de accidentes navales en México* (1 a, pp. 191–245). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Crespo-Solana, A. (2016). ForSEADiscovery: Génesis y marco historico-metodológico de un proyecto interdisciplinar en humanidades. *A Gestão Dos Recursos Florestais Portugueses Na Construção Naval Da Idade Moderna: História e Arqueologia*.

Crestini C., El Hadidi N. M.N., Palleschi G., 2009. *Characterisation od archaeological Wood: A case study on the deterioration of a coffin*. Microchemical Journal Vol. 92 pp. 150-154.

Christensen, B.B., 1970. *Conservation of waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*. National Museum of Denmark, Copenhagen.

De Jong, J., 1977. *Conservation Techniques for Old Waterlogged Wood from ship wrecks found in the Netherlands*. In Walters, A.h. (Ed.), Biodeterioration Investigation Techniques. Applied Science Publishers, London, pp. 295-338.

Contreras, S. 1987. “El palo de tinte, motivo de un conflicto entre naciones, 1670-1802”, pp. 49-50, en: http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/YX5YI6RS1TYJ66UPMP9UM7QM39IH3R.pdf, consultado el 23 de febrero del 2015.

De Aranda y Antón, G. (1999). La Carpintería y la Industria Naval en el Siglo XVIII. *Cuadernos Monográficos Del Instituto de Historia Naval*, *33*, 1–124.

De Aranda y Antón, G. (2003). Relaciones Documentales de los Bosques y Los Montes Marítimos Peninsulares en los Archivos Historícos Españoles Drante el Siglo XVIII y Comienzo del XIX. *Ecología*, *17*, 359–379.

De la Paz Pérez, C., Vélez, S., & Ceja, J. (2006). Anatomía de la madera de ocho especies de Quercus (FAGACEAE) de Oaxaca , México. *Ma*, *12*(1).

Eriksen, A. M., Gregory, D., & Shashoua, Y. (2015). Selective attack of waterlogged archaeological wood by the shipworm, Teredo navalis and its implications for in-situ preservation. *Journal of Archaeological Science*, *55*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.12.011

Ducousso A. & Bordacs S. 2008. "EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks *(Quercus robur and Q. petraea)"*, International Plant Genetic Resources Institute, Italy, en: http://www.euforgen.org/uploads/tx_news/1038_ Technical_guidelines_for_genetic_conservation_and_use_for_Pedunculate_and_sessile_oaks__Quercus_robur__and__Quercus_petraea_.pdf, consultado el 11 de febrero del 2015.

Elkin D., Argüeso A., Grosso M., Murray C., Vainstub D., Bastida R. & Dellino-Musgrave V. 2007 *Archaeological research on HMS Swift: a Britich Sloop-of-War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770,* The International Journal of Nautical Archaeology, 36 (1): 32-58.

EUFORGEN, en http://www.euforgen.org, consultado el mes de febrero del 2015.

García Esteban L., Guindeo Casasús A., Peraza Oramas C. y de Palacios de Palacios P. 2003 *La madera y su anatomía. Anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular,* Madrid, Mundi-Pensa AITIM, pp. 219-220.

Grenier Robert, Bernier Marc André & Stevens W. 2007 *The underwater Archaeology of Red Bay Basque Shipbuilding and Whaling in the 16th Century*, Vol. 5, Canada, Parks Canada.

García Lacurain, G., 1990. *Liofilización: una alternativa para la conservación de materiales arqueológicos húmedos*. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Conservación, restauración y Museografia "Manuel deL Castillo Negrete". Mexico, D.F., Mexico: INAH-SEP.

Gibbs Martin., 2006. Cultural site formation processes in maritime archaeology: disaster response, salvage and Muckelroy 30 years on. The international journal of nautical archaeology. 35.1: 4-19.

Gjelstrup Björdal Charlotte, 2012. *Evaluation of microbial degradation of shipwrecks in the Baltic Sea*. International Biodeterioration & Biodegradradation. Vol. 70 pp. 126-140.

Giachi G., Bettazzi F., Chimichi S., Staccioli G., 2003. *Chemical caracterisation of degraded Wood in ships discovered in a recent excavation of the Etruscan an Roman harbour of Pisa.* Journal of cultural heritage. Vol. 4 pp. 73-83.

Girón Pillado, C., & Lopez Garrido, P. (2018). *Estudio arqueobotánico de muestras de madera procedente del sitio sumergido El Ángel en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo*. Informe presentado a la

Subdireccion de Arqueología Subacuática, INAH. Ciudad de México, México.

Heywood V. H. 1985 *Las plantas con flores,* España, Reverte.

IAWA Committee. 1989. *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*, IAWA Bulletin 10 (3), Netherlands.

_____
2004 *IAWA list of microscopic features for softwood identification,* IAWA Journal 25 (1), Netherlands.

Igartúa, D. V., Monteoliva, S., & Piter, J. C. (2009). Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de Acacia melanoxylon en Argentina. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, *11*(1), 3–18. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2009000100001

Kandemir G. and Kaya Z. 2009. *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of oriental beech (Fagus orientalis),* Biodiversity International, Rome, Italy, en: http://www.euforgen.org, consultado el 19 de febrero del 2015.

Jensen, P., & Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood : A practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science*, *33*, 551–559. https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.007

Lobo, M., Santana, G., & Rodríguez, Á. L. (2007). *Los Usos de la Madera: Recursos Frestales en Gran Canaria Durante el Siglo XVI* (CABILDO DE).
Macchioni, N. (2003). Physical characteristics of the wood from the excavations of the ancient port of Pisa. *Journal of Cultural Heritage*, *4*, 85–89. https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00019-0

Mirov N. T. 1967 *The Genus Pinus,* United States of America, The Ronald Press Company.

Murray C., Grosso M., Elkin D., Coronato F., De Rosa H., Castro M., Bastida R y Ciarlo N.
2009 “Un sitio costero vulnerable: el naufragio de Bahía Galenses (Puerto Madryn, Chubut)”, Arqueología de la Patagonia, pp. 1093-1108, en: http://aquaticcommons.org/10192/, consultado el 18 de febrero del 2015.

Newsom L. & Miller R. 2009. “Research report and bulletin series QAR-R-09-01, Wood Species Analysis of Ship Timbers and Wooden Items Recovered from Shipwreck 31CR314, Queen Anne´s Revenge Site”, pp. 1-16, en: http://digital.ncdcr.gov/cdm/ref/collection/p249901 coll22/id/695867, consultado el 15 de noviembre del 2014.

Niembro R. A. 2010. "*Haematoxylum campechianum* L. Manual de Semillas de árboles tropicales", pp. 485-486, en: http://www.rngr.net/publications/ttsm/species/PDF.2004-03-03.3013/at_download/file, consultado el 23 de febrero del 2015.

O'Scanlan T. 1847. "Cartilla practica de construcción naval, dispuesta en forma de vocabulario", Madrid, pp. 8, 11, en: http://www.aammb.cat/DOCUMENTACION/Cartilla%20practica%20de%20construccion%20naval%201829%20O-SCANLAN.pdf, consultado el 25 de mayo del 2014.

Pla y Rave E. D. 1880. "Tratado de maderas construcción civil y naval", Impresiones de cámara de S. M. Madrid, pp. 109-110. Recuperado el 14 de mayo del 2014 en http://gilbert.aq.upm.es/sedhc/biblioteca_digital/Tratados/T-031.pdf

Ryan Terrence. 2010. "The Development of Pacific Coast Lumber Ships", Nautical Research Journal, Vol. 55, Illinois, Estados Unidos de Norteamérica, No. 3:141- 160.

Rivera Nava, L., Quintanar Isaias, A., & De la Paz Pérez, C. (1999). Comparación histoquímica de albura y duramen de tres especies de Quercus. *Madera y Bosques*, *5*(1), 27–41.

Villegas, P.& Torras, R. 2014. "La extracción y exportación de palo de tinte a manos de colonos extranjeros. El caso de la B. Anizan y Cia", Secuencia, Revista de historia y ciencias sociales, num. 90, pp. 77-93. Recuperado el 10 de febrero del 2015 en http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319132504004#.

Von Wühlisch G. 2008. "EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech *(Fagus sylvatica)",* Biodiversity International, Rome, Italy, en: http://www.euforgen.org, consultado el 19 de febrero del 2015.

Sin autor, Microscopy Wood Anatomy of Central European Species en: http://www.woodanatomy.ch/, consultado en el mes de diciembre 2014.

Sin autor, The InsideWood Database, en: http://insidewood.lib.ncsu.edu/search;jsessionid=FE76FAF74DD09E20CB199F5E40E6A3E6?0, consultada el mes de diciembre 2014.