

# Técnicas de análisis para el estudio de soportes ligneos en retablos de la Isla de Tenerife

Propuesta metodológica para su aplicación en el campo de la Conservación y Restauración.

Ovidia Soto Martín





**TESIS FINAL DE MÁSTER EN CONSERVACIÓN Y  
RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES**

**DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN  
DE BIENES CULTURALES**

AUTORA

**OVIDIA SOTO MARTÍN**

TUTORA

**MARIA LUISA MARTÍNEZ BAZÁN**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

COTUTORAS

**RAQUEL CARRERAS RIVERY**

**CÁTEDRA DE LA UNESCO DE CONSERVACIÓN DE BIENES CULTURALES**

**PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

**DÁCIL DE LA ROSA VILAR**

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA.**



**UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA**

**AÑO 2010.**

## ÍNDICE

1. RESUMEN/ABSTRACT	5
2. INTRODUCCIÓN/JUSTIFICACIÓN	5
2.1. Originalidad del tema elegido	5
3. OBJETIVOS	6
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS	7
4.1. IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES	7
4.1.1. Introducción a la identificación de maderas	7
4.1.1.1. Clasificación de especies	7
4.1.1.2. Identificación en el medio natural	7
4.1.1.3. Identificación en laboratorio	8
4.1.1.4. Tipos de análisis para la identificación de las maderas en laboratorio	8
4.1.1.5. Descripción macroscópica	9
4.1.2. Introducción a la anatomía de coníferas	10
4.1.2.1. Distribución geográfica	12
4.1.2.2. Características anatómicas de las maderas de coníferas	12
4.1.3. Introducción a la anatomía de frondosas	13
4.1.3.1. Distribución geográfica	13
4.1.3.2. Características anatómicas de las maderas de latifolias (frondosas)	14
4.1.4. Claves de identificación de maderas	15
4.2. LA COLORIMETRÍA: DEFINICIÓN, APLICACIONES Y SISTEMÁTICA DE TRABAJO EN EL CAMPO DE LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE OBRAS DE ARTE.	18
4.2.1. ¿Qué es la colorimetría?	18
4.2.2. Definiciones de color	18
4.2.3. ¿Para qué sirve la colorimetría?	18
4.2.4. Condiciones básicas para el estudio visual del color	18
4.2.5. Leyes que rigen el color	19
4.2.6. Metodología	20
4.2.7. Pasos a seguir en la medición colorimétrica	20
4.2.8. Medida del color	21
4.2.9. El léxico utilizado	23
4.2.10. Magnitudes Psicométricas	24
4.2.11. Luz incandescente, luz fluorescente	25
4.2.12. El espectrofotómetro	26
4.2.13. La colorimetría en maderas	26

5. EL CASO PRÁCTICO DEL RETABLO DE SAN ANTONIO DE PADUA DE ESTILO TARDOMANIERISTA. PRIMER BARROCO. (1ª MITAD DEL S.XVII) DE LA HACIENDA PARTICULAR EL LAMERO, ORIGINAL DEL MUNICIPIO DE GARACHICO, TENERIFE.	28
5.1. Introducción	28
5.2. Contexto histórico artístico	28
5.3. Metodología. Selección de las muestras	29
5.4. Introducción de los datos en la aplicación Google Docs para la elaboración de una base de datos georreferenciada online.	31
5.4.1. Acceso móvil	31
5.4.2. Limitaciones	31
5.4.3. Aplicación directa	31
6. RESULTADOS	33
6.1. Resultados en la identificación macroscópica de maderas	33
6.2. Resultados colorimétricos	33
7. CONCLUSIONES	34
7.1. Discusión	34
7.2. Conclusiones finales	34
7.3. Propuesta metodológica definitiva: pasos a seguir.	35
8. BIBLIOGRAFÍA	36
9. AGRADECIMIENTOS	38
10. ANEXO	39
Ficha muestra N°1	40
Ficha muestra N°2	43
Ficha muestra N°3	46
Ficha muestra N°4	49
Ficha de medición del Laboratorio de Óptica y Colorimetría del IRP	52
Tablas de Conversión Léxica	53
Media y desviación SCI	56
Media y desviación SCE	58
Diferencias entre SCI y SCE	60
Representación en el Diagrama CIEL*a*b* de las mediciones con brillo	62
Eje de claridades L* con brillo	63

## 1. RESUMEN/ABSTRACT

---

Este trabajo se presenta como una propuesta metodológica para el estudio de los soportes lógicos en retablos, aplicándola en el caso práctico del Retablo de San Antonio de Padua de la Hacienda El Lamero de Garachico, Tenerife. Dicho retablo, es actualmente objeto de estudio e intervención en el Taller de Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna.

Para ello, se realizó una revisión de los aspectos fundamentales de las disciplinas no destructivas de identificación macroscópica de maderas y colorimetría aplicada al Patrimonio. Ésta última se introduce por primera vez al análisis de este tipo de muestras estableciendo los parámetros propios de las mediciones colorimétricas como elementos de control del estado de conservación de la madera.

Paralelamente, se creó una base de datos *online* que permitirá la cuantificación, localización y distribución de las especies más utilizadas en el Patrimonio de la isla de Tenerife.

La base de datos geolocalizada contribuye a las nuevas tendencias globales del uso de las TIC de aplicación en la nueva sociedad de la información y del conocimiento, que respalda las transformaciones sociales, culturales y económicas en apoyo al desarrollo sostenible.

This paper is a methodological proposal for the study of altarpieces on wooden supports; the process implemented to study the altarpiece of the San Antonio de Padua from El Lamero Hacienda, in Garachico, Tenerife, is presented. Its conservation and restoration treatments are being carrying out in the conservation laboratory at the Faculty of Fine Arts, University of La Laguna. For this, we conducted a review of key aspects appropriate to the discipline of wood identification carried out by means macroscopic and colorimetric analysis. For the evaluation of the state of conservation of wood, the samples were subjected for the first time to colorimetric measurement. Parallel and complementary, we have created an *online* database to provide information for conservation professionals on the geographic location of the cultural property studied. This method will allow getting localization, quantification and distribution of different wood species used in Tenerife's Island cultural heritage.

The database contributes to apply global trends of ICT in the new information society and knowledge, which helps social, cultural and economic support for sustainable development.

## 2. INTRODUCCIÓN/JUSTIFICACIÓN

---

A día de hoy los estudios e intervenciones que se llevan a cabo dentro del campo de la Conservación y Restauración de Patrimonio en Canarias hacen uso de infraestructuras y especialistas que se encuentran fuera del territorio insular. Esto encarece notablemente los presupuestos y provoca en muchos casos la imposibilidad de una buena y completa ejecución del trabajo debido al periodo obligado de espera al que se ve sometido el equipo ejecutivo, pues los análisis son la base fundamental sobre la que se crea la metodología de intervención posterior.

Basándonos en las obras que llegan al taller de restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna, sobre las que actualmente se realizan el noventa por ciento de las intervenciones conservativas y/o de restauración de la isla de Tenerife, podemos establecer que la tipología habitual de estas piezas es: pintura de caballete, imaginería realizadas en madera policroma y sobre todo retablos, también en madera dorada y policromada. Garantizando así la aportación constante de material de investigación.

Por ello parece fundamental la creación de material y especialistas que ayuden a solventar dudas acerca de la naturaleza, estructura, localización y demás características básicas relacionadas con la madera y el soporte lógico.

### 2.1. Originalidad del tema elegido:

- Inexistencia de estudios anteriores aplicados a Patrimonio, lo que convierte al presente estudio en inédito.

- Utilidad para la identificación de las causas del deterioro de los soportes líneos tales como: fotodegradación, podredumbre por humedad, ataques biológicos...siempre asociados a la tipología de la madera. Estudios de correlación.
- Utilidad para la restauración específica de estos tipos de soporte y la elección de los productos adecuados.
- Se trata de una metodología de trabajo basada en análisis NO destructivos.
- Ahorro económico en los proyectos e intervenciones de restauración al poder contar con especialistas locales.
- “Geolocaliza” a través de una base de datos *online*, los bienes muebles de la isla, complementando la información existente hoy día sobre el tema con nuevos datos intrínsecos, en cuanto a la identificación de las especies de madera usadas para su fabricación, así como puntos de control colorimétrico para futuros exámenes de la pieza.

### 3. OBJETIVOS

---

- Conseguir la capacitación necesaria para la identificación de las maderas usadas en Patrimonio en la isla de Tenerife, comenzando por el Retablo de San Antonio de Padua (1ª mitad del S. XVII) de la Hacienda particular El Lamero, ubicada en el municipio de Garachico, Tenerife. Actualmente objeto de intervención en el Taller de Restauración de La Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna.
- Elaborar un catalogo, en una base de datos digitalizada, de la tipología de las maderas analizadas para que sean extrapolables a otros estudios futuros.
- Realizar un análisis colorimétrico de las piezas y uso de los resultados como puntos de control para una buena conservación preventiva así como para futuros estudios sobre las mismas.
- Geolocalizar, cuantificar y distribuir geográficamente los bienes muebles a través de la introducción de los datos obtenidos y sus fichas técnicas en una base de datos *online*.

## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

Son bien conocidos en nuestro ámbito los problemas que ocasionan las malas o innecesarias intervenciones del Patrimonio. Sin ir más lejos, en los últimos años y concretamente en Canarias, han surgido varias noticias en la prensa local acerca de las intervenciones de urgencia acometidas sobre bienes culturales, que habían sido restaurados recientemente y en los cuales no se había utilizado un material precisamente compatible e inocuo para su reintegración volumétrica. Muchos de estos casos hacían referencia a un daño estructural o ataque biológico producidos por el uso de maderas no compatibles con las originales o infectadas desde su origen.

Es indiscutible que un buen restaurador/a debe conocer el material con el que se enfrenta en cada pieza. En el caso de la madera, no es imprescindible llegar a los conocimientos de un botánico o ingeniero de montes, pero sí tener claro que necesitaremos de su ayuda siempre que nuestros conocimientos no lleguen más allá de lo estrictamente necesario para acometer una intervención sobre este tipo de material.

Como introducción, se presenta una revisión de las teorías y metodologías empleadas históricamente que pudiera ser de ayuda a los/as profesionales del Patrimonio que, no siendo necesariamente especialistas en maderas o colorimetría, deseen llevar a la práctica la propuesta metodológica que nos ocupa.

### 4.1. IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES

#### 4.1.1. Introducción a la identificación de maderas

##### 4.1.1.1. Clasificación de especies

Desde Linneo (1735), que establecía la existencia de dos reinos (animalia y vegetabilia) hasta Cavalier-Smith (1998), que defiende la existencia de dos imperios (eukaryota y prokaryota) y seis reinos (animalia, plantae, fungi, chromista, protozoa y bacteria), la historia y los sistemas de clasificación han sufrido numerosas variaciones.

Las especies vegetales arbóreas, de interés en restauración, se dividen en dos categorías fundamentales: coníferas y frondosas. Es fundamental hacer hincapié en esta división, pues forma parte de la base para identificar cualquier tipo de muestra de madera. Esto se debe a las diferencias fundamentales que existen entre uno y otro grupo, y que como se ha dicho, el restaurador/a debería de tener presente en todo momento.

##### 4.1.1.2. Identificación en el medio natural

Son muchas las ocasiones en que una madera es nombrada por un apelativo vernáculo. Esta situación puede generar confusiones al ser coincidentes las denominaciones de dos o más especies botánicas.

Las dificultades de la identificación de la madera se elevan cuanto mayor es su transformación. Mientras que en la naturaleza apenas presenta dificultades debido a la morfología botánica del árbol, a medida que es procesada en el taller, en una tabla policromada, etc., la complejidad aumenta.

Los botánicos a menudo se valen de las personas del lugar para conocer el nombre vernáculo de una especie.

En el momento de obtención de la muestra puede realizarse un primer análisis macroscópico *in situ* con ayuda de una lupa<sup>1</sup> y en caso de duda, se envían muestras de madera para servirse de un análisis xilémico que complete y apoye la identificación. Cuando esto ocurre, se analizan trozos de madera del tronco en forma de paralelepípedo, de unos 30 cm de longitud y una base cuadrada de 15 x 15 cm, conservando intacta la corteza para su identificación.

La pérdida de elementos diferenciadores como hojas, frutos, yemas, etc., supone la pérdida de datos que dificultan notablemente el conocimiento de la madera. Es entonces cuando las técnicas de identificación comienzan a jugar un papel decisivo.

<sup>1</sup> En este punto, botánica y xilología funcionan como ciencias "simbióticas"



La corteza por ejemplo, es un carácter diferenciador entre especies madereras similares, como la presencia de dos secciones transversales definidas en cada troza (leño), que aportan el conocimiento necesario sobre el color de la albura y el duramen, carácter éste muy importante por ser intrínseco de la especie.

En nuestro campo de estudio, es prácticamente imposible encontrar restos de la corteza<sup>2</sup>, en cambio es relativamente fácil ubicar la sección transversal de la tabla y por lo tanto identificar el color de la albura y/o el duramen, dependiendo del tipo de corte en relación al tronco que se haya realizado para extraer la tabla.

#### 4.1.1.3. Identificación en laboratorio:

*“Las técnicas de identificación en laboratorio, mediante el uso de claves particulares a nivel de género o especie, son las únicas válidas para llegar a soluciones correctas... La técnica macroscópica debe considerarse como un paso previo a la microscópica, aunque a veces puede tener carácter determinante si se conoce la procedencia de la muestra”.* (GARCÍA ESTEBAN *et al.* 2002)

#### 4.1.1.4. Tipos de análisis para la identificación de especies en madera en laboratorio:

##### - Análisis microscópico:

Los umbrales mínimo y máximo de observación microscópica pueden fijarse entre x50 y x1500 respectivamente.

Por debajo del primero, dicha observación tiene carácter macroscópico y por encima del segundo la microscopía óptica deja paso a la electrónica de barrido o transmisión.

	Información básica	Inconvenientes
<b>Microscopía óptica de luz incidente</b>	La posición de la luz es determinante para la observación de la madera. No necesita una preparación de la muestra muy laboriosa (orientación como en el caso del análisis macroscópico y uso de reactivos adecuados para la coloración de los elementos a diferenciar). Entre el método de luz incidente perpendicular y el de luz incidente oblicua, este segundo aumenta el contraste notablemente.	La uniformidad de color de los tejidos de la madera ofrece una imagen poco contrastada.
<b>Microscopía óptica de luz transmitida</b>	El microscopio a utilizar debe disponer de al menos cinco objetivos (x2, x10, x25, x40, x100).	Requiere una preparación de muestras de espesor muy delgado (entre 10 y 20 µm), lo que implica la necesidad de uso de un micrótomo. La observación de la madera así cortada presenta muchas dificultades, ya que la pérdida de agua en corte delgado es muy rápida y sólo permite su observación durante unos instantes, además de suponer la pérdida de elementos asociados a la pared celular.
<b>Microscopio electrónico de barrido</b>	De gran utilidad para la observación de elementos anatómicos del xilema en tres dimensiones. Se pueden alcanzar hasta x800.000 aumentos. Necesidad de deshidratación de la muestra en caso de que el micros-copio sea de vacío y no de presión variable. Complementar con microscopía óptica.	Pérdida o falta de contraste. Apenas aporta información aparte de la meramente tridimensional de los elementos. La obtención de la muestra supone aplicar una metodología de extracción invasiva y destructiva sobre la pieza.

<sup>2</sup> Con excepción de las nuevas técnicas utilizadas en el arte contemporáneo.



Hoy en día, la aparición de reglas micrométricas y de analizadores digitales de imagen han supuesto un avance en el proceso de identificación y medida de las muestras de madera.

- **Identificación por el uso de agentes químicos:** Consiste en la aplicación de un reactivo en la superficie de la madera y la observación del resultado de la reacción.

- **Quimiotaxonomía:** Es una forma de clasificar las plantas por los compuestos extractivos que presentan y entre ellos, los de la madera. Pueden estar exclusivamente en una especie o caracterizar un grupo de ellas. Estas sustancias son analizadas por métodos clásicos, espectrometría, cromatografía o combinación de ellos. El inconveniente es que muchos de estos compuestos químicos se modifican con el tiempo, alterándose y por tanto dificultando la identificación.

- **Fluorescencia:** Es la capacidad que tienen algunas sustancias de iluminarse frente a la acción de la luz ultravioleta. El corazón de algunas maderas, que es donde existe mayor concentración de extractivos producidos por el metabolismo secundario de las células, flourece de diferentes formas y ello puede caracterizar grupos botánicos. Es un método bastante general y poco específico.

- **Antracología:** Se encarga de la recogida, identificación botánica y conservación de los carbones y maderas recuperados en contextos arqueológicos o yacimientos naturales. El carbón y la madera son unos materiales que contienen múltiples informaciones: taxonómica, ecológica, botánica, etnográfica, cronológica, etc. Pero para obtener alguna de esas informaciones, el método de análisis empleado es destructivo y, por tanto, su secuencia de análisis debe ser concertada entre los especialistas, de modo que no se destruya ningún tipo de información.

- **Anatomía comparada de la madera:** La estructura anatómica de la madera es la misma desde su formación en el tronco y se mantiene mientras no sea degradada. Puede abordarse con una lente de 10 aumentos y mejorarse la visualidad con el uso de un microscopio óptico.

La identificación de las maderas por anatomía comparada no está exenta de problemas; de por sí, tiene límites de géneros y a veces de subgrupos genéricos como es en el caso de los robles (*Quercus sp.*) donde muy raramente se llega a identificar a la especie con sólo la descripción anatómica, por lo que toda información sobre su corología, procedencia, nombre común, país o región geográfica es importante para la determinación.

Es bueno señalar que hay límites para la determinación de la madera, no solo en la toma de muestra, sino en el proceso de identificación.

El más frecuente de todos y que imposibilita la determinación, es el no poseer el patrón de comparación. Muchas veces, los propios especialistas no cuentan con material de referencia como son una colección de maderas, catálogos con descripciones y microfotografías en la que aparezcan las características fundamentales de la madera en estudio. Entonces nada se puede identificar.

Otra limitante es que las especies pertenecientes a un mismo género, muchas veces son poco distinguibles.

Este método ha sido el elegido para este estudio, que pretende presentar las principales maderas que se han utilizado en Patrimonio, con lo cual, acotamos la búsqueda a un número determinado de maderas y descartamos cientos de otras que se presentan en la naturaleza.

Preparación de la muestra para la observación macroscópica:

- Porción de 1x1x1 cm orientada según los tres planos fundamentales (transversal, tangencial, radial) y pulida o limpiada con cuchilla para permitir una buena observación bajo la lupa.
- Este cubo preparado es observado macroscópicamente con lupa de hasta x10 o x20 aumentos o binocular de x50.

#### 4.1.1.5. Descripción macroscópica

Dentro de esta descripción, se toma en consideración, los caracteres estéticos de la madera como son el color y si existe diferencias entre el color de la albura y el del duramen. La presencia o no de anillos de crecimiento, el tipo de textura que posee la madera, si el “hilo” (o sea, la dirección de las fibras respecto al eje axial del tronco) es recto o no.

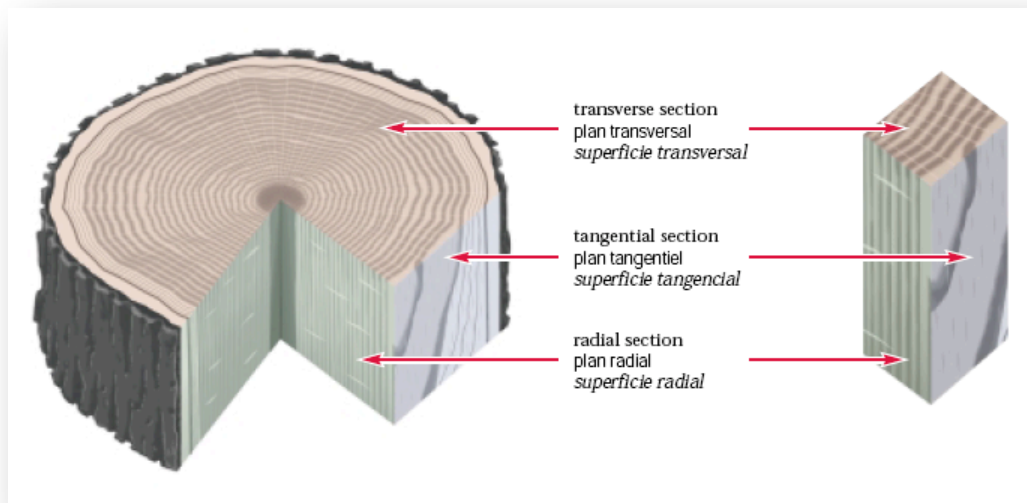


Ilustración 1. Principales planos de corte de la madera.

- **Sección transversal:** En ella se pueden observar las zonas o anillos de crecimiento; la presencia de **poros** (que no son más que los vasos leñosos vistos en sección transversal) y su patrón de distribución. El tipo de **parénquima axial** (células de reserva que se distribuyen en esta dirección), si rodean o no a los poros y en qué forma lo hace.

- **Sección tangencial:** En dicha sección se observan los **radios leñosos o medulares** como pequeñas líneas o husos, que están generalmente compuestos por células del parénquima (células de reserva), que según su disposición pueden ser estratificados (cuando se encuentran alineados) o no estratificados (irregularmente dispuestos).

- **Sección radial:** No tiene importancia en la observación macroscópica pues en ella no es posible distinguir los elementos que allí se exponen.

Caracteres de diferenciación de la madera de frondosas y coníferas:

1. Las frondosas tienen vasos, mientras que las coníferas carecen de ellos.
2. Las maderas de coníferas poseen radios leñosos uniseriados<sup>3</sup>.
3. La estructura de las frondosas es mucho más compleja.
4. Las frondosas son más ricas en parénquima.

**4.1.2. Introducción a la anatomía de coníferas**

Las gimnospermas constituyen un grupo de plantas caracterizado esencialmente por poseer un aparato reproductor desnudo (*gymnos* = desnudo, *sperma* = semilla).

Con esta voz, Linneo<sup>4</sup> denominaba aquellas plantas que producen semillas al descubierto, es decir, sin la protección de un fruto.

Durante una gran parte del último siglo, los linajes de plantas con semilla, tanto vivientes como extintos, fueron comúnmente divididos en dos grandes grupos: las cycadofitas y las coniferofitas. Las cycadofitas, entre las que se incluyen las modernas cycadáceas, se distinguían por una producción de madera (crecimiento secundario del tallo) más bien limitada, con radios más bien anchos (lo que se llama leño manoxílico), y por hojas grandes, de tipo fronde de helecho, y semillas con simetría radial. En contraste, en las coniferofitas, entre las que se incluyen el Ginkgo y las coníferas, la madera está bien desarrollada y

<sup>3</sup> Excepto aquellas especies en las que la presencia de canales resiníferos transversales ensanchan el radio.

<sup>4</sup> Species Plantarum fue publicado en 1753, como un trabajo en dos volúmenes por Carlos Linneo. Su principal importancia radica en que es el punto de partida de la nomenclatura botánica que se usa hoy en día. Esto quiere decir que no se aceptan como "válidamente publicados" los nombres de taxones anteriores a la fecha de publicación de este libro, y los primeros taxones "válidamente publicados" son los que aparecen en este libro.

es densa (leño picnoxílico), las hojas son simples y muchas veces en forma de aguja, y las semillas tienen simetría dorsiventral (están aplastadas). Esta distinción sugirió a algunos investigadores que las plantas con semilla en realidad se originaron dos veces. Desde este punto de vista, la línea de las cycadofitas se derivó de un ancestro de tipo Progymnosperma, en el cual el sistema de ramificación lateral aplanado derivó en grandes hojas de tipo fronde de helecho. En cambio la línea de las espermatofitas habría derivado de un ancestro del tipo Archaeopteris, en el que las hojas individuales pueden haber sido modificadas en hojas de tipo aguja. Este escenario implica que la semilla misma fue originada dos veces, cada una correspondiéndose a un tipo de simetría diferente.

Sin embargo, en los análisis de filogenia que incluyeron los linajes vivos junto con los representantes fósiles, en general prueban el árbol filogenético que se muestra en la ilustración 2, (JUDD *et al.* 2002).

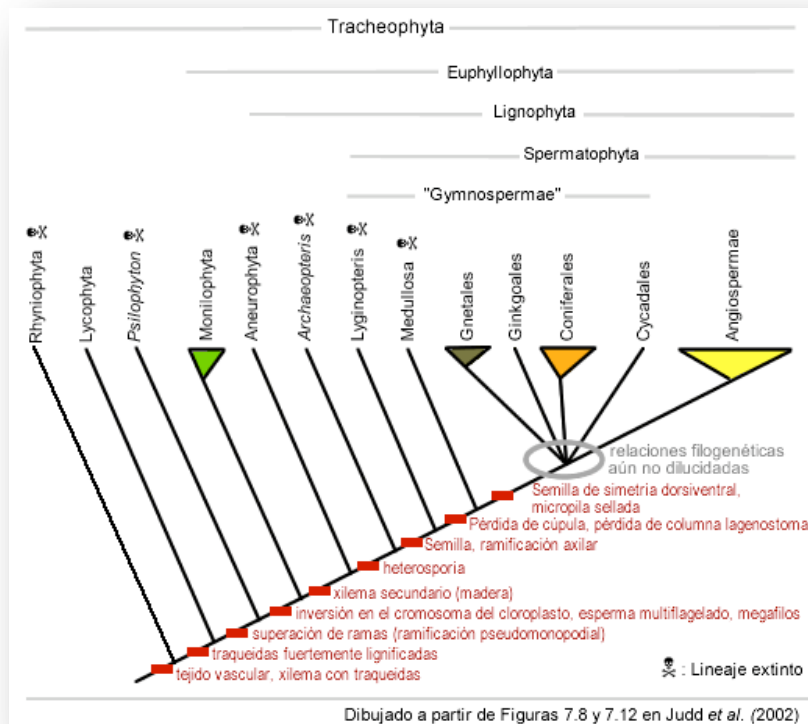


Ilustración 2. Esquema según (JUDD *et al.* 2002)

Estos estudios asumen que la semilla apareció una sola vez, y que las primeras plantas con semilla eran más bien parecidas a las cícadas, al menos en lo que respecta a las hojas grandes y pinadas, y las semillas con simetría radial. Específicamente, parece que una serie de “helechos con semilla” del Devónico-Carbonífero (Lygniopteris y medulosas) están situados en la base de la filogenia de las plantas con semilla, y que las coniferofitas están anidadas varios niveles hacia adentro del árbol, en un clado “platyspérmico” (de semillas con simetría dorsiventral). Este árbol hipotetiza que el cambio a hojas de tipo aguja y el cambio a semillas de simetría dorsiventral fueron posteriores a la aparición de las hojas y las semillas, y probablemente fueron una adaptación a ambientes de tipo árido.

A pesar de los enormes esfuerzos hechos hasta ahora para dilucidar las relaciones filogenéticas de los 5 grupos vivos de espermatofitas (cícadas, ginkgos, coníferas, gnetofitas y angiospermas), utilizando tanto información morfológica como molecular, las relaciones aún no reciben consenso, y son motivo de variadas discusiones en el ambiente científico.

Si bien no está del todo consensuado, aparentemente el grupo de las Gimnospermas vivientes es un grupo monofilético, hermano de las angiospermas.

#### 4.1.2.1. Distribución geográfica

Actualmente en el mapa vegetal, las coníferas ocupan la mayor parte del hemisferio boreal, sobre todo algunos géneros de la familia de las Pinaceae (*Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Larix*). Su presencia conforma las grandes reservas forestales de Eurasia y América del Norte. Por el contrario, parece que la presencia de coníferas en el hemisferio Sur no es tan importante, ocupando áreas muy dispersas.

#### 4.1.2.2. Características anatómicas de las maderas de coníferas<sup>5</sup>

Las coníferas como grupo más antiguo poseen una estructura anatómica más sencilla, compuesta mayoritariamente de traqueidas.

- **Traqueidas:** Tejido fibroso con punteaduras de reborde (areoladas) y extremos no perforados que tiene gran longitud, hasta 3 mm. Constituyen el elemento más abundante en la madera (90% al 95%); se unen por sus extremos formando alineaciones paralelas al eje del tronco. Algunas especies presentan engrosamientos en las paredes de las traqueidas y lo hacen de forma constante, lo que le da valor analítico a las mismas.

- **Espacios intercelulares:** Son zonas donde no hacen contacto las paredes longitudinales de células vecinas, fundamentalmente, en las esquinas y quedan huecos, de donde reciben el nombre. Caracterizan a algunas maderas de coníferas como al enebro y la sabina (*Juniperus spp.*)

- **Parénquima:** Aparece en la sección transversal como células de paredes más finas, de sección rectangular y con contenidos más oscuros. Está formado en las coníferas que lo poseen por bandas de pocas células de espesor. Su aspecto en secciones longitudinales, es el de células rectangulares de paredes superior e inferior horizontales, pero con punteaduras simples (no areoladas), que lo diferencian de las traqueidas en cadena.

- **Canales resiníferos:** Pueden o no existir en las coníferas y caracteriza un grupo de ellas. Están formados por un espacio intercelular entre células epiteliales (secretoras) que rodean al canal, las que pueden tener paredes delgadas (*Pinus sp.*) o gruesas (*Picea sp.*) por lo cual pueden tener carácter analítico.

Los canales resiníferos pueden ser *fisiológicos* (normales) y *patológicos* (traumáticos) y se diferencian por sus formas. También hay preferencias dentro de los canales resiníferos normales en unas maderas a formarlos en la madera de otoño, mientras que en otras lo forman en la madera de primavera.

- **Radios leñosos:** Constituyen los elementos transversales de la madera y su constitución en las coníferas es similar a la de los elementos longitudinales anteriormente referidos. En su forma más complicada, un radio leñoso de una conífera puede estar constituido por parénquima radial, traqueidas radiales y células epiteliales formando canales resiníferos radiales.

- **Traqueidas radiales:** Se diferencian del resto de las células que conforman el radio por poseer punteaduras areoladas con torus como las verticales. Las paredes de estas células pueden ser lisas o dentadas, estar en el borde de los radios (marginales) y/o diseminadas.

- **Parénquima radial:** Se distingue por sus paredes lisas, paralelas y punteaduras simples. Las punteaduras de paso entre sus células y las de las traqueidas verticales, son de gran valor diagnóstico si se observan en sección radial y se denominan "Campos de cruce".

En cuanto a la naturaleza de estas comunicaciones, se distinguen 5 tipos de campos de cruce y su conocimiento ayuda a especialistas a ubicarlas dentro de los grupos de las diferentes coníferas:

**1. Fenestriforme o de ventana:** La punteadura que ocupa casi toda la totalidad del campo es rectangular y sin reborde. Pueden ser una o dos por cruce. Presente en *Pinus sylvestris*.

**2. Pinoide:** Forma redondeada-ovalada, también sin rebordes y pueden estar dentro de un célula hasta en número de cinco. Presente en *Pinus nigra* y *Pinus pinea*.

Estos dos primeros campos de cruce caracterizan a las especies del género *Pinus*.

**3. Piceoide:** La punteadura posee rebordes y las aberturas son largas, estrechas y atravesadas de forma ovalada sobresaliendo sus extremos. Su número por campos de cruce es muy variable y se encuentra en las distintas especies de los géneros *Picea* y *Larix*.

**4. Cupresoide:** La punteadura tiene reborde y las aberturas de forma ovalada, están contenidas totalmente en el reborde de la misma, y están presentes en los géneros *Cupressus*, *Juniperus* y *Cedrus*.

**5. Taxoide:** Las punteaduras tienen rebordes. Las aberturas son circulares a elípticas y sobrepasan los bordes. Están presentes en maderas de los géneros *Abies* y *Taxus*.

---

<sup>5</sup> Extraído de CARRERAS RIVERY, R. Identificación microscópica de las principales maderas usadas en muebles de estilo. (La Habana: Asociación de las Artes Plásticas Unión Nacional de Escritores y Artistas de Cuba., 2008).

**Paredes radiales nodulares en los radios medulares:** Algunas maderas presentan en las células parenquimatosas de los radios, paredes engrosadas a modo de nódulos y es un carácter constante, por tanto, de valor diagnóstico.

**Engrosamientos helicoidales:** Se presentan en las traqueidas de algunas coníferas como el tejo y las caracteriza. Son reforzamientos internos de la pared celular.

#### **4.1.3. Introducción a la anatomía de frondosas**

Las angiospermas son un grupo de espermatofitas reconocido como monofilético desde hace mucho tiempo debido a sus caracteres morfológicos distintivos, y cuya monofilia fue sostenida posteriormente por los análisis moleculares de ADN.

La diversificación que sufrió este grupo es asombrosa. En el registro fósil aparecen a principios del Cretácico (hace unos 130 millones de años), momento a partir del cual aparecen enormes cantidades de fósiles de especies muy diversas, como si hubieran aparecido con toda su diversidad de golpe, lo que Darwin llamó en su momento un “abominable misterio”. Aun hoy cerca del 90% de las plantas terrestres pertenecen a este grupo. Con unas 257.000 especies vivientes (JUDD *et al.* 2002), las angiospermas son las responsables de la mayor parte de la diversidad en espermatofitas, en embriofitas y en viridofitas.

##### 4.1.3.1. Distribución geográfica

Así como posee muchas especies, este grupo se caracteriza por poseer una enorme diversidad de hábitos, y haber ocupado prácticamente todos los nichos ecológicos posibles. Hay plantas arbustivas y herbáceas, las hay terrestres y acuáticas, se encuentran tanto en los desiertos como en los pantanos, en el nivel del mar como en lo alto de las montañas. Su diversidad de especies es mucho más alta en zonas tropicales y húmedas (alrededor del 60% de las especies son de zonas tropicales y un 75% tiene un crecimiento óptimo en climas tropicales), donde dominan completamente el paisaje, disminuyendo su número hacia las latitudes altas, llegando a poseer una representación empobrecida en las floras más frías como la de la tundra (que todavía hoy está dominada por las coníferas).

Aparentemente, según el registro fósil las angiospermas se originaron a latitudes bajas (cerca del Ecuador), en las que ya estaban bien distribuidas hace unos 130 millones de años, y se volvieron florísticamente prominentes hace 120 millones de años. Luego, hace unos 100 millones de años, se dispersaron hacia latitudes más altas. En el registro fósil de hace 70 millones de años, el 60-80% del polen encontrado en bajas latitudes es de angiospermas, mientras que sólo el 30-50% del polen encontrado en altas latitudes es de angiospermas, correspondiendo el resto del polen encontrado a gimnospermas y pteridofitas. Aparentemente esta reticencia de las angiospermas para dominar la flora en las latitudes más altas se debió, en parte, a las limitaciones estacionales de luz y humedad que hay a altas latitudes, limitaciones que deben haber ofrecido pocas oportunidades a las especies colonizadoras de angiospermas para reemplazar a la antigua vegetación, bien establecida y adaptada, de gimnospermas y pteridofitas (WILLIS 2002). Esta disminución de la diversidad con el aumento de la latitud, probablemente haya tenido más que ver con restricciones en la biología de las angiospermas existentes en ese momento, que con bajos índices de dispersión. De hecho, aún hoy la diversidad de especies de angiospermas es más baja que la de gimnospermas en biomas boreales como el de la tundra. Si bien las primitivas angiospermas no parecen haber sido especies invasivas en las altas latitudes, ese escenario parece haber cambiado más tarde, con la aparición de angiospermas más recientes para las cuales las altas latitudes parecen haber ofrecido un escenario óptimo para dominar el ambiente y especiarse posteriormente. Por ejemplo, el sur de Gondwana parece haber sido el origen del género *Nothofagus*, que apareció hace unos 70 millones de años y aún hoy en día es un componente importante de la flora del Hemisferio Sur.

Los miembros de esta división son la fuente de la mayor parte de los alimentos consumidos por la especie humana, así como de muchas materias primas y productos naturales.

#### 4.1.3.2. Características anatómicas de las maderas de latifolias (frondosas)<sup>6</sup>

Como se ha referido con anterioridad, la madera de las frondosas es más compleja si la comparamos con la de las coníferas. Durante el proceso evolutivo de las especies vegetales los sistemas conductores, de almacenamiento y sostén de la planta, se fueron haciendo más eficientes a partir de la especialización de las células que componen los diferentes tejidos, de ahí que para poder dar una idea más acertada de cómo están dispuestos éstos, vamos a explicarlos a partir de su observación en las tres secciones fundamentales que se utilizan para el estudio de la madera.

##### **Porosidad:**

Lo primero que llama la atención cuando observamos en sección transversal una madera de latifolia, es la presencia de pequeños orificios que en dicha sección se denominan poros y que no son más que secciones transversales de un tipo de célula especializadas en la función de conducción, llamadas elementos vasculares, que se superponen en dirección axial al tronco del árbol y conforman lo que reconocemos como vasos (así son llamados cuando los observamos en sección tangencial).

Los vasos pueden tener mayores dimensiones en una zona que generalmente coincide con un anillo de crecimiento, específicamente con la llamada *madera temprana o de primavera* y alternarse con vasos (poros) de dimensiones menores en la *madera tardía o de otoño*. En este caso se denomina “madera de anillos porosos”. Cuando los vasos están distribuidos de forma irregular en la madera y no existe esa diferencia sustancial entre ellos, se denomina “madera de poros difusos”.

Los **elementos vasculares** poseen discontinuidades en su pared que se denominan punteaduras, a través de las cuales se comunica con las células vecinas. Los extremos de estas células van a estar también perforados para permitir el paso de la savia bruta (agua con sales minerales). A estas perforaciones se le denominan placas perforadas o platinas de perforación y lo hacen de forma tal, que pueden caracterizar grupos de especies según diferentes patrones.

Tanto las placas perforadas como las punteaduras intervasculares (comunicaciones entre dos elementos vasculares adyacentes a través de sus paredes laterales), tienen gran valor de diagnóstico cuando se identifica una madera.

Existe una clasificación para estas formas de presentarse:

##### **Placas perforadas:**

- **Perforación simple:** El paso entre los elementos vasculares está libre y se observa como una línea más bien transversal al vaso.
- **Perforación escaleriforme:** Existen entre los elementos vasculares unas barras que los separan.
- **Perforación foraminada o cribosa:** El tabique de separación tiene aspecto de un colador y aparecen solo esporádicamente en algunas especies.

##### **Punteaduras intervasculares**

Son las que están entre dos vasos contiguos. Son muy variables en la forma de agruparse, clasificándose de la siguiente forma:

- **Punteaduras alternas:** Generalmente circulares a ovales y se encuentran alineadas de manera oblicua respecto al eje del vaso. Pueden ser ornamentadas o no. Estas ornamentaciones son protuberancias de la pared celular que se evidencian en la abertura de la punteadura.
- **Punteaduras escaleriformes:** Las punteaduras son lineales y se orientan perpendicular al eje del vaso.
- **Punteaduras opuestas:** Generalmente ovales a rectangulares y se presentan en filas transversales al vaso. Son poco comunes.

##### **Distribución de los poros:**

- **Poros solitarios:** Se encuentran aislados de los restantes por otro tejido y generalmente son de forma oval.
- **Poros múltiples:** Cuando están agrupados dos o más vasos y sus paredes intermedias son

---

<sup>6</sup> Extraído de CARRERAS RIVERY, R. Identificación microscópica de las principales maderas usadas en muebles de estilo. (La Habana: Asociación de las Artes Plásticas Unión Nacional de Escritores y Artistas de Cuba., 2008).

aplanadas, generalmente orientados en la dirección de los radios aunque pueden orientarse también en sentido tangencial a los radios.

- **Poros en conglomerados:** Cuando están formando grupos o conglomerados de varias células.
- **Poros en cadenas:** Cuando estos son solitarios y siguen una serie semejante a eslabones de una cadena separados por otros tejidos.

**Engrosamientos en espiral en elementos de vaso:** puede estar en toda la parte central de elementos de vaso o solo en los apéndices de elementos de vaso. Son variables en función del grosor (fino a grueso), ángulo de inclinación y espaciamiento. (Pueden también ocurrir en traqueidas vasculares y vasicéntricas, en fibras, y muy raramente en parénquima axial).

**Parénquima axial:** Se reconoce en la sección transversal por sus paredes delgadas y formas de presentarse. Según su constitución, éste puede ser “fusiforme” (visto en sección tangencial no presenta tabiques divisorios) o “septado” cuando presenta dichos tabiques. Este último tipo es el más frecuente.

Según su relación con los poros se clasifica en sección transversal como:

1. **Parénquima paratraqueal:** Cuando tocan los poros y se clasifica según la forma en que puede estar dispuesto:
  - **Paratraqueal vasicéntrico:** Cuando rodea todo el vaso.
  - **Paratraqueal escaso:** Cuando se presentan células aisladas alrededor del vaso.
  - **Paratraqueal unilateral:** Cuando forma una capa alrededor de una parte del vaso.
  - **Paratraqueal aliforme:** Cuando presenta extensiones en forma de alas.
  - **Paratraqueal confluyente:** Cuando se enlazan vasos contiguos, pudiendo ser también aliforme confluyente y confluyente en bandas.
2. **Parénquima apotraqueal:** Cuando no tocan los poros y se clasifica de 3 formas principales:
  - **Apotraqueal difuso:** Cuando aparece como células aisladas entre el tejido fibroso.
  - **Apotraqueal en agregados:** Pueden ser pequeños grupos o líneas tangenciales cortas, generalmente formadas por pocas células.
  - **Apotraqueal concéntrico:** Se presenta en bandas de una a varias células de ancho que se extiende en sentido tangencial.
3. **Parénquima marginal.** También puede presentarse el parénquima cuando comienza o termina un anillo de crecimiento.
4. **Parénquima radial:** Son los únicos elementos transversales que componen la madera y se reconocen como radios leñosos o también mal llamados radios (o rayos) medulares, ya que solo llegan a la médula aquellos que se originaron en la madera joven o tejido primario. En las frondosas, su composición es totalmente de parénquima radial. En sección radial aparecen como bandas de células que pueden ser de uno o varios tipos según su forma, unas con el eje mayor en posición horizontal, llamadas células procumbentes y otras con el eje mayor en dirección axial, llamadas células erectas. Cuando todas las células son del mismo tipo, se llaman radios homogéneos y cuando hay variados tipos, radios heterogéneos. En sección tangencial poseen forma de husos.  
Se presentan de dos formas diferentes:
  - A. Estratificados:** Cuando los radios están organizados en estratos.
  - B. No estratificados:** Cuando los radios están sin esquema de estratificación, o sea, dispuestos irregularmente.

#### 4.1.4. Claves de identificación de maderas:

Existen múltiples claves de identificación disponibles para el estudio macroscópico y microscópico de la madera.

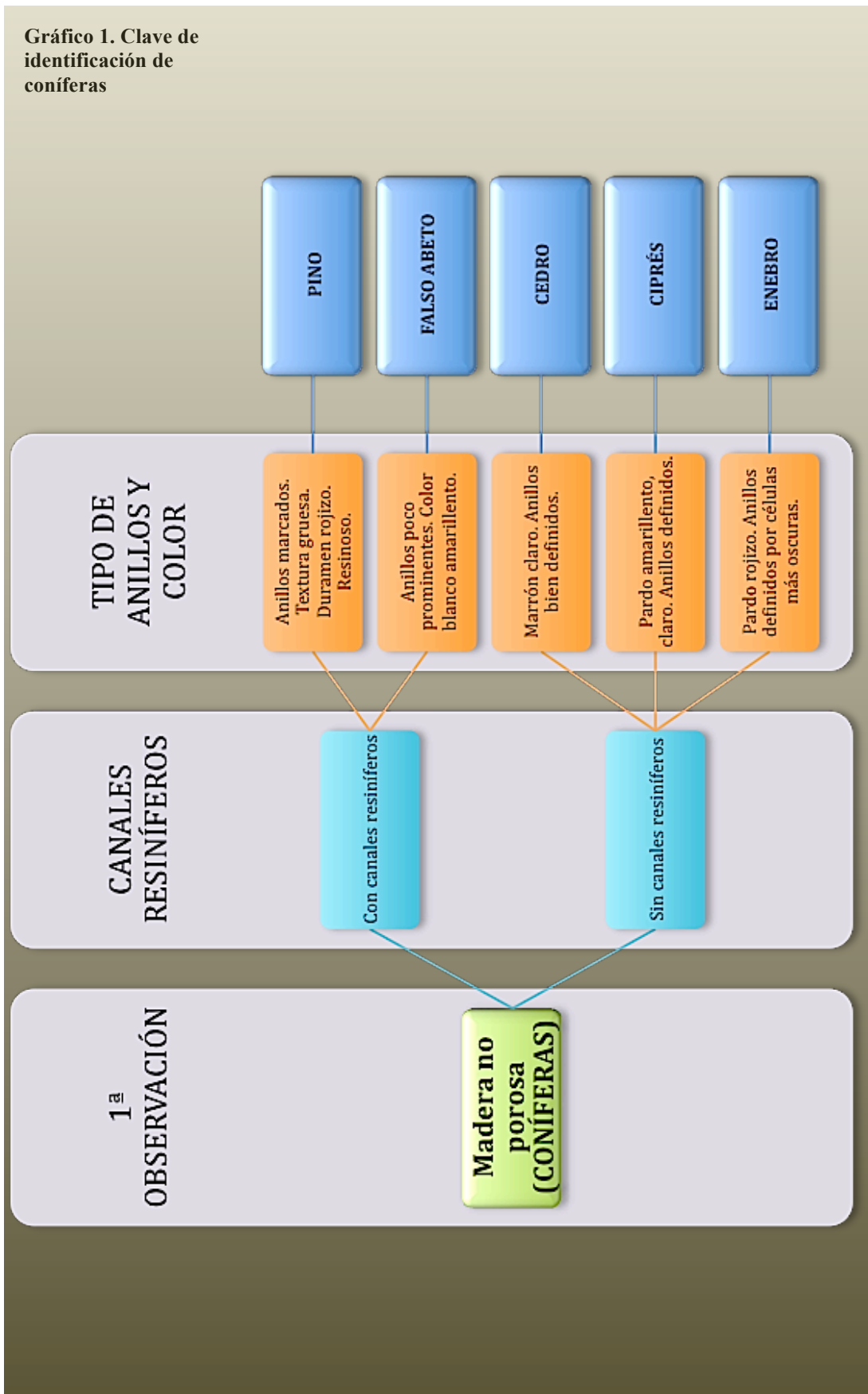
Una vez estudiadas muchas de ellas, se han seleccionado algunas de las facilitada por la Doctora Raquel Carreras Rivery durante su docencia, las cuales permiten, a través de un conocimiento previo de las características afines a cada tipo de madera detallada con anterioridad (coníferas y frondosas), la identificación de las especies más utilizadas en Patrimonio (CARRERAS RIVERY, 1998).

Aun así, hay que considerar la posibilidad de error que supone la identificación por anatomía comparada, por lo que la metodología de trabajo que aquí se propone, podría verse obligada a recurrir a un análisis destructivo, como la microscopía.

A continuación se muestran las claves de identificación esquematizadas



Gráfico 1. Clave de identificación de coníferas



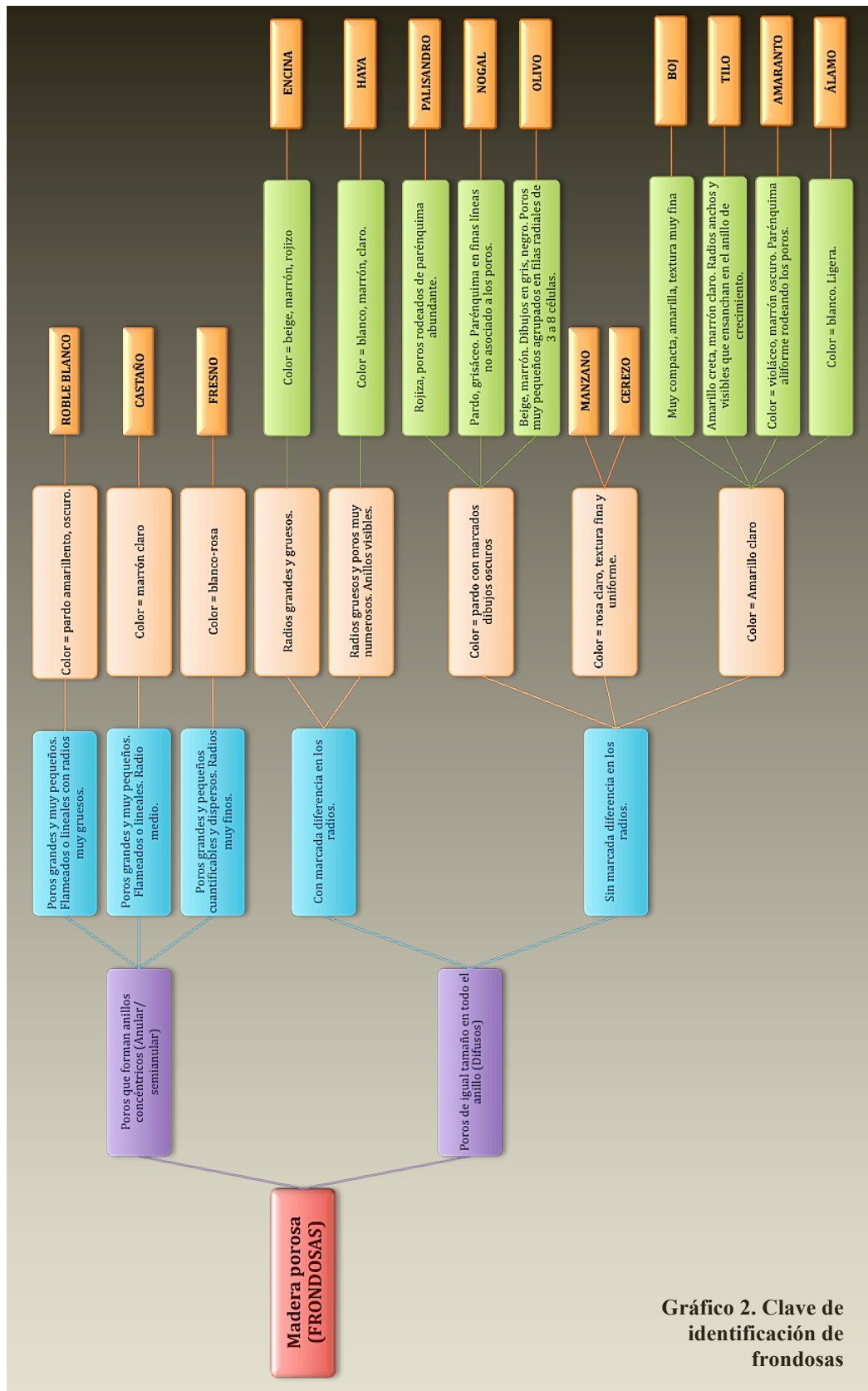


Gráfico 2. Clave de identificación de frondosas

## 4.2. LA COLORIMETRÍA: DEFINICIÓN, APLICACIONES Y SISTEMÁTICA DE TRABAJO EN EL CAMPO DE LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE OBRAS DE ARTE

A continuación, se resumen escuetamente los conceptos básicos de la colorimetría para pasar de forma más detallada a su aplicación.

### 4.2.1. ¿Qué es la colorimetría?

La colorimetría se define como parte de la óptica que se dedica al estudio de la medida del color en base a la cantidad de una magnitud por comparación con otra de base. Es un método no destructivo.

Los conceptos básicos que nos ayudan a entender y estructurar esta ciencia son entre otros: la trivarianza visual y el espacio cromático.

**La trivarianza visual** es la propiedad de la visión cromática a través de la cual, mezclando tres colores, podemos igualar visualmente cualquier color (excepto aquellos puros). De la misma manera, 3 coordenadas dentro de un adecuado **espacio cromático** nos definirán con exactitud los múltiples colores existentes (sistemas CIEYxy, CIEL\*a\*b\* y CIEL\*C\*h°).

**La medida del color**, pretende especificar el mismo de manera precisa y sin ambigüedades, dando tres coordenadas dentro de un adecuado espacio cromático → CIEYxy (1931), CIEL\*a\*b\* (1976) y CIEL\*C\*h°.

Para medir un color necesitaremos una variable luminosa (de 0 a 100) y dos variables cromáticas (del eje cartesiano característico del sistema usado).

El color está relacionado con casi todas las ramas de la ciencia, depende de la naturaleza humana y se basa en la percepción, dependiente a su vez de psicología, educación, memoria, estado anímico, salud, ambiente, etc.

### 4.2.2. Definiciones de color:

- “Definir es confundir”. Unamuno.
- “El color es aquello que si no existiera, todo sería en blanco y negro”. John Colmes.
- “Color es un atributo de la percepción visual, que nos permite distinguir dos fuentes luminosas de la misma luminancia, tamaño y forma”. CIE.
- “Uno de los atributos fundamentales del sentido de la vista” Otero Navascués.
- “Una parte esencial de nuestra experiencia animal. No tratándose de un lujo puesto por la providencia para nuestro disfrute estético, sino que es un elemento primordial en el conocimiento de nuestro entorno” W.K. Zworykin.
- “El aspecto de nuestra experiencia visual dependiente de la intensidad y longitud de onda de la luz que ilumina el objeto, la longitud de onda reflejada o transmitida por el objeto y del color de los objetos circundantes (psicología/fisiología)”. Mariano Aguilar
- “Una respuesta perceptual a la energía radiante”. Marisa Martínez Bazán.

### 4.2.3. ¿Para qué sirve la colorimetría?

De una forma coloquial, podemos decir que la colorimetría convierte los colores en números. Esto nos permite operar con ellos (cuantificar las diferencias) y archivar los datos para:

- Conocer el color que tenía una obra en un momento determinado.
- Hacer un seguimiento objetivo de los cambios cromáticos introducidos a través de las operaciones de conservación y restauración.
- Comprobar sistemáticamente la estabilidad cromática de la obra de arte (pilar de la conservación).
- Valorar cuantitativamente cuales son los materiales más idóneos a emplear en una restauración.

#### 4.2.4. Condiciones básicas para el estudio visual del color

Las condiciones básicas para un estudio visual del color son:

1. Nivel fotópico determinado: Tiene que haber un determinado nivel de luminancia para que sean exclusivamente los conos los que actúen a pleno rendimiento.
2. Visión central: Para estudiar un color debemos mirar centralmente un test con un determinado tamaño.
  - 2.1. En 1931 se obtienen las coordenadas cromáticas con una curva de visibilidad que marcaba un ángulo visual de 2°.
  - 2.2. En 1964 se definen otras coordenadas con un test que se valía de un ángulo visual de 10°.
3. Eliminación del efecto preceptor: Para estudiar un color debemos aislarlo del objeto que presenta para dicho color.
4. Evitar los contrastes temporal y espacial:
  - 4.1. Contraste temporal postimagen: se produce por el cansancio de los fotorreceptores, lo que desencadena variaciones del Tono, Croma y Claridad
  - 4.2. Contraste espacial: el color de una superficie que envuelve a otra de pequeñas dimensiones, enmascara el color de esta última, superponiéndole su color (efecto asimilación) y su complementario (efecto contraste).
5. Observador con visión cromática normal: es decir, aquel que percibe un número de colores similar al percibido por la mayoría de las personas.

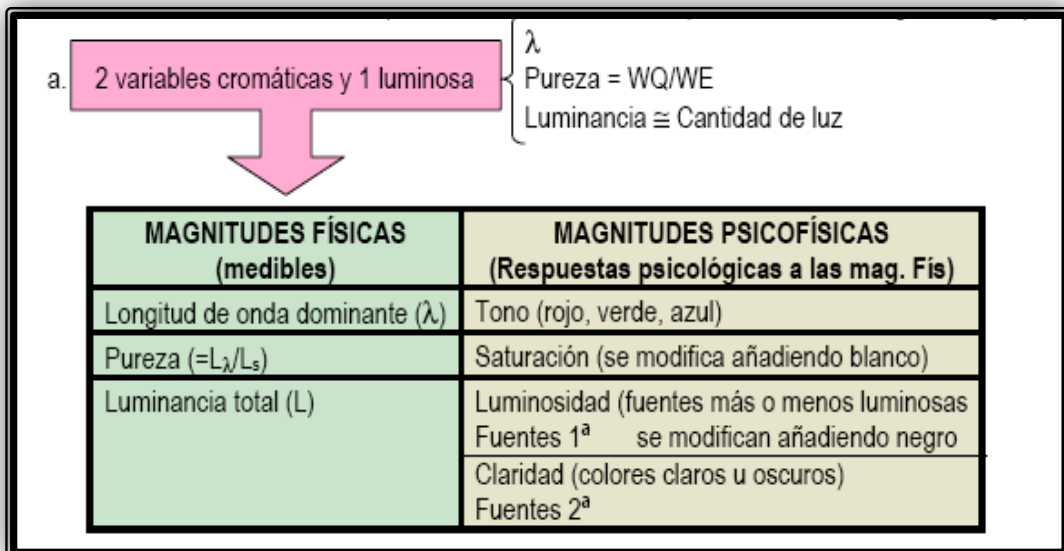
#### 4.2.5. Leyes que rigen el color

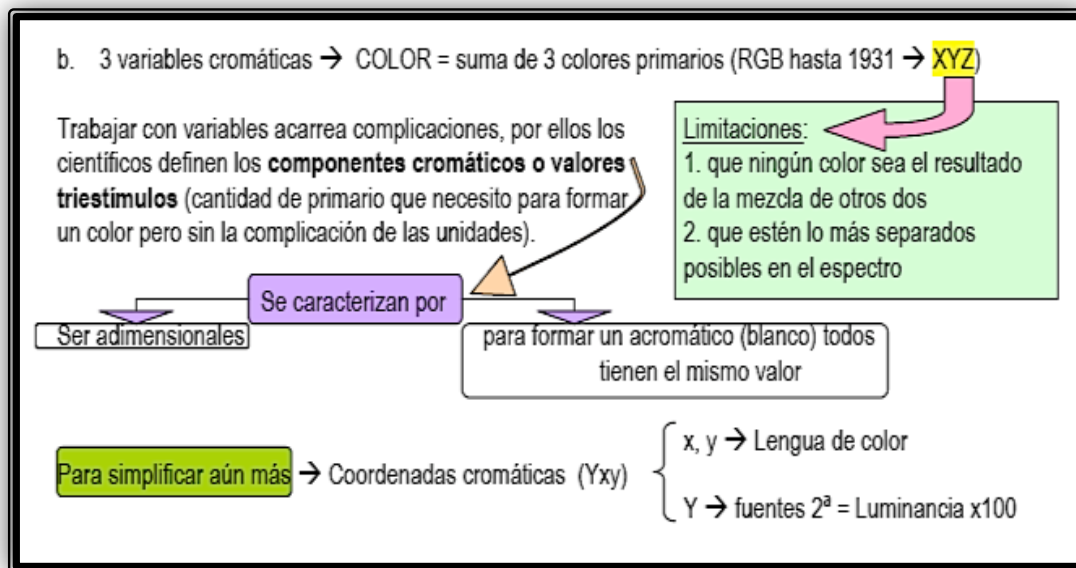
**Metamerismo:** Base de la colorimetría (incapacidad del ojo humano de distinguir los colores que componen una mezcla). En base a ésta, los colores denominados como metámeros, son aquellos que se ven iguales bajo unas condiciones de iluminación determinadas, a pesar de tener sumandos o espectros diferentes.

**Ley fundamental:** Cualquier color no puro (color suma) es el resultado de la suma del blanco y un color puro [ $Q=W+E$ ].

**Sumación:** Las luminancias se suman pero los colores se destruyen (incluso se anulan en el caso de colores complementarios).

**Trivarianza visual:** Las 3 variables (mencionadas anteriormente) se dividen en dos grandes grupos:





#### 4.2.6. Metodología

Llevada a la práctica, es imprescindible el uso de un sistema de medida conocido como **barrido cromático**, que consiste en la medición de puntos clave de la obra previamente seleccionados empleando espectrofotometría por reflexión. Con ello obtenemos: coordenadas cromáticas y espectro de cada punto clave del barrido.

El barrido cromático puede realizarse por contacto o a distancia.

En el primer caso se realiza mediante el uso de un espectro-colorímetro, aunque esta técnica sólo será factible en caso de que podamos tener contacto directo con la superficie de la obra y que ésta además cumpla las características de ser cromáticamente homogénea y no rugosa.

Sus ventajas son fundamentalmente:

- Fácil manejo.
- Trabajo en ambientes iluminados (lleva luz incorporada).
- Elimina problemas de posicionamiento o referencia.

El inconveniente principal es, como ya hemos dicho, el contacto directo con la obra.

En el segundo caso (a distancia), se precisa un tele-espectrocolorímetro. Esta técnica funciona cuando no se cumplen las condiciones mencionadas para el caso “por contacto” y presenta la ventaja de procurar siempre el máximo respeto por la obra al evitar contacto directo. Por el contrario, sus inconvenientes son precisamente las ventajas descritas en el primer caso.

#### 4.2.7. Pasos a seguir en la medición colorimétrica:

1. Preselección de los puntos muestra:

Se seleccionan los 7 colores básicos (siempre que la gama cromática de la pieza lo permita), de ellos, aquellos más cromáticos y dentro de éstos, claro, medio y oscuro.

Se eligen zonas uniformes y sin defectos de estrato pictórico.

Cada medición se repetirá al menos 3 veces, obteniendo un número de puntos muestra que viene condicionado por la riqueza figurativa de la obra y el tamaño de la misma.

Debido a la naturaleza del material estudiado (madera), este paso se realizó en base a los planos de corte de cada una de las muestras.

2. Selección definitiva de puntos muestra. Marcando con rotulador permanente en un acetato tanto los puntos como las líneas de referencia con la obra para evitar perdernos en futuras mediciones. Igualmente, en el caso que nos ocupa se utilizaron como referencia los planos de corte de cada muestra.

3. Referenciar también el acetato dentro de un diagrama del conjunto para una futura localización, lo que en nuestro caso se traduce con el esquema del retablo y la ubicación de los puntos de extracción de la muestra que se muestran más adelante.

4. Medición según las técnicas ya señaladas.
5. Volcado de los datos al ordenador y almacenaje de los mismos junto a una ficha técnica de la obra, fotografías, conjunto de acetatos, croquis de ubicación de los mismos.

Los datos colorimétricos obtenidos, se subdividirán en coordenadas cromáticas (CIEYxy, CIEL\*a\*b\* y CIEL\*C\*h°).

La razón que nos lleva al uso de tres sistemas de coordenadas se debe a que el CIEYxy nos da valores de estímulos físicos, los otros sistemas se extraen de este pero tras una serie de cálculos matemáticos que podrían no ser correctos (no uniformidad). El CIEL\*a\*b\* es uniforme o perceptivo, por lo que solventa el problema de no-uniformidad del anterior. Es idóneo para la medición de fuentes secundarias. Por último el CIEL\*C\*h° da la misma información que el CIEL\*a\*b\* pero expresada con coordenadas cilíndricas en vez de cartesianas.

Con el volcado, obtendremos además los datos espectrales de cada medición.

A raíz del procesado de todos estos datos con ayuda de un software que admita la lectura en formato de “hoja de cálculo”<sup>7</sup>, obtendremos las diferencias entre mediciones, las nominaciones cromáticas de cada valor numérico y los resultados y observaciones complementarias respectivos al Tono, Cromo y Claridad.

Por norma general, las mediciones serán realizadas antes de la intervención, durante el proceso de restauración, tras la intervención y después de un tiempo determinado (de seguimiento o monitorización). Para ello, serán imprescindibles el operador, instrumento, la elección del iluminante, observador y la opción con/sin brillo. Un área de medición, es decir, el diámetro de la zona que ponemos en contacto directo con la obra, y la fecha de la medición.

#### **4.2.8. Medida del color**

A continuación, se muestra un esquema-gráfico que ejemplifica y resume los conceptos desarrollados hasta este punto, ubica temporalmente los momentos claves en la historia de la medida del color y compara los diferentes instrumentos de medición utilizados hasta el momento.

---

<sup>7</sup> El software utilizado en este estudio fue el diseñado y comercializado por Microsoft como Microsoft Excel 2007, dentro del paquete Microsoft Office 2007.

**Cómo se llegó a su medida:**

**1. Cartas de colores**



**2. Sistemas de ordenación de colores**



**3. Colorímetros visuales**

**a. Aditivos**

Ventajas: permite obtener una gama continua de colores al poder variar con precisión las cantidades de los primarios.

Limitaciones:

1. Precisión limitada del juego de los 3 filtros
2. Variaciones según el observador
3. Con los filtros sólo podemos igualar los colores que estén incluidos dentro del triángulo que forman



**b. Sustractivos**

Ventaja: La igualación obtenida está mucho más cerca de la igualación de energía que la obtenida por otros medios

Inconvenientes: utiliza unos primarios concretos



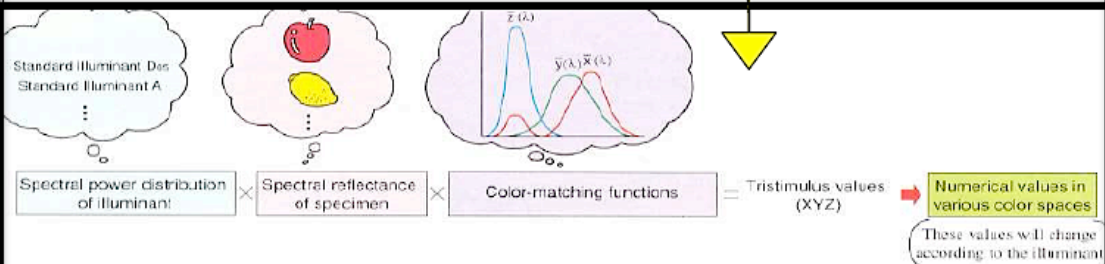
**4. Medidores no visuales (coordenadas y espacios cromáticos)**

**1. OBSERVADORES PATRÓN**

- a. 1931 (2°)
- b. 1964 (10°)

**2. ILUMINANTES PATRÓN**

- a. FUENTES A, B Y C (1931)
- b. FUENTES D55, D65 Y D75 (1956)



Espectrorradiómetros	Espectrofotómetros	Colorímetros de filtros triestímulos	Colorímetros de filtros
Determinan la distribución de la energía radiante espectral de una fuente cualquiera, para a partir de ésta, calcular sus coordenadas cromáticas	Mide los factores de reflectancia o transmitancia de un objeto. OBTIENE COORD. CROMÁTICAS CON EXACTITUD	Funciones de respuesta espectral directamente proporcionales a los coeficientes de distribución correspondientes al observador colorímetro de la CIE	Función de transmitancia resultante de la combinación de filtros coloreados junto con la función de respuesta de una fotocélula que imita una de las funciones de igualación de color CIE.
Imposible en muestras opacas	Compara para cada $\lambda$ la energía radiante incidente con la reflejada sobre el objeto	La obtención de los filtros es muy costosa.	Más sencillo de construir y por lo tanto más barato. OBTIENE DIFERENCIAS CON RESPECTO AL PATRÓN



A continuación, se detallan los espacios de color así como los datos relevantes utilizados en este estudio. Es importante tener en cuenta que para ello, nos hemos basado en los estudios aplicados a Patrimonio realizados por la Doctora Martínez Bazán durante la realización de su tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Valencia (MARTÍNEZ BAZÁN 1999).

El espacio de color empleado ha sido el perceptivo o uniforme CIEL\*a\*b\*, recomendado por la CIE en el estudio de fuentes secundarias, cuya claridad (L\*) está relacionada con la Y del sistema CIEYxy, yendo ambas de 0 (negro) a 100 (blanco), y cuyas coordenadas cromáticas a\* y b\* definen: el grado del tono (del verde al rojo, la a\* y del azul al amarillo, la b\*)

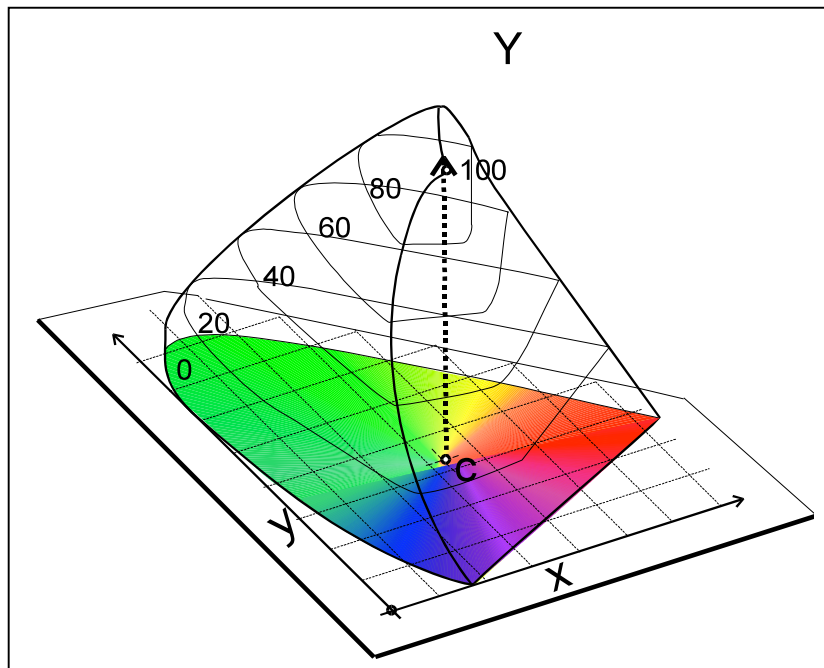


Ilustración 3. Proyección oblicua del espacio Yxy, mostrando los límites de las superficies y conteniendo los colores óptimos con la fuente C

El color neutro acromático está situado en el centro del diagrama y el aumento en los valores absolutos, positivo o negativo, de la a\* o de la b\* indica una mayor pureza de color.

A partir de estas coordenadas (a\* b\*) se calcula el Croma  $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$  y el Tono ( $H^\circ = \arctg b^*/a^*$ ), con lo que obtenemos los cinco parámetros que vamos a utilizar en la elaboración de los resultados.

#### 4.2.9. El léxico utilizado

En cuanto a la nominación cromática, se ha partido de los estudios realizados por María Luisa Martínez Bazán y Mariano Aguilar, que consiguieron organizar el desorden existente en el vocabulario a causa de la gran separación numérica existente entre pobreza lingüística y riqueza perceptual.

Por ello, se adoptaron las tablas de conversión léxica creadas por dichos autores (Anexo pg. 53-55).

Terminamos este capítulo de léxico llamando la atención al hecho de que generalmente se entiende por color el tono del mismo. Así decimos que el Arco Iris tiene 7 colores y la norma española 48, cuando en realidad deberíamos decir que el Arco Iris y la Norma Española cuentan con 7 y 48 tonos.

Esta simplificación, el sustituir el color por su atributo → tono, es consecuencia de las pocas palabras con las que, además de tono, podemos indicar al mismo tiempo una pureza o una claridad, medianas o malas<sup>8</sup>. Como ejemplo citaremos el rosa (tono rojo poco puro) y el marrón (tono naranja con poca claridad).

Una presentación al azar de varios cientos de muestras de color no proporcionaría prácticamente ayuda alguna. Las muestras deben clasificarse, bien en función de atributos fácilmente reconocibles (tono, saturación, claridad), bien en función de la proporción y modo en que los diferentes estímulos intervienen en su formación (contenido en blanco, contenido en negro, etc.), y ordenarse en una secuencia lógica que facilite la localización de un color particular.

Teniendo en cuenta estos parámetros localizaremos a las maderas dentro de los amarillo anaranjados para después poder establecer diferencias en cuanto a su claridad.

Por último diremos que conviene especificar las muestras de los atlas con las coordenadas cromáticas para tener un registro de las mismas, necesario en caso de que deban reproducirse por deterioro de las originales. Existen estudios colorimétricos de la madera recogidos en diversos atlas de color, pero todos ellos se basan o bien en una sola zona de la muestra (albura, duramen...) o bien en una sola especie arbórea.

#### 4.2.10. Magnitudes Psicométricas

Son magnitudes que permiten cuantificar las sensaciones (claridad, saturación y tono) partiendo de su representación en los espacios uniformes de color, entre los que destaca el CIELAB (1976), base de nuestras definiciones, del que ya hemos hablado en párrafos anteriores.

A) Claridad métrica: Símbolo L\*

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{para } Y/Y_n > 0.01 \quad (1)$$

Su unidad es 1 sin dimensiones, y puede variar desde 0 hasta 100, que es la claridad del blanco de referencia. Con  $Y/Y_n \leq 0.01$  la claridad se considera nula (negro).

En el lenguaje corriente, entre negro y blanco, vocablos con que se designan los valores extremos (0 y 100), la claridad recibe diferentes nombres, en función de los autores que la estudian.

<i>CLARIDADES</i>		
<b>L* = Claridad</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Orden</b>
86-100	Blanco	6
75-86	Muy claro	5
56-75	Claro	4
35-56	Medio	3
20-35	Oscuro	2
11-20	Muy oscuro	1
0-11	Negro	0

Recordamos que aunque según (1) L\* viene dada exclusivamente por un valor de Y, la sensación de claridad varía enormemente con las condiciones de la visión, principalmente de las condiciones del entorno.

<sup>8</sup> Cuando el color se representa por su tono, se supone que la pureza y claridad de los mismos son muy buenas.

B) Croma métrico: Símbolo  $C^*_{ab}$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

En lo que respecta al lenguaje, es prácticamente imposible presentar en una sola tabla una relación léxico-valor del croma, puesto que la cuantía perceptiva del croma varía mucho: con la luminancia, con el factor de Luminancia  $\beta$  y, sobre todo, con el tono, como puede verse en el diagrama CIELAB (1976), en donde un  $Cr=45$  en el amarillo, es un amarillo débil y un  $45$  en el azul es un azul puro.

La unidad es uno sin dimensiones y sus valores varían desde 0 hasta unos 100 para los más cromáticos (valores más puros). El croma percibido también depende de la naturaleza del entorno y del nivel de iluminación.

C) Tono métrico: Símbolo  $h_{ab}$

$$h_{ab} = \text{tg}^{-1} (b^*/a^*) = \text{actg} (b^*/a^*) \quad (3)$$

en donde:

$h_{ab}$	está entre	$0^\circ$ y $90^\circ$	si $b^*$ es positiva y $a^*$ positiva
$h_{ab}$	está entre	$90^\circ$ y $180^\circ$	si $b^*$ es positiva y $a^*$ negativa
$h_{ab}$	está entre	$180^\circ$ y $270^\circ$	si $b^*$ es negativa y $a^*$ negativa
$h_{ab}$	está entre	$270^\circ$ y $360^\circ$	si $b^*$ es negativa y $a^*$ positiva

El tono, como el resto de las percepciones, a pesar de su formulación, depende de las condiciones de visión.

#### 4.2.11. Luz incandescente, luz fluorescente

Como es bien sabido, el color de una fuente secundaria (muestra sin luz propia), depende del espectro mediado por la fuente que la ilumina.

En el ambiente normal que nos rodea las fuentes de iluminación son: bien, la luz natural, luz de día, reproducida en el laboratorio por la fuente patrón  $D_{65}$  ( $D=$  día,  $65=$  temperatura de color  $6.500^\circ\text{K}$ , equivalente a un blanco casi equienergético), o bien las lámparas incandescentes, con temperaturas de color más bajas (la lámpara de  $100\text{W}$  tiene una temperatura de color de  $2.860^\circ\text{K}$ , la misma que la lámpara patrón  $A$ ) y, por lo tanto, un espectro de emisión rico en las bajas longitudes de onda (amarillos, naranjas y rojizos) y pobre en las azules<sup>9</sup>.

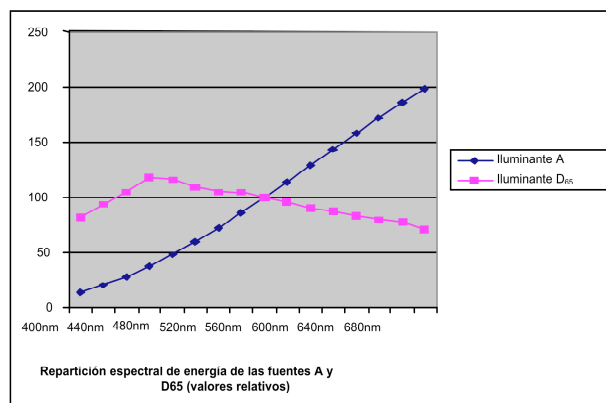


Gráfico 3. Distribución espectral de los iluminantes  $A$  y  $D_{65}$  (Publicación CIE, n° 15-2, 1986)

<sup>9</sup> Contrariamente a lo que la propaganda afirma no existen en el mercado lámparas fluorescentes cuyo espectro de emisión coincida exactamente con el de la luz del sol una vez atravesada la atmósfera, aunque bien es verdad que algunas lámparas se acercan bastante. Las lámparas halógenas, siguen emitiendo el espectro característico del tungsteno, ligeramente disminuido en el amarillo.

#### 4.2.12. El espectrofotómetro

El instrumento fundamental en la medida del color es el espectrofotómetro, puesto que su información respecto a la composición espectral, no solo es necesaria en la resolución de muchos problemas relacionados con el color (grado de metamerismo, naturaleza del pigmento, técnicas de protección y conservación, etc.), sino que además permite relacionar los resultados con especificaciones estándar de la CIE.

Aproximadamente 60 años atrás aparecieron en el mercado científico los espectrofotómetros fotoeléctricos, en los que las fotocélulas incorporadas cuantifican el color medido.

Los espectrofotómetros fotoeléctricos han desplazado a los visuales, que solo tienen razón de ser en los laboratorios de las Facultades y Escuelas especiales, pues, en el aspecto docente superan con mucho a los primeros, ya que con su práctica no solo se mide el color, sino que se incrementa el conocimiento sobre la actuación del ojo humano (influencia de la adaptación, tamaño, fatiga visual, tiempo de observación, etc.).

Aunque ambos sean buenos, en lo que respecta a la precisión de los resultados, se comprende fácilmente el desplazamiento de los visuales, por ser sus medidas más lentas y cansadas, teniendo un tope en el número de las que se pueden hacer en la misma sesión de trabajo.

Resumiendo, las potenciales ventajas de los espectrofotómetros fotoeléctricos son velocidad, comodidad, sensibilidad, precisión y repetibilidad.

La facilidad con que se pueden realizar estas medidas, sin necesidad de estropear la muestra analizada (bien por tratamientos químicos previos, por presión, torsiones o cambio de temperatura) ha colocado el color en uno de los primeros puestos en la escala de los métodos no destructivos, entre los que por derecho propio, ocupa el primer puesto el telecolorímetro, con el que ni siquiera se toca el objeto estudiado.

Para este estudio en concreto, se utilizó un espectrofotómetro de contacto Minolta 2600d (2), que resulta más preciso que un telecolorímetro, al proporcionarnos los espectros de cada color, y a la vez más fiable, por llevar incorporada la fuente de iluminación y carecer de los problemas inherentes a todo seguimiento a distancia (enfoque, orientación,...), pero de imposible aplicación cuando la obra es inaccesible.

#### 4.2.13. La colorimetría en maderas

En los últimos años se ha progresado en este campo, al analizar los cambios de coloración debidos al secado artificial (Charrier *et al.*, 1992; Loustarinen, 2001; Ananías *et al.*, 2003; Keey, 2005), valorar la apariencia visual de especies para uso sólido o determinar las propiedades ópticas más deseables para pulpa y papel (Nishino *et al.*, 2000; Unsal *et al.*, 2003; Mori *et al.*, 2004; Autran y González, 2006; Sotelo Montes *et al.*, 2008).

Las propiedades ópticas de la madera pueden modificarse según el sitio, el clon, el árbol y la posición dentro del individuo, por lo que resulta imprescindible conocer estos patrones de variación.

La colorimetría cuantitativa contribuye a describir el color de un material leñoso con todas sus peculiaridades, sin recurrir para ello a términos subjetivos e imprecisos, permite además definir y evaluar el valor estético que la madera presenta para el usuario, estudiar cambios por fotodegradación, mejorar la variabilidad del color en la madera y clasificar especies o piezas para, por ejemplo, seleccionar aquella cuya tonalidad se ajuste más adecuadamente a un ensamble o reintegración (Janin *et al.*, 2001; Keey, 2005).

El color natural de la madera depende de la edad del árbol, las características anatómicas del leño, la composición química de la pared celular y del plano de corte (transversal, radial o tangencial) expuesto. Puede cambiar debido a tratamientos térmicos, secado, exposición a la luz o humedad y ataque de microorganismos. El color está influenciado por factores genéticos y ambientales. Si bien hay pocos estudios sobre variación genética realizados, se la considera una característica con baja heredabilidad, controlada principalmente por factores ambientales. Es así que las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferencias en el color de la madera entre sitios de crecimiento (Sotelo Montes *et al.*, 2008).

La forma más completa y significativa para caracterizar la apariencia visual de un material es usar datos de color tridimensionales, aunque dentro de éstos, el parámetro “L” o Claridad, es una medida más simple y satisfactoria para especificar el punto final de un objetivo, por lo que tanto los valores cromáticos como los no cromáticos son necesarios para caracterizar completamente los cambios de color (Popson *et al.*, 1996).

El objetivo de este trabajo es conocer los patrones de variación del color y blancura. El conocimiento en el momento actual de las coordenadas cromáticas de la madera permitirá no solo reproducir en un tiempo futuro este color original en su limpieza, reintegración o cualquier otra medida de intervención sobre la obra, sino también, realizando medidas periódicas, conocer el grado y ritmo de deterioro cromático y, por lo tanto, indagar las causas que lo producen.

## 5. EL CASO CONCRETO DEL RETABLO DE SAN ANTONIO DE PADUA DE ESTILO TARDOMANIERISTA. PRIMER BARROCO. (1ª MITAD DEL S.XVII) DE LA HACIENDA PARTICULAR EL LAMERO, ORIGINAL DEL MUNICIPIO DE GARACHICO, TENERIFE

---

### 5.1. Introducción

Como ejemplo práctico de la metodología propuesta y descrita hasta ahora, se eligió el Retablo de San Antonio de Padua (1ª mitad del S. XVII) de la Hacienda particular El Lamero, original del municipio de Garachico, Tenerife.

Este retablo es actualmente objeto de estudio e intervención en el Taller de Restauración de La Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna, por lo que el acceso a las muestras y a la documentación fruto de los estudios y publicaciones realizadas por las profesoras Dácil de la Rosa y María de los Ángeles Tudela, resultó un apoyo fundamental para la puesta en marcha inicial.

### 5.2. Contexto histórico artístico

El Retablo de San Antonio del Lamero<sup>10</sup> está atribuido a Juan González Puga (PÉREZ MORERA 1994), natural de Bayona (Galicia), arquitecto, ensamblador, escultor, dorador y maestro carpintero y de lo blanco, de la primera mitad del siglo XVII.

Fue el último de los retablos que ejecutó, pues su trayectoria lo sitúa en el municipio tinerfeño de Garachico desde el año 1630 y lo hizo para la ermita de San Antonio de Padua, situada en la Hacienda del Lamero y edificada por don Alonso de Ponte Ximénez, hijo del capitán Juan Francisco Ximénez para quien Juan González Puga había realizado el retablo de la capilla de San Raimundo, en el convento de Santo Domingo.

La ermita, fue fundada el 22 de diciembre de 1633 (TAVÍO DE LEÓN 1993), albergando todo tipo de ornamentos y plata. Sin embargo, de aquel esplendor tan sólo quedan a día de hoy el artesonado y este retablo dedicado a San Antonio.

Así lo describe Pérez Morera (PÉREZ MORERA 1994):

*“Presenta un único cuerpo, dividido en tres hornacinas rectangulares o cajas por cuatro columnas entorchadas, que repite el mismo esquema arquitectónico y decorativo del primer cuerpo de los tres retablos de la Iglesia de Santa Ana procedentes del convento dominico<sup>11</sup>, labrados por Puga entre 1630 y 1635 aproximadamente. El friso está decorado con similares listeles a manera de triglifos, idénticos a los del retablo de la Virgen del Rosario de la Parroquia de Santa Ana y la predela aparece compartimentada también con recuadros para pinturas, aquí con ocho escenas de la Pasión de Cristo, algunas de ellas inspiradas en modelos del pintor flamenco Martín de Vos (1531-1603)...*

*...El frente de los pedestales de las columnas de los extremos está decorado con espejos elípticos que ostentan los escudos de armas de Don Alonso de Ponte Ximénez y su esposa, Doña Polonia de Guzmán y Castilla, señora en parte de la isla de La Gomera. No menos interesante es la bellísima decoración de los fondos de las hornacinas, ornados a base de rosales, exóticos pavos reales y pájaros de colores que picotean frutas maduras que penden de frondosos árboles, en alusión al jardín del paraíso. El nicho principal lo centra un hermoso jarrón, flanqueado por sendos árboles cargado de pájaros y frutos. De él surge un espléndido ramo de flores en el que se distinguen rosas, azucenas y clavellines. Su decoración, tomada del grutesco clásico, muestra cabeza de mascarón, sierpes a modo de asas, escamas y gallones”.*

---

10 Como lo denomina Pérez Morera, J.

11 Gracias a la ventajosa situación del convento dominico, emplazado en un extremo de la población, se salvaron milagrosamente de los efectos devastadores de la erupción volcánica de 1706 que destruyó el próspero puerto de Garachico y la Iglesia parroquial de Santa Ana.

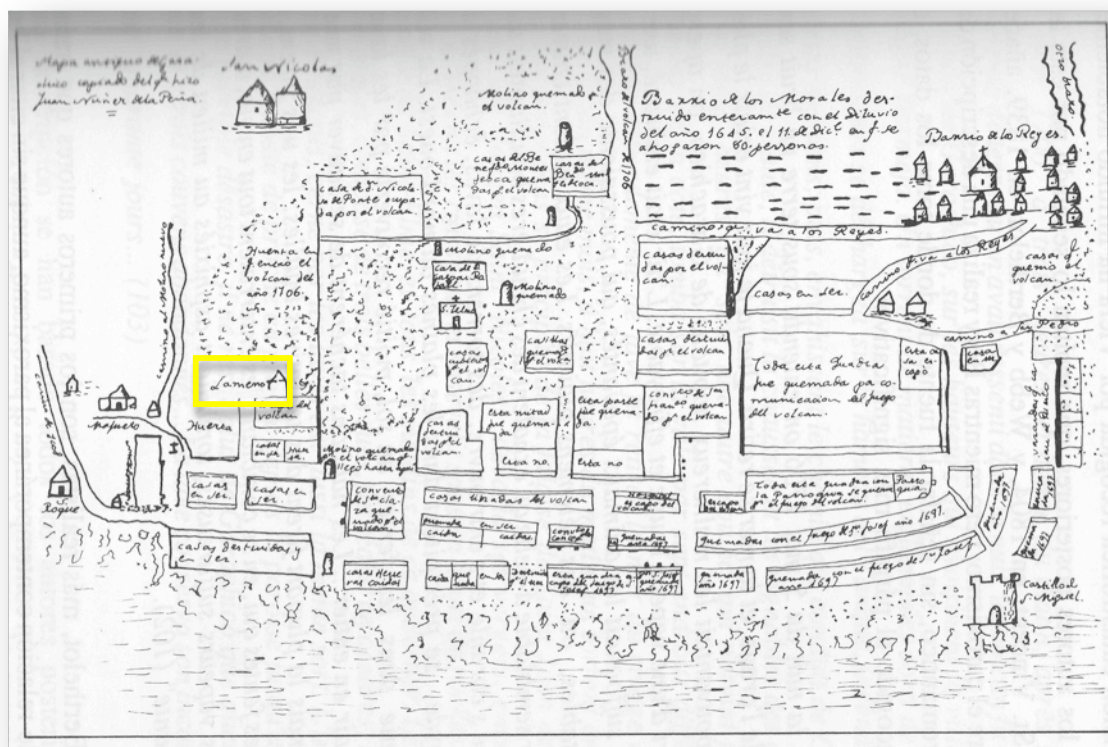


Ilustración 4. Reproducción del mapa realizado por Nuñez de la Peña sobre los daños ocasionados por las coladas de 1706 en la Villa de Garachico que Martínez de Fuentes recoge en su historia inédita de los volcanes canarios.

Como elemento característico de la mano de Puga, tanto los retablos de la parroquia de Santa Ana como el de La Hacienda El Lameru presentan soportes de tipo entorchado o columnas estriadas helicoidales, friso decorado por triglifos y eliminado en la parte central por el empuje de la hornacina principal. Datos fundamentales que serán valorados en este estudio para la extracción de las muestras oportunas.

### 5.3. Metodología. Selección de las muestras

Procurando siempre respetar la integridad de la obra objeto de estudio, la metodología de trabajo que se propone aquí, pretende una intervención mínima en todo momento. Es por ello que las técnicas elegidas para tal efecto (identificación macroscópica de especies y colorimetría) sean no destructivas.

Aún así, para realizar los análisis deseados, fue necesaria la extracción de muestras<sup>12</sup> debido a problemas geográficos, pues el retablo, como bien se ha dicho anteriormente, se encuentra en Santa Cruz de Tenerife, mientras que el espectrofotómetro, el personal docente de apoyo, así como el propio laboratorio de color y centro de estudios están ubicados en Valencia.

De forma excepcional, se optó por una extracción mínima y necesaria tanto para la identificación macroscópica como para la adquisición de los datos colorimétricos: un centímetro cúbico de material, en este caso, de madera.

Además, hay que tener en cuenta que el retablo ha sido ya objeto de estudios histórico artísticos, fitopatológicos (PRENDES AYALA 2006), taxonómicos y análisis estratigráficos<sup>13</sup> propios de las diferentes intervenciones que se han realizado a lo largo de los últimos años, por lo que, basándonos en éstos, podemos concretar las zonas de extracción y localizarlas en espacios aún no explorados.

Por todo lo anterior, se detallan las zonas de extracción (ilustración 5) y la justificación apropiada a cada una de ellas así como su estudio más detallado (Anexo pg. 40-51).

12 Técnica destructiva

13 Arte-Lab S.L. Fecha: 19/06/2006



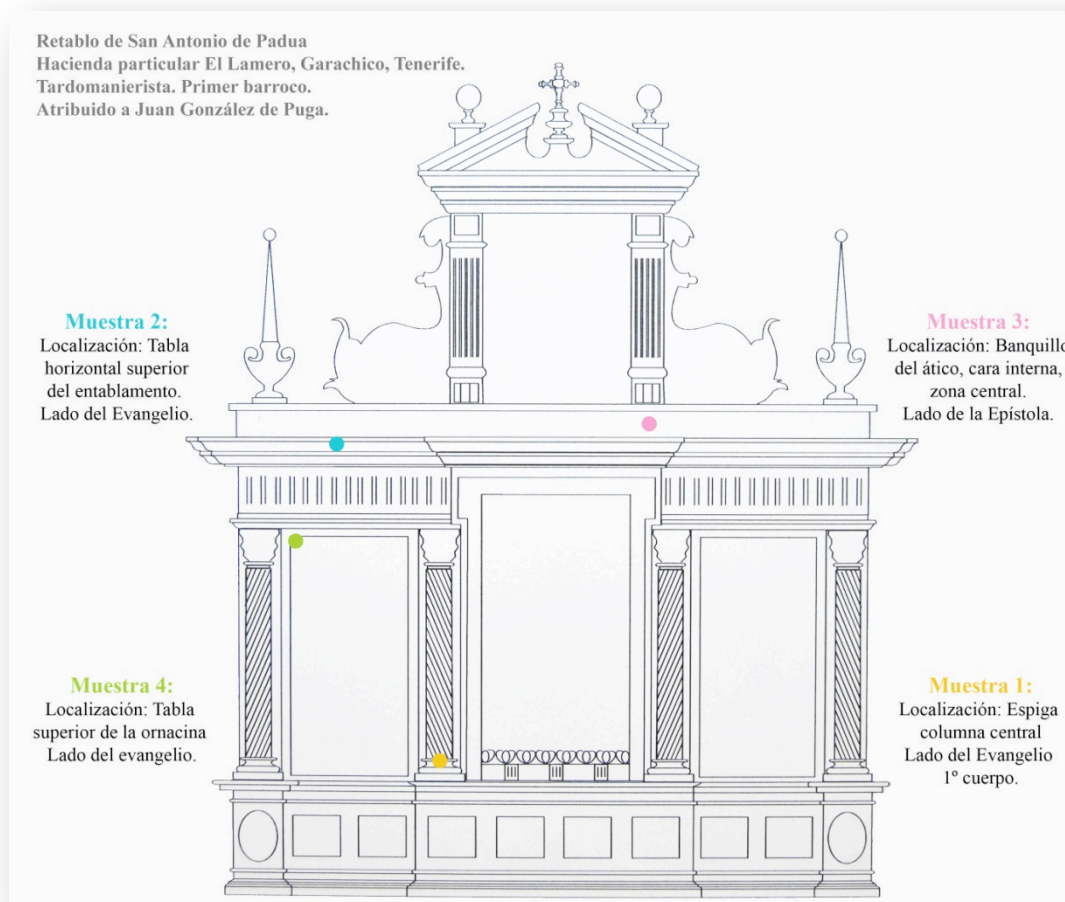


Ilustración 5. Esquema del Retablo de San Antonio de Padua. Cedido por el taller de Restauración de la Facultad de BBAA de la Universidad de La Laguna.

Se eligieron cuatro muestras de distintas zonas del retablo teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- accesibilidad
- interés de la zona seleccionada
- diferencias cromáticas y estructurales de la madera a simple vista

Las muestras 1, 3 y 4 se extrajeron con ayuda de una multiherramienta Dremel® 8000 10.8V Lithium-ion Cordless. Una vez separadas del original, se pulieron las zonas correspondientes al corte transversal con la misma multiherramienta, siendo muy útil ésta debido a la amplia gama de accesorios disponibles.

Una vez preparadas se trasladaron hasta la Universidad Politécnica de Valencia, donde se realizaron las primeras observaciones a nivel macroscópico con ayuda de una lupa de diez aumentos.

De la misma forma se observaron los diferentes planos de corte de cada una con ayuda de un microscopio digital USB PCE-MM 230 con aumento continuo 10x-60x, 230x, para la visualización en tiempo real o documentación en el ordenador. El aumento más adecuado para este tipo de observación se fijó entre 10x y 15x (Anexo pg. 40-51).

La ventaja de este microscopio o lupa de aumento digital es que no requiere extracción de muestra en un futuro, debido a la portabilidad y facilidad en su manejo, por lo que tendríamos la posibilidad de realizar análisis no destructivos.

Para el estudio colorimétrico se utilizó, como bien se ha especificado en el capítulo de colorimetría, un Espectrofotómetro Minolta CM-2600d (2) en condiciones de medida SCI/100 y SCE/100, iluminante D65, observador 10° y área de medición pequeña o SMALL.

En primer lugar se comprobó que el espectrofotómetro estuviera correctamente calibrado. Se realizaron varios disparos en cada uno de los planos de corte de cada muestra para una buena obtención de la media aritmética y desviación típica de los datos obtenidos (Anexo pg. 56-59).

Las mediciones, número de disparos y plano de corte con respecto a cada muestra pueden verse en la Plantilla de medición realizada para tal efecto (Anexo pg. 52).

#### **5.4. Introducción de los datos en la aplicación Google Docs para la elaboración de una base de datos georreferenciada *online***

Google Docs<sup>14</sup> y Hojas de cálculo, oficialmente Google Docs & Spreadsheets es un programa gratuito basado en Web para crear documentos en línea con la posibilidad de colaborar en grupo. Incluye un procesador de textos, una hoja de cálculo, programa de presentación básico y un editor de formularios destinados a encuestas.

Se pueden crear documentos de texto, dibujos, hojas de cálculo, presentaciones y bases de datos desde la misma aplicación o importarlos utilizando su interfaz Web, además de ofrecer la posibilidad de subir cualquier tipo de archivo. Los archivos se almacenan en los servidores de Google y pueden ser exportados en diversos formatos estándar o ser enviados por correo electrónico.

Durante la edición de los documentos, éstos se guardan automáticamente para evitar pérdida de información.

Otra característica importante es la posibilidad de colaboración de grupos de trabajo, además de poder compartirlos con múltiples usuarios al mismo tiempo.

Actualmente, es compatible con los navegadores más utilizados tanto de forma profesional como a nivel de usuario (Google Chrome, Mozilla Firefox, Internet Explorer, Opera y Safari).

##### **5.4.1. Acceso móvil**

Google Docs permite que los usuarios de telefonía móvil puedan navegar, ver y editar sus documentos.

##### **5.4.2. Limitaciones**

Existen ciertos límites al manejar documentos por cada cuenta de usuario. Los documentos de texto pueden tener hasta 500 KB más 2 MB para imágenes incrustadas. Cada hoja de cálculo puede tener hasta 10.000 filas, 256 columnas, 100.000 celdas y 40 hojas. Sólo pueden abrirse hasta 11 hojas al mismo tiempo.

##### **5.4.3. Aplicación directa**

A nivel profesional, resulta bastante interesante poder contar con toda aquella documentación creada por uno mismo en cualquier lugar con una simple conexión a Internet.

En este estudio, se hizo uso de la aplicación de Hoja de cálculo de Google Docs, para la elaboración de una base de datos *online* que recoja los análisis y estudios realizados a cada pieza. Con ello, se podrán determinar datos concretos sobre la distribución exacta de las maderas usadas en Patrimonio, tanto estadística como geográficamente, lo que convertirá el estudio en un punto de referencia para futuras consultas e intervenciones en este campo de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales y por qué no, en otros ámbitos.

Para el caso concreto del Retablo de San Antonio de Padua de la Hacienda particular El Lamero, se introdujeron los datos más relevantes de la ficha tipo creada para este estudio<sup>15</sup> en la Hoja de cálculo, que permite, a partir de una simple dirección de la ubicación de la pieza, introducir a modo de “gadchet” una imagen de la propia aplicación “Google maps”. Esta localiza geográficamente la misma y da la posibilidad de publicar los datos de forma abierta en red y por lo tanto accesible a todo el público que lo precisara.

---

<sup>14</sup> <http://docs.google.com/support/bin/topic.py?topic=15114>

<sup>15</sup> Anexo (pg. 40-51)

Objeto de estudio:	RETABLO DE SAN ANTONIO DE PADUA, HACIENDA PARTICULAR EL LAMERO, GARACHICO, TENERIFE.
Ubicación actual	Facultad de BBAA de la ULL.
Ubicación habitual	HACIENDA PARTICULAR EL LAMERO, GARACHICO, TENERIFE.
Muestra nº:	1
Lugar de extracción:	Espiga de la Columna central. Lado del Evangelio. 1º cuerpo.
Motivo de extracción:	la basa ya se encontraba separada de la columna y la espiga fragmentada, por lo que obligaba a restituirla para una óptima sujeción.
Nombre científico:	Quercus spp.
Familia Botánica:	Fagaceae
Nombre vulgar:	Roble
Distribución geográfica:	Existen limitaciones en la identificación macroscópica de los robles (Quercus sp.) donde muy raramente se llega a la especie con la descripción anatómica solamente, por lo que toda información sobre procedencia, nombre común, país o región geográfica es importante para la determinación. CARRERAS, R. Identificación de las principales maderas usadas en muebles de estilo.
Uso y características	Madera pesada, compacta y dura. Responde con elevadas deformaciones a los cambios de humedad. Degradación propia del secado, con tendencia a la aparición de fendas. Se encola con facilidad.

Ilustración 6. Ejemplo de la hoja de cálculo creada para el Retablo de San Antonio de Padua donde se aprecia la localización de la Hacienda de El Lamero en el municipio de Garachico, Tenerife.

Una vez sea aplicada la metodología que aquí se propone, podremos, como ya se ha mencionado, manejar datos relevantes de la cantidad y tipo de maderas usadas en Patrimonio en la isla de Tenerife, además de contar con información sobre su estado de conservación, gracias a los puntos de control colorimétricos. Complementariamente, se podrán deducir datos precisos sobre el porqué de la variación de la “L\*” o claridad en cada muestra en particular y pieza en general, basándonos en la distribución geográfica de las mismas, pues como es bien sabido, la isla de Tenerife, cuenta con microclimas propios de la altitud, orientación, etc. de cada municipio, que juegan un papel importante en el deterioro propio de cada material.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Resultados en la identificación macroscópica de maderas

Una vez estudiadas las características anatómicas de cada plano de corte se procedió a confirmar las especies aparentemente identificadas con ayuda de claves dicotómicas<sup>16</sup>, con lo que se concluyó:

Nº MUESTRA	Características anatómicas discernibles en el corte transversal	Características anatómicas discernibles en el corte tangencial	Características anatómicas discernibles en el corte radial	Familia, Nombre científico, Nombre vulgar
1	Poros que forman anillos concéntricos Porosidad anular. Radios muy gruesos.	Color variable desde pardo amarillento a oscuro, Textura gruesa, grano recto. Radios gruesos	-----	Fagaceae <i>Quercus spp.</i> Roble
2, 3 y 4	Anillos de crecimiento marcados. Canales resiníferos de primavera (madera temprana) de otoño (madera tardía) Radios: visibles, finos y de una sola talla	-----	Traqueidas. Radios homogéneos. Campo de cruce fenestriforme.	Pinaceae <i>Pinus spp.</i> Pino

### 6.2. Resultados colorimétricos:

1. Puede considerarse que todas las muestras analizadas se ubican dentro del cuadrante amarillo-rojizo del sistema CIEL\*a\*b\*, ya que, las coordenadas a\* y b\* resultaron siempre positivas.
2. Las medidas de b\* son, en todos los casos más altas que las de a\*, indicando la dominancia del color amarillo sobre el rojo.
3. Debe destacarse que las variaciones de a\* y b\* (tanto en SCI como SCE) son demasiado pequeñas para representar una modificación física real.
4. En general, el ojo humano es más sensible a las variaciones de L\* y blancura que a los cambios de matices indicados por a\* y b\*. Independientemente de su validez estadística, es difícil apreciar tales cambios de cromaticidad en las maderas, que resultan prácticamente imperceptibles al ojo humano. Sin embargo, los valores de L\* variaron dentro de un rango más amplio que los datos de las coordenadas cromáticas a\* y b\*. Por ello, puede establecerse el parámetro "L\*" o claridad como el criterio más importante, sobre todo a la hora de llevar a cabo un futuro control sobre la fotodegradación<sup>17</sup>.
5. Las curvas espectrales de reflectancia indican las características presentes en el momento de la medición en cuanto a luminosidad y tinte de la madera. En base a éstos, los futuros cambios de la profundidad de la reflectancia y forma del espectro se interpretarán como cambios en la claridad y en el tinte de la madera, respectivamente.

16 Gráficos 1 y 2 P<sup>o</sup>. 16 y 17

17 The color of wood showed different trends for the specimens with higher and lower lightness. We should therefore discuss wood color by categorizing wood specimens into high- and low-lightness groups. An excellent positive correlation was found between h and L\* throughout the range of L\*, which means that the lighter specimens tend to approach the b\* axis. It is thought that the value of h can be an important index, as can L\*, for comparing wood color because h shows a simple relation with L\*. (NISHINO et al. 1998).

## 7. CONCLUSIONES

---

### 7.1. Discusión

Este estudio partía de una idea inicial que pretendía demostrar que la espectrometría visible podía ser considerada como un elemento más, característico y a tener en cuenta en el proceso de identificación macroscópica de maderas.

Se intentaba por lo tanto un análisis no destructivo en todo momento.

Una vez se iniciaron los análisis y se procesaron los datos pertinentes se llegó a la conclusión de que los datos meramente externos propios del tono y croma no serían suficientes, pues no disponíamos de datos de referencia para establecer comparativas.

Revisada una bibliografía más extensa y propia de otros ámbitos de estudio, sobre todo aquella publicada por ingenieros de montes, biólogos y botánicos especialistas en determinadas especies, comprendimos que los estudios colorimétricos realizados por éstos expertos, se basaban en el estudio de una sola especie vegetal y se comparaban las variaciones que sufría la misma en base a su ubicación geográfica. Esto era debido, como se ha detallado anteriormente, a las propiedades del material lúneo y su color, que dependen de la edad del árbol, las características anatómicas del leño, la composición química de la pared celular y del plano de corte.

Una posibilidad válida sería obtener una muestra que denominaríamos “00” y que correspondería con la madera original sin tratar y recién extraída del propio árbol. Una segunda denominada “01”, que se obtendría de la misma forma que la “00” pero sería tratada en base a los procedimientos tradicionales de secado y preparación de maderas para su uso en Patrimonio. Y una tercera o muestra “02” sería la obtenida directamente de la pieza objeto de estudio, en este caso aquella procedente del Retablo de El Lamero. La comparativa entre los datos obtenidos por espectrometría visible de estas tres muestras nos aportarían datos relevantes sobre el cambio de tono, croma y claridad de cada especie.

El principal inconveniente de este método a seguir es que para la obtención de la primera muestra “00”, es necesario conocer género y especie vegetal, lo que precisa de un análisis microscópico de la muestra “02” que ya sería destructivo.

Para evitar ese efecto devastador en los bienes culturales que nos disponemos a estudiar y posiblemente intervenir, decidimos modificar el enfoque inicial y establecer las muestras “02” o propias de la pieza objeto de estudio<sup>18</sup> como puntos de control del estado de conservación de la misma. Esta segunda idea se fundamenta sobre todo en que tanto en la bibliografía consultada como en nuestros datos colorimétricos procesados se establecía la “L\*” o claridad como el parámetro más importante y el único en mostrar cambios aparentes dentro de una misma familia taxonómica.

### 7.2. Conclusiones finales

- 1.- Cuando no se disponen de datos de referencias para establecer estudios comparativos, los datos meramente externos propios del tono y croma no son suficientes en el análisis.
- 2.- Los datos obtenidos del estudio colorimétrico realizado por otros profesionales, no restauradores, están basados en el análisis de variaciones fisiológicas y corológicas de distribución de una misma especie en su ámbito geográfico, de utilidad en las ciencias biológicas, pero no en estudios de Patrimonio.
- 3.- Se propone una nueva metodología de identificación de los soportes lúneos de retablos, con un procedimiento no destructivo para la conservación del Patrimonio, estableciendo puntos de control en la propia pieza objeto de estudio.
- 4.- Los nuevos puntos de control podrán servir como patrón para el seguimiento y monitorización en los sucesivos procesos de restauración de las obras al disponer de una base de datos georreferenciada (=geolocalizada) en el espacio geográfico y en el tiempo cronológico.

---

<sup>18</sup> No debemos olvidar que aunque hablemos de muestra, ésta no debe de ser extraída del soporte y generar por ello un análisis destructivo.

5.- La base de datos geolocalizada contribuye a las nuevas tendencias globales del uso de las TIC de aplicación en la nueva sociedad de la información y del conocimiento, que respalda las transformaciones sociales, culturales y económicas en apoyo al desarrollo sostenible.

### **7.3. Propuesta metodológica definitiva: pasos a seguir.**

- Búsqueda de documentación relativa a la pieza objeto de estudio.
- Estudio del contexto histórico-artístico de la pieza.
- Revisión de posibles intervenciones anteriores en la misma.
- Selección de los puntos muestra para análisis.
- Definición de la orientación del punto muestra para comenzar con la observación macroscópica.
- Uso de las claves dicotómicas para identificar la familia taxonómica a la que pertenece la muestra.
- En este punto, se realizará una revisión completa del cuaderno de campo y se crearán las fichas correspondientes para cada punto muestra.
- Medición de los diferentes y posibles planos de corte de cada punto muestra con un espectrofotómetro.
- Adquisición y procesado de datos a través del software adecuado.
- Análisis de resultados y conclusiones al respecto.
- Nueva revisión de la información recavada e introducción de la misma en la base de datos virtual creada para tal efecto.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

- CARRERAS RIVERY, R. *Identificación microscópica de las principales maderas usadas en muebles de estilo*. La Habana: Asociación de las Artes Plásticas Unión Nacional de Escritores y Artistas de Cuba, 2008.
- CARRERAS RIVERY, R. *Manual para identificar con lente de aumentos las principales maderas usadas en el mobiliario antiguo español*. La Habana: Centro Nacional de conservación, restauración y museología, 1998.
- LINNEO, CV. *Species Plantarum: exhibentes plantas rite cognitae, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas...* 2 vols. Estocolmo: Impensis Laurentii Salvii, 1753.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. *Guía de identificación de CITES – Maderas tropicales: Guía de identificación de las maderas tropicales protegidas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres*. 1. Edited by Minister of Supply and Services. Vol. 1. Minister of Environment, 2002. ISBN: 0660617501
- FIGUEROA BARRETO, N.E. & MARTÍN DORTA, N. *Desarrollo de un Sistema de Información Geográfico para la gestión del alumbrado público de la zona centro del término municipal de Santa Cruz de Tenerife*. La Laguna, S/C de Tenerife: Proyecto Fin de Carrera de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial. Ingeniería Técnica de Obras Públicas: Hidrología. Universidad de La Laguna, 2010.
- GARCÍA ESTEBAN, L. & GUINDEO CASASÚS, A. *Anatomía de las maderas frondosas españolas*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM), 1990. ISBN: 8487381049
- GARCÍA ESTEBAN, L. *et al.* *Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nivel de especie*. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar: Mundi-Prensa, D.L., 2002.
- GARCÍA ESTEBAN, L. *Anatomía e identificación de las maderas de coníferas españolas*. Madrid: AITIM, 1988. ISBN: 8486793890
- GOOGLE. Google®. <http://docs.google.com/support/bin/topic.py?topic=15114> (accessed 2010-22 octubre).
- IZQUIERDO, I. *et al.* *Lista de especies silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres)*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, Gobierno de Canarias, 2004. ISBN: 8489729239
- JUDD, WS. *et al.* *Plant systematics: a phylogenetic approach*. 2ª edición. Sinauer Axxoc, 2002.
- MARTÍNEZ BAZÁN, ML. *Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración: curso Máster/Doctorado*. Valencia: UPV, 2007.
- MARTÍNEZ BAZÁN, ML. *Determinación de los colores existentes en la decoración al fresco, ejecutada por A. Palomino, en un fragmento de la nave central de la iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. Valencia: Tesis Doctoral. UPV, 1999.
- MOLINA, RT. <http://www.unex.es/polen/LHB/> (accessed 2010-18-julio).
- NISHINO, Y. *et al.* "Colorimetry of wood specimens from French Guiana." *J. Wood Sci*, 1998.
- OMARINI, S. *La diagnostica con i colori*. Roma: ENEA, 2003. ISBN: 8882860175
- PLAZA, L. *Sistema de ordenación de colores*. Madrid: Instituto de Óptica. CSIC, 1966.
- PÉREZ MORERA, J. *Juan González Puga y la Escuela Manierista de Garachico*. Garachico, S/C de Tenerife: Programa de Semana Santa. Ayto. Garachico, 1994.



PRENDES AYALA, C. & LORENZO BETHENCOURT, CM. *Informe fitopatológico del retablo de El Lamero*. Departamento de Biología Vegetal. Área de Fisiología Vegetal (Fitopatología), Universidad de La Laguna, ULL, 2006.

*Spermatophyta*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Spermatophyta> (accessed 2010-17-Julio).

STRASBURGER, E. *et al.* Tratado de Botánica. (35ªed). Omega. Barcelona, 2004. ISBN: 8428213534

TAVÍO DE LEÓN, MD. *La ermita de San Antonio de El Lamero en Garachico: Estudio histórico artístico*. Vol. 2. 2 vols. S/C de Tenerife: Strenae Emmanvelae Marrero Oblatae, 1993.

VILLEGAS, MS. *Colorimetría y blancura en madera de Salix*. JTP Dendrología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales . La Plata, Argentina, 2009.

VV.AA. *Indagini diagnostiche e tecniche di datazione per sculture lignee*. Roma: ENEA, 2003. ISSN: 03933016

WILLIS, KJ. & MCELWAIN, JC. *The evolution of plants*. Oxford: Oxford University Press, 2002. ISBN: 0198500653



## 9. AGRADECIMIENTOS

---

En primer lugar, a la Doctora Victoria Eugenia Martín Osorio y al Catedrático de Universidad, Profesor Emérito y Doctor Honoris Causa Wolfredo Wildpret de la Torre, por ser unos inmejorables referentes y tutores, tanto de este trabajo, como de mi vida. Sin vosotros, nada de esto tendría sentido y por supuesto no existen palabras suficientes para demostraros mi cariño y agradecimiento.

A mi tutora María Luisa Martínez Bazán, por mostrar un interés y una confianza sin límites desde el momento de la propuesta de este trabajo y permitirme colaborar junto a ella en los diferentes proyectos y publicaciones que han surgido a lo largo de este año. Espero que esto sólo sea el principio de una larga relación personal y académica.

A Dácil de la Rosa Vilar y María de los Ángeles Tudela Noguera, Profesoras de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de La Laguna, que me han transmitido su pasión por la conservación y restauración del Patrimonio y han estado disponibles en todo momento, siendo clave su trabajo y dedicación en el buen desarrollo de esta Tesis Final de Máster.

A título personal y académico, por su colaboración activa en este proyecto:

A Raquel Carreras Rivery, Profesora externa del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia.

Al Instituto de Restauración de Patrimonio y al Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia.

A la Xiloteca Manuel Soler.

A Manuel Costa Talens Catedrático de Botánica de la Universidad de Valencia.

A Tomás Emilio Díaz González Catedrático de Botánica de la Universidad de Oviedo.

A Norena Martín Dorta, Departamento de Expresión Gráfica en Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de La Laguna.

A mi familia; a todos y cada uno de sus componentes por su apoyo y confianza, y en especial a Pablo, que ha soportado los altibajos propios de un trabajo como este sin dejar de animarme a seguir adelante con mis objetivos en todo momento.

A mis compañeros y compañeras del Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia, por ser mi familia durante toda la estancia en esta sede.

## 10. ANEXO

---