



Ambiente

Protocolo para la
ESTANDARIZACIÓN de
la **TOMA DE MUESTRAS**
DE MADERA, como aporte
a las bases de datos
de aplicativos digitales
de **IDENTIFICACIÓN**
DE MADERAS



En alianza con:



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Protocolo para la estandarización de la toma de muestras de madera, como aporte a las bases de datos de aplicativos digitales de identificación de maderas

Autores:

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Esperanza N. Pulido Rodríguez
Docente investigadora

Juan F. Solórzano Gutiérrez
Ingeniero forestal - Investigador

René López Camacho
Docente investigador

Revisores:

Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Gina Liseth Martínez González
Jeimy Blanco Flórez

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Hofman Raúl Gaitán Mesa
Profesional especializado

WWF Colombia
Jofiana Herrera Montoya
Analista en la Legalidad de Recursos Naturales

Jofin Jairo Manrique
Especialista en Gestión Forestal Regenerativa

Lady Paz Quijano
Ingeniera forestal

Agradecimientos:

Felipe Ordóñez
Docente de la Universidad del Cauca

Edición

El Bando Creativo

Fotografías

Juan Felipe Solórzano G.

Diseño y diagramación

El Bando Creativo

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a toda la comunidad que nos acogió y brindó su valioso apoyo durante las labores y actividades de campo. En especial, queremos reconocer a la señora Flor Ángela Martínez, a la Asociación Usuarios del Bosque y a Hugo Carvajal, de la Mesa Forestal del Amazonas. Su colaboración fue fundamental para la exitosa elaboración del protocolo de toma de muestras de madera

ISBN impreso:

978-628-96330-6-1


ISBN digital:

978-628-96330-8-5



En alianza con:



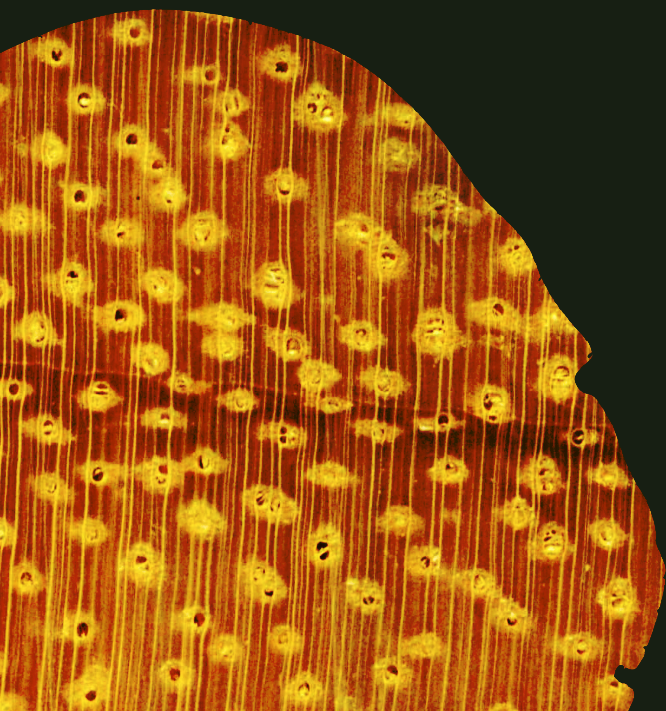
The background of the page features two circular cross-sections of wood. One is in the top right corner, showing a reddish-brown hue with a distinct circular knot. The other is in the bottom left corner, displaying a more natural wood grain with various shades of brown and tan. The text is centered on the left side of the page.

Protocolo para la
ESTANDARIZACIÓN de
la **TOMA DE MUESTRAS**
DE MADERA, como aporte
a las bases de datos
de aplicativos digitales
de **IDENTIFICACIÓN**
DE MADERAS

Este documento se realiza en el marco del proyecto “Institucionalidad y actualización de instrumentos normativos para la lucha contra la deforestación y los crímenes ambientales asociados”, implementado por WWF Colombia y financiado por el Fondo Colombia Sostenible (FCS), con recursos de los gobiernos de Noruega, Suecia y Suiza, y la administración fiduciaria del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Asimismo, contó con el respaldo de dos iniciativas previas: el proyecto “Fortalecimiento de la Gobernanza Forestal en Colombia”, también financiado por el FCS, y el proyecto “Alianza por la Fauna Silvestre y los Bosques”, implementado por Wildlife Conservation Society (WCS) y financiado por la Unión Europea.

El Fondo Colombia Sostenible y financiadores no se hacen responsables por el contenido ni por las opiniones expresadas en este documento.



Siglas y acrónimos

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
°C	Grados centígrados
CAV	Centro de Atención y Valoración
CCE	Coeficiente de categoría de especies
Cites	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
DAP	Diámetro a la altura del pecho
DwC	Estándar Darwin Core
FCS	Fondo Colombia Sostenible
IAvH	Instituto Alexander von Humboldt
ID	Identificador
MinAmbiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
RNC	Registro Nacional de Colecciones Biológicas
SUNL	Salvoconducto Único Nacional en Línea
UDBC	Universidad Distrital Bogotá Colombia
UITCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza (World Wildlife Fund)

Contenido

1



Prólogo 8

2



Glosario 10

3



Introducción 12

4



Generalidades 14

→ Definición de madera 16

→ Tejidos que componen la madera 17

→ Planos de estudio de la madera 18

5



Estandarización de toma de muestras de madera 22

→ Toma de muestras de árboles objeto de aprovechamiento 26

→ Toma de muestras de árboles caídos 30

→ Toma de muestras de árboles en pie - Núcleos de madera 33

→ Toma de muestras de ramas 40

→ Toma de muestras en depósitos de madera (talleres, carpinterías y CAV de flora) 48

→ Materiales y equipos necesarios para la colecta de especímenes 50

6



Lineamientos técnicos para la preparación de muestras y captura de imágenes 52

→ Recepción y acondicionamiento de las muestras en xilotecas 55

→ Preparación de muestras 58

→ Obtención de probetas 58

→ Proceso de cuarentena 66

→ Proceso de lijado 66

7



Referencias 74

1 Prólogo

En Colombia, el control y la vigilancia de la movilización de madera siguen siendo tareas complejas y urgentes. La institucionalidad ambiental enfrenta el desafío de fortalecer sus capacidades para garantizar que este recurso se utilice de forma legal y sostenible. En medio de esta tarea, la identificación de especies maderables se ha convertido en una pieza clave para mejorar la trazabilidad del recurso y tomar decisiones informadas.

Quienes trabajamos en este campo sabemos que identificar madera no es fácil, requiere conocimiento especializado, herramientas adecuadas y, sobre todo, acceso a información confiable. Por eso, consolidar una base de datos nacional de muestras de madera es una necesidad real y estratégica. Esta base no solo permitirá alimentar sistemas tecnológicos como Xylotron, Covima o Imaca, sino que también facilitará acciones concretas en el control del comercio ilegal y el fortalecimiento de los procesos de verificación en campo.

Pero este esfuerzo no puede ser asumido por unos pocos. Necesitamos que se sumen todos los actores que, por su trabajo, tienen la posibilidad de coleccionar muestras: autoridades ambientales regionales, productores forestales, universidades, centros de investigación, entre otros. Su participación será fundamental para contar con un banco de información que represente la diversidad de especies presentes en nuestros territorios.

Además de su utilidad para el control, esta base de datos será también un aporte importante para la ciencia y el conocimiento de nuestra biodiversidad. Disponer de registros biológicos bien documentados nos permite avanzar en investigaciones, comprender mejor nuestros ecosistemas y tomar decisiones basadas en evidencia.

Este protocolo es un primer paso. Aquí se definen los lineamientos técnicos necesarios para la toma y el procesamiento de muestras de madera, con el objetivo de asegurar que la información recolectada tenga calidad, consistencia y utilidad. Sin embargo, no basta con recolectar bien, es fundamental que esa información esté respaldada por un modelo de gobernanza que garantice su almacenamiento, gestión y uso responsable.

Por eso, este documento se complementa con el *Modelo de gobernanza de la información para aplicativos digitales de identificación de maderas* (López *et al.*, 2025), que establece cómo se debe organizar y custodiar esta información para que sea de acceso público, interoperable y útil tanto para el control como para la investigación.

Invitamos a todas las instituciones y personas interesadas a sumarse a este proceso colectivo. Solo así lograremos contar con herramientas sólidas para proteger nuestros bosques y avanzar hacia un manejo más transparente y sostenible de la madera en Colombia.





2 Glosario

Albura: Tejido xilemático más externo del tallo adulto. Está compuesta por un conjunto de tejidos activos o abiertos que conducen agua y nutrientes desde la raíz hasta la copa del árbol. Este tejido puede ser de tonalidades más claras que el duramen. Por su condición de permeabilidad y contacto externo, este tejido es susceptible al ataque de organismos biológicos.

Anillos de crecimiento: Círculos concéntricos que se observan en la sección transversal de la madera; representan el crecimiento anual diametral de las especies. Los anillos de crecimiento no están claramente diferenciados para todas las especies de los bosques tropicales.

Código: Numeración secuencial de colecta que proporciona información ordenada del espécimen —como procedencia, fecha y datos del colector—, la cual es coincidente con los *softwares* de manejo de la información biológica para su aplicación en la ciencia.

Colecta: Actividad de recolectar. Hace referencia al conjunto de ejemplares de una colección biológica, esenciales para el estudio y conocimiento de la biodiversidad para su conservación.

Contenido de humedad: Cantidad de agua presente en la madera en un momento determinado. Existen diferentes tipos de humedad: (a) en equilibrio, (b) en punto de saturación de las fibras, (c) libre y (d) máxima. Esta variable se expresa en porcentaje (%).

Contenido de humedad en equilibrio: Contenido de humedad de la madera cuando logra un equilibrio con las condiciones ambientales, determinadas por la humedad relativa y la temperatura.

Cuarto climático: Espacio cerrado, con condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y circulación de aire, lo que genera en la madera un contenido de humedad equilibrado con las condiciones ambientales establecidas.

Deformación: Cambios de las dimensiones de una pieza de madera, cuando se encuentra bajo la acción de una fuerza externa. Se expresa en unidades de longitud.



Densidad:	Magnitud física que mide la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen de un cuerpo o una sustancia. Para el estudio de la madera, se determina una densidad que se denomina densidad aparente, la cual evalúa la masa y el volumen de la madera a igual contenido de humedad (anhidro, seco al aire, verde). Se expresa en g/cm ³ .
Densidad básica:	Magnitud física que determina la cantidad de masa seca o anhidra contenida en la unidad de volumen de madera en estado verde. Se expresa en g/cm ³ .
Dimensionado de madera:	Corte de madera en sus dimensiones de longitud, ancho y alto, de acuerdo con los parámetros deseados.
Duramen:	Tejido inactivo de la madera, localizado en la parte interna del fuste o tallo adulto de una especie leñosa. Su función es de sostenimiento y resistencia. En algunas especies, el duramen es de color más oscuro, y presenta mayor resistencia y durabilidad frente al ataque de hongos e insectos. Su valor económico es mayor, por las propiedades de resistencia y carácter estético.
Espécimen:	Todo organismo de la diversidad biológica, vivo o muerto, o cualquiera de sus productos, partes o derivados (Decreto 1376 de 2013).
Extractivos:	Son los componentes químicos secundarios de la madera constituidos por sustancias orgánicas. Se pueden extraer de la madera, ya que no forman parte de su estructura química primaria. Entre estos elementos se encuentran: taninos, aceites volátiles, resinas, ácidos grasos, gomas, látex y alcaloides.
Parénquima:	Tejido que puede estar dispuesto en dirección longitudinal (formando el parénquima axial o longitudinal) o transversal (formando los radios medulares o radios xilemáticos). Sus células tienen forma isodiamétrica de pared celular delgada. En el plano transversal de la madera de las latifoliadas, se describe su disposición y arreglo en relación con los vasos, o si se encuentran dispuestos en forma de bandas.
Probeta:	Sólido de madera que se utiliza para ensayos de laboratorio o para almacenar en una colección biológica, bajo diferentes formas o dimensiones, dependiendo del tipo de colecta o del ensayo de laboratorio que se vaya a realizar bajo una norma técnica establecida.
Vaso:	Estructura multicelular formada por células imperforadas, denominadas segmentos vasculares, responsables de la conducción de agua y sales minerales en las especies latifoliadas o frondosas.

Introducción

Colombia es un país megadiverso, alberga una gran riqueza forestal, en donde la correcta identificación de sus maderas se constituye como un pilar fundamental para el manejo sostenible de este recurso. La explotación y comercialización de especies forestales maderables revisten una gran importancia económica, por lo cual, reconocer su estado de conservación es esencial. Según Botanic Gardens Conservation International, Colombia tiene 6.124 especies de árboles nativos, de los cuales, 1.127 son especies endémicas y 707 especies se encuentran amenazadas. El Instituto Humboldt, en su Reporte Bio 2020 (Morales y Gallego, 2021) indica que se han evaluado 1.254 especies de árboles y arbustos endémicos, de las cuales, 45 % se encuentran bajo un grado de amenaza, de acuerdo con la categorización establecida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), reiterando la necesidad de una gestión responsable de los bosques colombianos sobre la base del conocimiento de sus especies.

Ahora bien, el análisis detallado de las especies maderables que se están movilizando requiere estudios específicos que determinen, junto con los volúmenes de extracción y comercialización, las especies y su clasificación taxonómica. La construcción de herramientas eficientes para la identificación de maderas es fundamental para fortalecer las iniciativas de control en la comercialización y movilización de madera en el país. Estas herramientas no solo facilitan la identificación de las especies, para el cumplimiento de normativas y la trazabilidad del producto, también añaden valor a la cadena productiva. Al asegurar la correcta identificación de estas especies, se promueve la transparencia en el mercado y se combate el comercio ilegal.

La normatividad vigente en Colombia y los acuerdos internacionales, como los establecidos en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), demandan la acción irrestricta de los entes de control, con el fin de aplicar herramientas eficientes para el control del comercio ilegal de la madera, así como del control sobre las especies maderables provenientes de bosque natural. Por ejemplo, el Decreto 1390 de 2018, en el Anexo 1 “Coeficiente de categoría de especies (CCE) - Clasificación de especies forestales maderables”, establece que en el país se contabilizan 187 especies clasificadas como maderas muy especiales, y la Resolución 0126 de 2024 establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino-costera.

En este marco normativo y de control, la identificación de maderas en campo se constituye en un instrumento técnico clave para el control de la tala y el comercio de madera de origen ilegal. Esto permite adelantar procesos en el ámbito sancionatorio o penal ambiental, ya sea mediante la incautación de material sospechoso, o para la identificación de madera de origen ilegal, constituyéndose como apoyo a los entes de control (Dormont *et al.*, 2015). Estos procesos demandan la participación de técnicos, expertos en anatomía de maderas y el uso de herramientas especializadas (Ravindran *et al.*, 2018).

En Colombia, estos técnicos desarrollan sus actividades de identificación mediante el uso de fichas técnicas de las especies, para lo cual, el país ya cuenta con varias de estas (Arévalo y Londoño, 2005; Blanco, 2020; Guzmán, 2018; López y Cárdenas, 2002; López y Montero, 2005; López *et al.*, 2014; Pulido *et al.*, 2018; WWF, 2013), así como catálogos en línea y aplicativos para la identificación de maderas comerciales basados en el análisis anatómico de las maderas, como Xylotron, Covima e Imaca, entre otros.

La aplicación de estas herramientas se fundamenta en la información base generada a partir del desarrollo de datos de referencia. Esta información se utiliza para realizar comparaciones con las muestras desconocidas, y determinar si corresponde a la especie que está siendo movilizada. De ahí la importancia de construir una información de referencia confiable, con estándares científicos y técnicos que se fundamenten en un proceso de

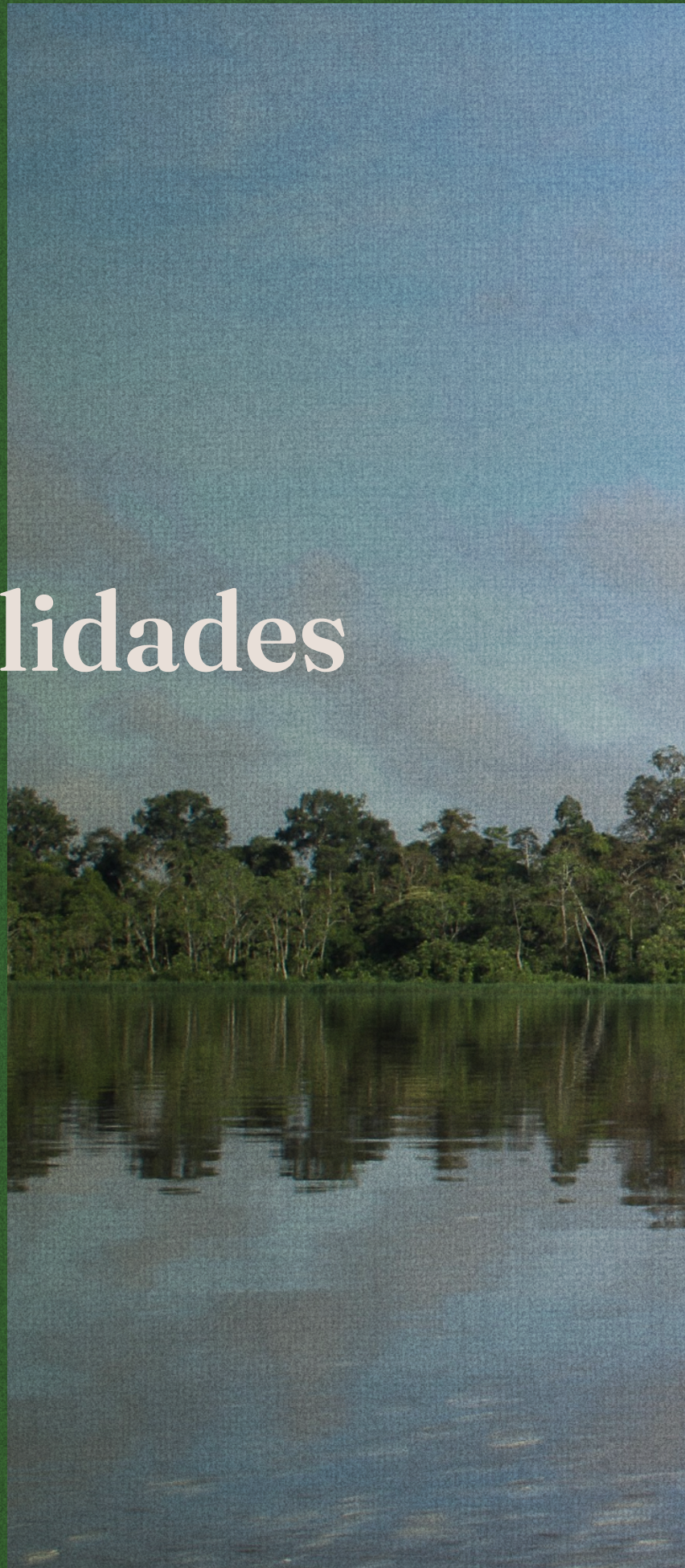
colecta, identificación, procesamiento y custodia del espécimen de referencia, para su aplicación en cualquier herramienta que tenga como propósito la identificación de maderas.

El presente protocolo es un instrumento técnico dirigido a las distintas instancias que desarrollan procesos de colecta de especímenes de madera, o que tienen el potencial para hacerlo, con el fin de consolidar una base de datos nacional de muestras de madera que contribuya al desarrollo de herramientas tecnológicas de apoyo en su identificación. Su estructura sencilla y esquemática facilita su aplicación en cada institución, promoviendo, además, que en su ejercicio cuenten con el apoyo de las colecciones biológicas, como importantes entidades en las que se documenta la biodiversidad para su conservación.

El presente protocolo es un instrumento técnico dirigido a las distintas instancias que desarrollan procesos de colecta de especímenes de madera, o que tienen el potencial para hacerlo, con el fin de consolidar una BASE DE DATOS NACIONAL DE MUESTRAS DE MADERA que contribuya al desarrollo de herramientas tecnológicas de apoyo en su identificación.

4 Generalidades

- Definición de madera
- Tejidos que componen la madera
- Planos de estudio de la madera





Definición de *madera*

La madera, también denominada xilema, es el tejido conductor de las plantas vasculares. Es el sistema de transporte de agua y sales minerales que controla la productividad y supervivencia de las especies leñosas (Brodibb, 2009). La madera está formada por un conjunto de células xilemáticas especializadas para cumplir funciones vitales para la planta. Los vasos y traqueidas son células conductoras responsables del transporte de agua y sales minerales (savia bruta), desde las raíces hasta las partes más altas de la planta. Las células de parénquima, por su parte, se encuentran ubicadas en dirección longitudinal (parénquima axial) y transversal (dirección médula-corteza) formando los radios medulares; este tejido tiene como función el almacenamiento de hidratos de carbono. Las fibras y las traqueidas son las células más abundantes del tejido xilemático y su función básica es la resistencia y para algunas especies, la conducción.

En la naturaleza, las plantas que producen madera se clasifican en dos grandes grupos:

Gimnospermas: Pertenecientes a la división Pinyophyta. Se caracterizan por desarrollar semillas descubiertas y hojas aciculadas en forma de aguja, como la mayoría de las especies del género *Pinus*, introducidas en Colombia para el establecimiento de plantaciones comerciales.

Angiospermas: Se caracterizan por desarrollar semillas recubiertas por un fruto; presentan hojas alargadas o latifoliadas y flores con pétalos vistosos. A este grupo pertenecen la mayoría de las especies de árboles de los bosques tropicales.

Estos dos grupos presentan diferencias tanto en sus estructuras morfológicas como en la estructura anatómica de sus maderas. Por un lado, la madera de las angiospermas es más evolucionada, posee células —denominadas elementos vasculares— que tienen la función de conducir agua desde las raíces hacia el resto de la planta. Las gimnospermas no poseen vasos, la función de conducción está a cargo de las traqueidas, que también tienen la función de sustentación del árbol. En la figura 1 se aprecia la diferencia en la estructura anatómica macroscópica de la rodaja de estas dos especies de madera.

Las células que componen el tejido xilemático están conformadas por una pared celular y un lumen o espacio interno poroso, lo cual le atribuye la estructura porosa, fibrosa y rígida a la madera.

En términos químicos, la madera es un compuesto tridimensional de biopolímeros, constituido por una estructura química principal de celulosa hemicelulosa y lignina, (Rowell *et al.*, 2005); contiene componentes secundarios o extractivos, como taninos, aceites volátiles, resinas, ácidos grasos, gomas, látex y alcaloides (Pereira *et al.*, 2003). La cantidad y forma de estos elementos secundarios están determinados tanto por factores propios de la especie como por factores extrínsecos o ambientales que definen las dinámicas de crecimiento y recursos disponibles para las plantas; además, les aportan características organolépticas y físicas particulares a las diferentes maderas.





Tejidos que componen la madera

La madera está compuesta por diversos tipos de tejidos que evidencian variaciones anatómicas dentro de un mismo árbol o especie leñosa.

Madera juvenil: Es el tejido que se produce cuando el árbol o especie leñosa está en su etapa de desarrollo juvenil.

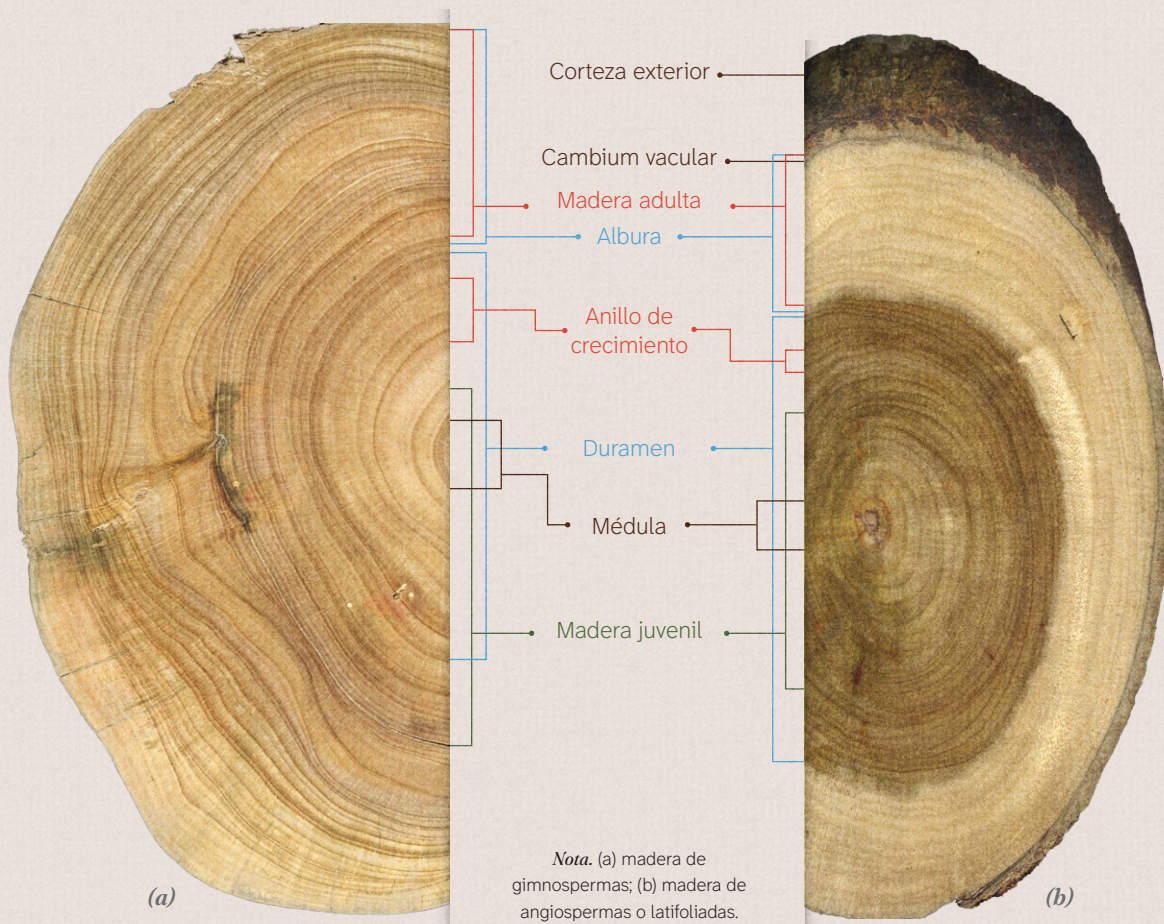
Madera madura: Se forma cuando el árbol se encuentra en edad adulta.

Madera temprana: Se forma cuando el crecimiento de la especie se ve favorecido por efecto de las condiciones ambientales.

Madera tardía: Se forma cuando los factores ambientales no son los más adecuados para el crecimiento de las especies (p. ej.: bajas temperaturas, disminución de la radiación solar, entre otros).

En la estructura del tallo adulto se diferencian, igualmente, los tejidos, resultado del efecto del proceso de maduración de la madera, es decir, la formación y presencia de duramen. Asimismo, en algunas especies se forman anillos de crecimiento que se ven como círculos concéntricos en una rodaja o sección transversal del fuste. Estos anillos delimitan las zonas del crecimiento, determinado por periodos que pueden ser anuales o vegetativos (Carlquist, 2012) (Figura 1).

Figura 1. Estructura de dos rodajas de madera





Planos de estudio de la madera

El reconocimiento de la estructura anatómica de la madera se realiza sobre tres planos de estudio ortogonales entre sí:

Plano transversal: Se obtiene realizando un corte transversal al eje del fuste, rama o raíz, cortando todos los elementos que crecen longitudinalmente. La identificación del plano transversal se relaciona con una rodaja obtenida del fuste o tronco (*Figura 2*). Este plano es reconocido como el de mayor uso con propósitos de identificación de maderas, porque en él se reconocen estructuras macroscópicas y anatómicas, como anillos de crecimiento, presencia de albura y duramen, porosidad, caracterización de poros, contenidos, formas de parénquima axial y tamaño de radios, lo cual permite clasificar y diferenciar grupos de especies.

Plano radial: Se obtiene cuando el corte longitudinal (paralelo al grano o hilo de la madera, en el sentido del crecimiento longitudinal de los elementos anatómicos), pasa por la médula y sigue un radio xilemático.

Plano tangencial: Se obtiene con un corte longitudinal al radio que contiene el anillo de crecimiento, la circunferencia o rodaja de madera.

Los planos longitudinales son importantes para describir las características físicas, como la orientación del grano, el lustre, el diseño y figura de la madera.

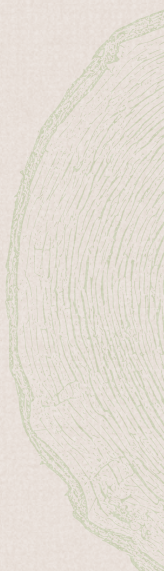




Figura 2. Formas de obtención de los planos de estudio de la madera



Nota. (a) Plano transversal - Tr,
(b) plano radial - Rd,
(c) plano tangencial - Tg.

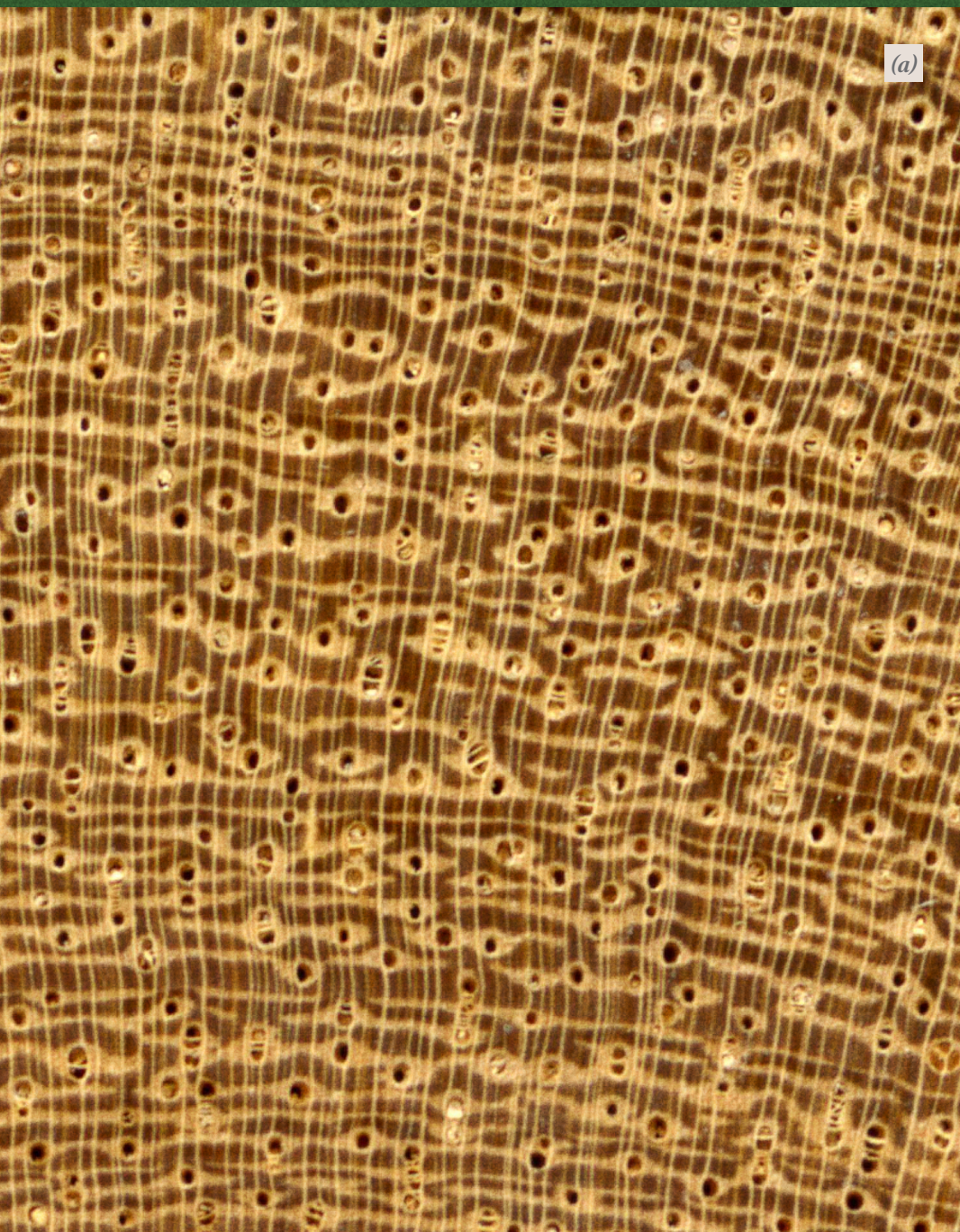


Figura 3. Madera de *Hymenolobium cf. petraeum* Ducke

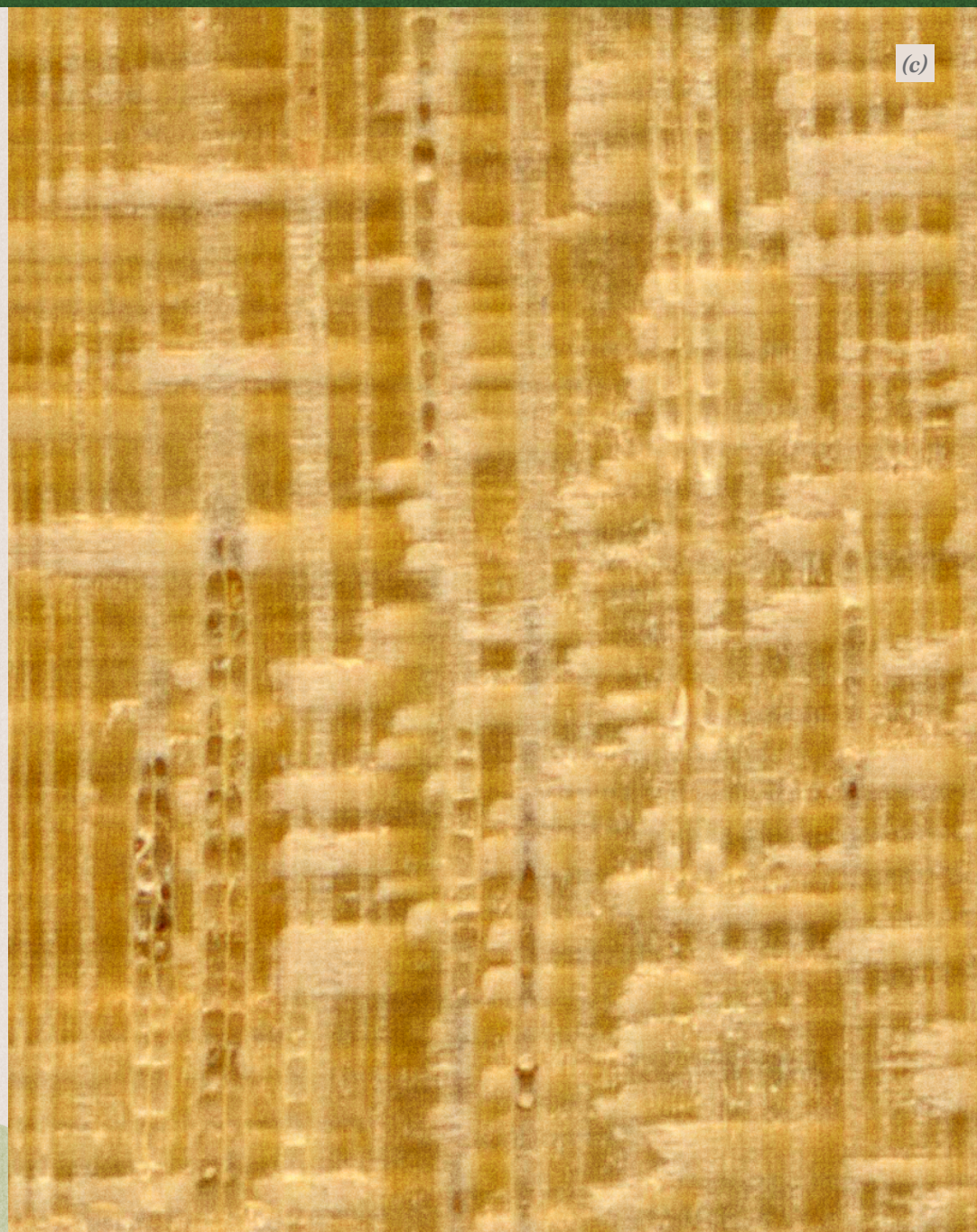
La orientación de los planos de estudio es fundamental para identificar cada una de las estructuras anatómicas de la madera. De acuerdo con el plano de estudio, las estructuras de los tejidos que componen la madera se ven de manera diferente:

Los vasos, principales elementos conductores en las latifoliadas, se ven como tal en los planos radial y tangencial, y como poros, en el plano transversal.

Los radios se observan como líneas paralelas en el plano transversal, y en el plano tangencial, como líneas cortas y delgadas o secciones del radio, mientras que en el plano radial, estos se observan como bandas horizontales lustrosas. Estas características son propias o diferenciables para cada especie (*Figura 3*).



(b)



(c)

La orientación de los **PLANOS DE ESTUDIO** es fundamental para identificar cada una de las estructuras anatómicas de la madera.

Nota. (a) Plano transversal, (b) plano tangencial, (c) plano radial.
Fuente: Colección de maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Xiloteca UDBC. No. 3452.

5 Estandarización de toma de muestras de madera

- Toma de muestras de árboles objeto de aprovechamiento
- Toma de muestras de árboles caídos
- Toma de muestras de árboles en pie - Núcleos de madera
- Toma de muestras de ramas
- Toma de muestras en depósitos de madera (talleres, carpinterías y CAV de flora)
- Materiales y equipos necesarios para la colecta de especímenes





La **identificación de las especies** se define como el proceso mediante el cual se clasifican las plantas dentro de un grupo de organismos o taxón (categoría de clasificación) con características semejantes, determinadas y estudiadas científicamente. Esta clasificación se realiza de manera ordenada y jerárquica, designando características de los taxones de orden jerárquico superior al taxón designado (Espinoza de Pernía y Quintero, 1988, citado en León y Espinoza de Pernía, 2001). **La identificación de la madera** se integra a los procesos de identificación de las especies, aportando a su conocimiento a partir del estudio de sus estructuras anatómicas (Detienne, 1988). Esta identificación es reconocida mediante una nomenclatura botánica compuesta por un **género**, un **epíteto específico** y un autor, determinando así la categoría taxonómica fundamental de la identificación, que es la **especie**. Como ejemplo, la especie *Cariniana pyriformis* Miers pertenece al género *Cariniana*, al epíteto específico *pyriformis*, y al autor Miers, quien la describió por primera vez en 1874. Esta especie, que pertenece a la familia Lecythidaceae, es muy valorizada y se comercializa con el nombre común de abarco, entre otros nombres comunes según la región de procedencia.

En la actualidad se cuenta con varios procesos para la identificación de la madera, como son los trazadores moleculares, isótopos estables, espectrometría de masas, espectroscopia de radiación infrarroja cercana (NIR) y análisis anatómicos. Si se integran entre ellos, resulta un importante aporte a la identificación de la especie (origen botánico) y procedencia (origen geográfico) de la mayoría de los tipos de madera (Schmitz *et al.*, 2020).

En particular, los análisis anatómicos se fundamentan en la generación de modelos para el procesamiento de imágenes de los diferentes planos de estudio de la madera (tangencial, radial y transversal). Estos modelos permiten comparar muestras nuevas con las imágenes de referencia, facilitando así la identificación de la especie de la madera (Schmitz *et al.*, 2020).

Con este propósito, se realiza la colecta de material botánico y de madera para su disposición y manejo en colecciones biológicas, como herbarios y xilotecas, en donde los especímenes se conservan debidamente curados y sistematizados, dispuestos para consulta y uso por parte de la comunidad

científica, académica, de instituciones encargadas del control en el manejo de la biodiversidad, entidades del Estado y público en general.

La colecta de material vegetal, ya sea muestra botánica o de madera, por lo general, se hace, principalmente, en bosque natural, plantaciones, sistemas agroforestales, bosques urbanos, jardines de conservación y árboles aislados. El material botánico, en lo posible, debe contener flores y frutos. En caso de no contar con estas estructuras morfológicas, la muestra se considera no fértil, por lo cual, se recomienda utilizar muestras de referencia para la clasificación botánica, identificando caracteres similares o morfotipos, para lograr una aproximación a familia, género o especie.

Ahora bien, **la colecta de muestras de madera se utiliza para realizar la descripción anatómica de la especie**, mediante la identificación y clasificación de las estructuras celulares que componen el tejido xilemático. La relación de la anatomía con los aspectos filogenéticos de la especie contribuye con los sistemas de clasificación de las plantas a nivel genérico para cada grupo de estudio (León y Espinoza de Pernía, 2001). Aquí no se contemplan los aspectos fisiológicos, debido a que el crecimiento de las especies está claramente determinado por factores ambientales, los cuales pueden generar algunas variaciones de las estructuras anatómicas del xilema, como tejido funcional.

Las características anatómicas del xilema son numerosas y, en ocasiones, se refieren a detalles muy específicos o a patrones anatómicos (Wheeler *et al.*, 1989), demandando procesos de precisión para analizar un conjunto de imágenes de muestras de madera, con alta resolución, para su aplicación en la ciencia y en el desarrollo de proyectos tecnológicos, como los sistemas para el análisis automatizado de imágenes, entre otros (Arx *et al.*, 2016).

Cuando los estudios anatómicos se realizan en la **escala macroscópica**, se trabaja con muestras de sólidos de madera, y cuando es en la **escala microscópica**, su descripción se basa en tejidos traslúcidos de madera, lo cual requiere el uso de equipos de microscopía para la identificación de sus células, disposición, tamaño y modificaciones de sus paredes celulares. Aunque en la escala macroscópica se trabaja con menos caracteres, es



importante su estudio y desarrollo, porque es en esta escala donde se hacen las verificaciones en campo, ya sea en puestos de control, en depósitos, en zonas de embarque de la madera o en los sitios de aprovechamiento, y es allí donde estas nuevas tecnologías para la identificación de maderas tienen un alto potencial de aplicación y desarrollo.

En este contexto, cuando se realiza el control en una muestra desconocida, es necesario verificar sus características anatómicas clave, para poder hacer la observación y comparación con las muestras de referencia. Por ello, la **estandarización en la toma y el procesamiento de muestras de maderas** se constituye en un proceso fundamental para garantizar la calidad de la información utilizada en los análisis de datos y en la construcción de modelos anatómicos, tanto a escala macroscópica como microscópica. Esta estandarización permite asegurar que las características anatómicas clave de las muestras puedan ser observadas y comparadas con imágenes de referencia, lo cual resulta esencial para identificar especies, especialmente en contextos de control y verificación en campo.

El presente protocolo establece las especificaciones técnicas para la recolección y procesamiento de muestras, así como para la captura de imágenes de referencia, como insumo para herramientas de análisis anatómico de maderas basadas en procesamiento de imágenes. Estas herramientas incluyen aplicaciones como Covima (del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]), Imaca (desarrollado por la Universidad del Cauca) y Xylotron (modelo de visión computarizada implementado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con el apoyo de WWF, la Universidad de Wisconsin y el Servicio Forestal de los Estados Unidos). Todas estas iniciativas, al igual que otras, que no se mencionan aquí, requieren de una información de referencia verídica y confiable para su implementación y desarrollo, cuya calidad depende directamente de la correcta estandarización en la toma de muestras.

Además de aportar a los procesos de identificación, este protocolo permite definir criterios que posibilitan la comparabilidad de los resultados generados por las distintas tecnologías desarrolladas para el análisis anatómico de la madera. La existencia

de un estándar común mejora la interoperabilidad entre sistemas y fortalece la confiabilidad de los diagnósticos realizados.

Según la tecnología utilizada, los sistemas de identificación pueden requerir muestras de maderas de diferentes tamaños y/o escalas. No obstante, todas deben ser colectadas y procesadas de manera estandarizada, para asegurar una correcta identificación de los caracteres anatómicos, que son los que van a definir el éxito de la herramienta para la identificación de maderas. Estos estándares deben aplicarse independientemente del origen de las muestras, ya sea que se recolecten de árboles en pie, árboles caídos o árboles objeto de aprovechamiento en campo, como se mencionó anteriormente, o de bloques de madera localizados en depósitos, talleres o carpinterías.



Toma de muestras de árboles *objeto de aprovechamiento*

Cuando se toman muestras de madera de árboles producto de aprovechamiento forestal, también se debe tomar una muestra botánica fértil, en lo posible, debido a que, por lo general, se evita el aprovechamiento de árboles en floración y/o fructificación, porque el alto contenido de humedad y azúcares en estos estados fenológicos, afectan la calidad de la madera, haciéndola más susceptible a plagas, hongos y/o deformaciones durante el proceso de secado. Por otro lado, los tiempos entre el apeo del árbol y la toma de la muestra deben ser cortos para no afectar la calidad de las muestras. Ahora bien, la muestra botánica debe ser procesada e identificada en un herbario acreditado ante el Registro Nacional de Colecciones Biológicas (RNC). La muestra de madera debe contar con su respaldo botánico depositado en un herbario, con la siguiente información de referencia, la cual ingresará a una xiloteca acreditada ante el RNC:

- ▶ Fecha de colecta
- ▶ Lugar de colecta (departamento, ciudad, municipio, vereda, predio)
- ▶ Elevación (msnm)
- ▶ Coordenadas
- ▶ Colector principal y colector secundario
- ▶ Especie (nombre científico, nombre común, familia)

Esta información queda registrada en el metadato asociado a cada espécimen, como se especifica en el documento *Modelo de gobernanza de la información a utilizar en aplicativos digitales de identificación de maderas* (López et al., 2025).

La toma de muestras botánicas se realiza siguiendo los pasos de la guía para la recolección y

preservación de muestras botánicas en campo establecida por el herbario a cargo de su procesamiento. Como ejemplo, se cita la guía del Herbario Forestal “Gilberto Emilio Mahecha”, en donde se describen las fases de recolección de las muestras en campo, el prensado y alcoholizado de las muestras en el campamento y la elaboración de las etiquetas.

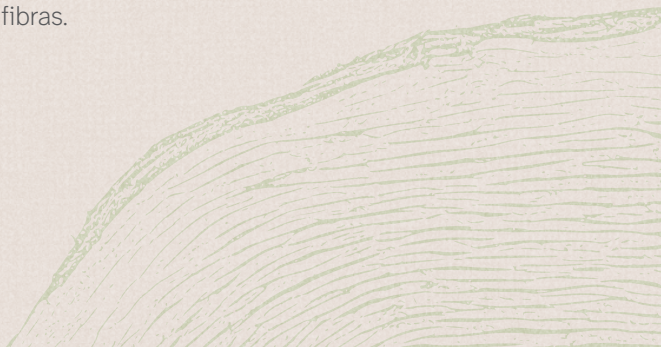
En cuanto a los especímenes de madera, es fundamental considerar que este tejido presenta variaciones anatómicas entre individuos de una misma especie y dentro del individuo, de acuerdo con la localización de la muestra colectada, ya que esta varía según su localización en dirección transversal (dirección médula-corteza), y en dirección longitudinal (dirección raíz-copa) (Pérez-Olvera et al., 2005).

Para incluir todas las posibles variaciones anatómicas presentes en la madera entre especies y entre individuos (Igartua, 2013), se tomarán muestras de un número de individuos establecido de acuerdo con la oferta de individuos que haya de cada especie, con factores de crecimiento homogéneos. El muestreo dentro del individuo se realiza siguiendo una trazabilidad homogénea y marcación a lo largo del fuste y de los radios medulares (*Figura 4*). El número de individuos colectados puede disminuir cuando no se presentan diferencias significativas en los caracteres anatómicos de las muestras colectadas.

Este tipo de muestreo (dentro de un mismo individuo) consiste en definir diferentes alturas en el fuste. Se recomienda tomar, como mínimo, 4 muestras en los siguientes puntos: altura del pecho (DAP), equivalente a 1,3 m, el 30 %, 50 % y 70 % de la altura comercial. La trazabilidad para la obtención de las muestras de maderas se puede observar en la figura 5.

Las muestras son rodajas de madera con diámetro y forma correspondientes al fuste, definido por las diferentes alturas del árbol. Las rodajas deben contar con una longitud mínima de 15 cm, para asegurar probetas de tamaños proporcionados que permitan observar:

- ▶ Caracteres estructurales, como albura, duramen y anillos de crecimiento.
- ▶ Caracteres anatómicos, como vasos, parénquima, radios y fibras.

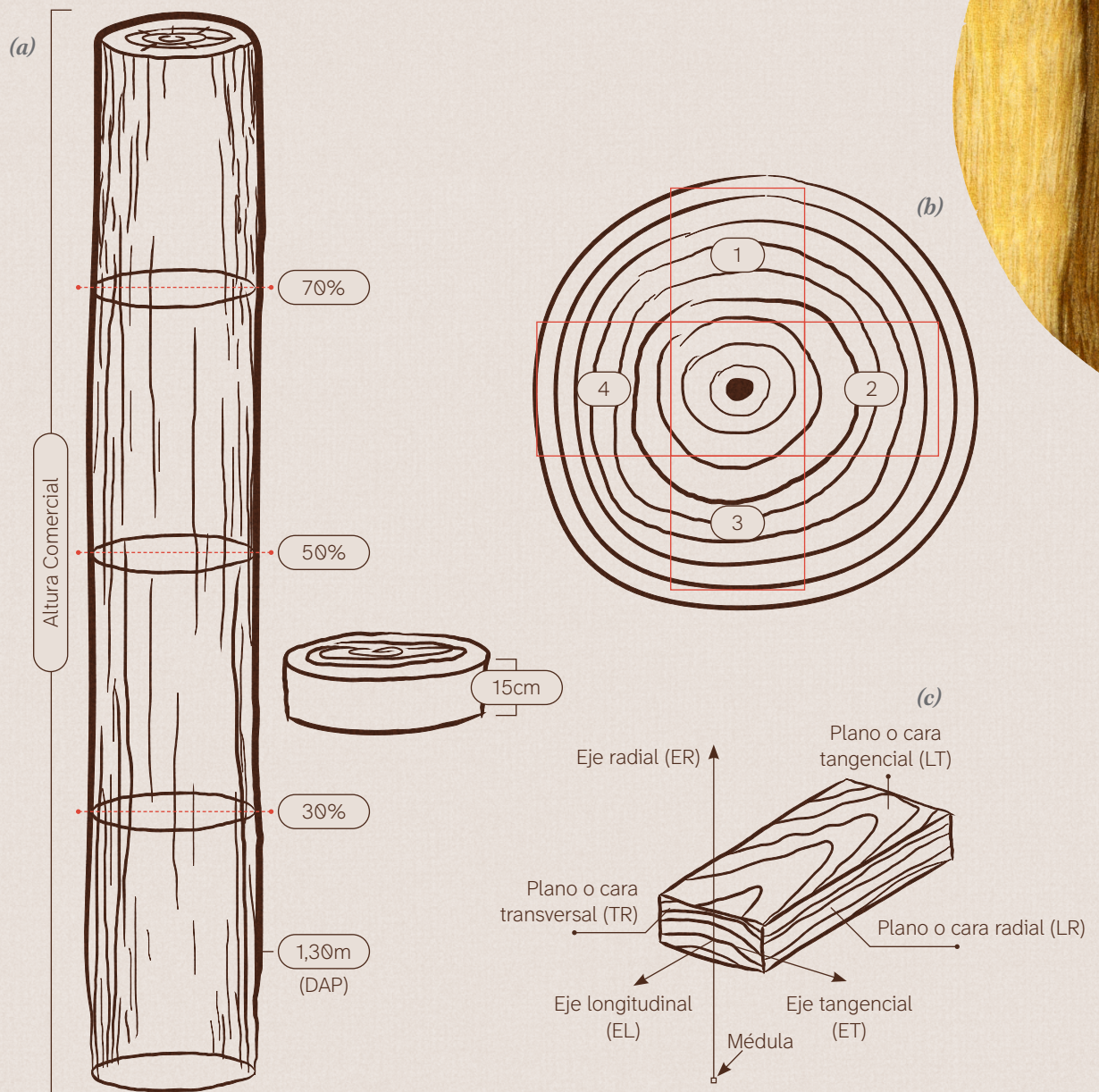




- Caracteres físicos, definidos por las propiedades organolépticas y físicas de la madera, al igual que la orientación del grano y los diseños en la madera.

Estas muestras de madera deben estar completamente libres de defectos que puedan afectar la calidad de la muestra, como hongos, bacterias o insectos.

Figura 4. Muestras de madera



Nota. (a) Esquema de la toma de muestras a lo largo de la altura comercial; (b) partes de rodajas donde puede tomar muestras de madera orientadas; (c) orientación de los planos de estudio de la madera. Fuente: Pérez-Olvera *et al.* (2005).



Figura 5. Registro fotográfico del procedimiento de toma de muestras de madera en las rodajas

Nota. (a) Marcación de las alturas donde se van a obtener las rodajas; (b) corte de rodajas de 10 cm a 15 cm de altura; (c) esquema con trazos radiales, para tomar las muestras de madera en las rodajas; (d) muestras de madera, con su respectivo etiquetado y código de seguimiento.



Toma de muestras de árboles caídos

Se puede presentar el escenario en donde los árboles se encuentran caídos, de donde se pueden obtener muestras de madera; sin embargo, se debe tener en cuenta el estado fitosanitario de la madera, ya que su caída pudo deberse a:

- ▶ Descomposición
- ▶ Procesos naturales (como vientos)
- ▶ La caída de otros árboles

En este proceso es necesario contar con elementos en campo que permitan la identificación de la especie, como corteza, forma del fuste, frutos y hojas en descomposición. Asociada a esta descripción morfológica, se realiza la evaluación anatómica exploratoria de la madera, con ayuda de bisturíes y lupas de campo. Esta información se registra en un formato para la identificación del respectivo proyecto e ingreso a la colección biológica correspondiente. Además, se debe incorporar otra información, como:

- ▶ Ubicación del individuo caído
- ▶ Ubicación geográfica (coordenadas, municipio, vereda)
- ▶ Nombres comunes de la especie
- ▶ Hojas que puedan dar algún tipo de información y lograr una aproximación a la determinación de la especie (si es posible).

Estos datos deben corresponder con la información colectada cuando se toman muestras de árboles cosechados.

Si la muestra no está asociada a un espécimen botánico, se dificulta notablemente la identificación de la especie, así que es indispensable que las muestras de madera sean enviadas a una xiloteca para ser analizadas, determinadas y clasificadas mediante la aplicación de técnicas macroscópicas y microscópicas. Su determinación debe estar acreditada por expertos vinculados a estas colecciones biológicas.

La obtención de la muestra de madera en campo, al igual que para los árboles aprovechados, este proceso se realiza dentro de un mismo individuo, en el que se definen diferentes longitudes del fuste, para tomar, como mínimo, 4 muestras: a 1,3 m (DAP), 30 %, 50 % y 70 % de la longitud comercial del fuste.

La trazabilidad para la obtención de las muestras de madera a partir de rodajas, se observa en la figura 6. Las piezas de madera provenientes de estas rodajas se muestran, en el orden propuesto, en la figura 7. El trabajo de verificación de la información del árbol caído se registra en la imagen de campo presentada en la figura 8.

Si la muestra NO ESTÁ ASOCIADA A UN ESPÉCIMEN BOTÁNICO, se dificulta notablemente la identificación de la especie, así que es indispensable que las muestras de madera sean enviadas a una xiloteca para ser analizadas, determinadas y clasificadas mediante la aplicación de técnicas macroscópicas y microscópicas.





Figura 6. Trazado de muestras de madera, obtenidas en un árbol caído y hueco

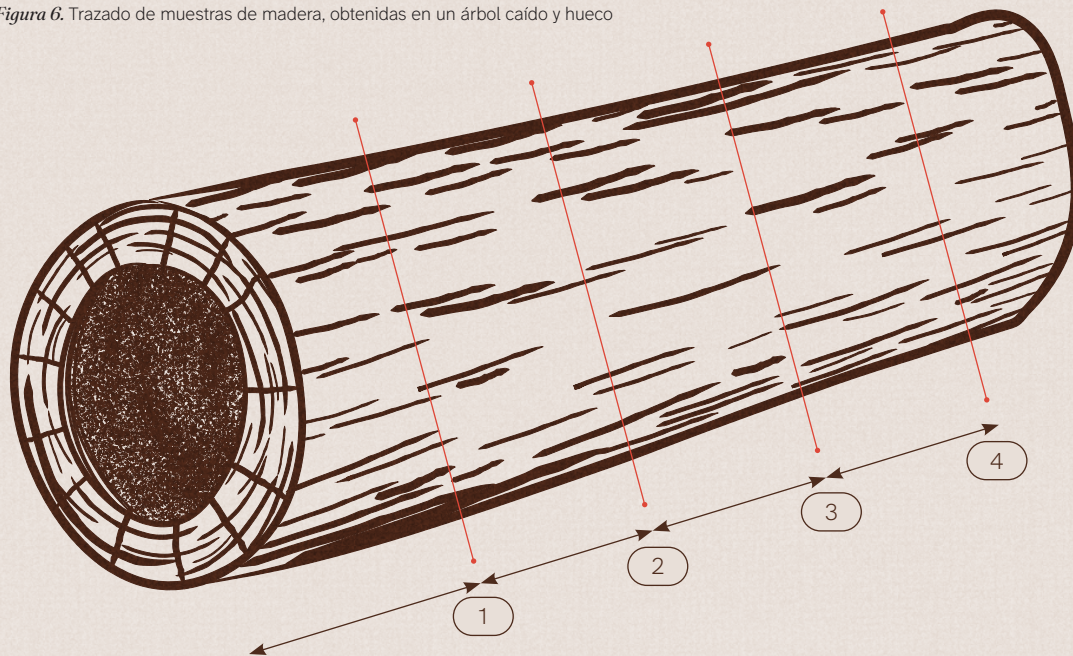
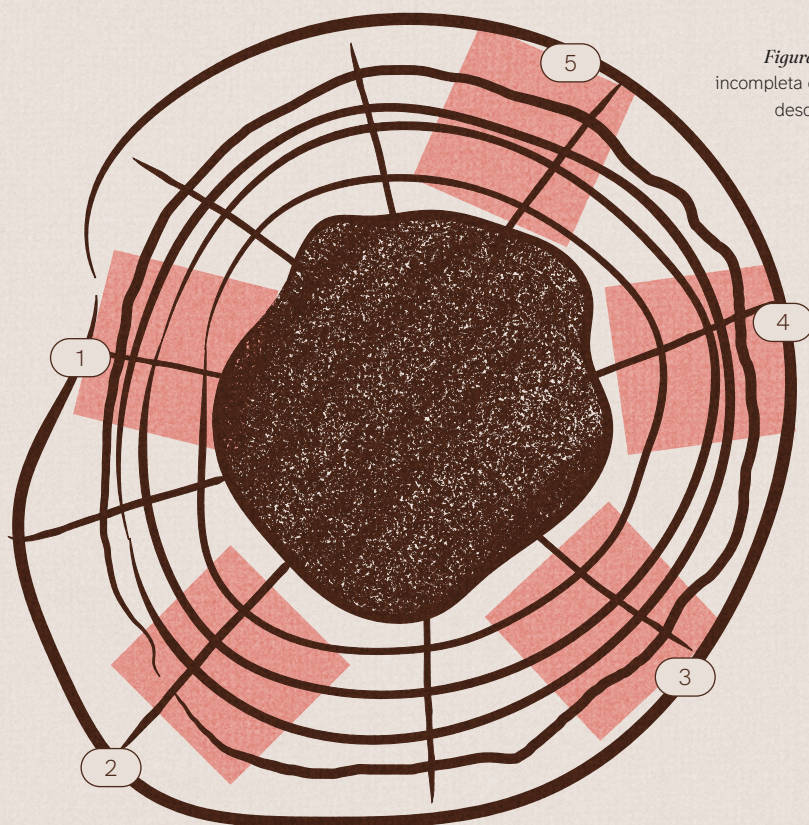


Figura 7. Rodaja incompleta con centro descompuesto



Nota. Esta rodaja indica sitios de toma de muestras (1, 2, 3, 4, 5). La cantidad y el tamaño están definidos por el diámetro, estado fitosanitario y volumen de afectación de la rodaja.

Figura 8. Verificación de árbol caído para determinar la especie y viabilidad de toma de muestras





Toma de muestras de árboles en pie - *Núcleos de madera*

La obtención de muestras de madera del árbol en pie permite una mayor precisión en la identificación de la especie, porque con ella se puede coleccionar el espécimen botánico del individuo de donde se toma la muestra, al igual que en los árboles objeto de aprovechamiento.

Este procedimiento se realiza con el barreno Pressler, el cual se ha utilizado para estudios dendrocronológicos y funcionales, principalmente. El barreno debe contar con buen filo de corte, para evitar dañar la muestra por fisuras o rompimiento del tejido (Arx *et al.*, 2016; Gutiérrez y Ricker, 2013).

Las muestras obtenidas con estos barrenos se denominan núcleos de madera, los cuales deben tener una correcta identificación mediante códigos que asocien la información a la especie y registrarla en el metadato asociado a cada espécimen, como se especifica en el documento *Modelo de gobernanza de la información a utilizar en aplicativos digitales de identificación de maderas* (López *et al.*, 2025).

Ahora bien, el procedimiento para tomar la muestra con el barreno consiste en colocar el barreno a una altura DAP (1,30 cm), con una orientación radial exacta, dirigida desde la corteza hacia la médula, cuidando siempre de no perder esta orientación en el núcleo de madera coleccionado, y en dirección perpendicular a la orientación longitudinal del tejido fibroso, también denominado grano o hilo de la madera. El barreno siempre debe tener una disposición fija (*Figura 9*).

Figura 9. Obtención de núcleos de madera con barrenos de incremento, a la altura del DAP

(a)





Nota: (a) Gutiérrez y Ricker (2014); (b) Laboratorio de maderas UDBC.

Los barrenos cuentan con una longitud y un diámetro estándar. Los diámetros de los núcleos más recomendados para realizar estudios anatómicos de la madera son de 10 mm a 20 mm, aunque se conocen experiencias, como en Costa Rica (Mata-Montero et al., 2020), que trabajan con barrenos de diámetros de 25 mm; las longitudes del núcleo, por su parte, siempre se van a ajustar a la longitud del barreno.

Cuando se colecta este tipo de muestra se debe evitar cualquier daño al árbol; por lo que, se recomienda aplicar sistemas de recuperación de las heridas que se puedan generar en el fuste, mediante el uso de cicatrizantes o pastas de viruta y fungicida. El producto debe ser adherente e impermeable, de tal forma que cubra las heridas y evite el ingreso de agentes patógenos externos que puedan afectar la sanidad del árbol.

Con respecto a la marcación, embalaje y transporte del material colectado por medio de barrenos, se debe tener en cuenta que los núcleos de madera obtenidos son frágiles y se pueden romper con facilidad. Para la marcación, se puede utilizar un marcador de tinta indeleble, y cinta de enmascarar, para colocar el código de identificación del núcleo de madera (Figura 10 a). Existen dos formas de transportar estos núcleos de madera, dependiendo del proceso y tratamiento que requieran:

Medio seco: Consiste en el uso de bandejas de madera elaboradas con canaletas, con una

profundidad superior o igual al diámetro del núcleo de madera (Figura 10 b). Estos núcleos deben quedar dispuestos de manera fija a la bandeja, para evitar deformaciones durante el proceso de pérdida de humedad de la madera. Igualmente, se debe tener la precaución de colocarlas siempre en ambientes aireados y frescos, para evitar la propagación de hongos, ya que con este método, las maderas quedan expuestas a ambientes húmedos en presencia de oxígeno, condiciones que favorecen la reproducción de hongos.

Medio húmedo: Consiste en transportar los núcleos de madera dentro de un pitillo, pajilla o popote plástico debidamente codificado, dentro de un contenedor, botella o recipiente plástico con tapa, lleno de agua para proteger la madera de posibles afectaciones físicas o de la propagación de hongos. Este proceso garantiza la conservación de los núcleos de madera durante largos periodos (Figura 10 c, d).

Estas dos formas de transporte permiten el seguimiento riguroso a las muestras y que se conserven en buenas condiciones hasta que lleguen al sitio de procesamiento. Ya en su destino, se debe garantizar su conservación, eliminando cualquier contenido de humedad que puedan presentar; esto se realiza de manera gradual, con el objetivo de no generar grietas en las muestras. Posteriormente, las muestras pueden ser lijadas y utilizadas para la captura de imágenes.

Figura 10. Núcleos de madera





b



c



d



Nota: (a) Núcleos de madera con códigos escritos con marcadores de tinta indeleble y cinta de enmascarar; (b) embalaje de núcleos de madera seca dispuestos en bandejas; (c) embalaje de núcleos de madera en medio húmedo envase de vidrio; (d) embalaje de núcleos de madera en medio húmedo envase de plástico.

Debido a que las estructuras anatómicas de la madera se ven diferentes según el plano de estudio que se esté trabajando, en un núcleo de madera se deben identificar estas secciones o planos de estudio, para no generar confusiones al momento de la caracterización anatómica de la madera, y así lograr una mejor orientación de las imágenes que se van a procesar.

El corte transversal se hace de manera tangencial, horizontal y paralela al centro del núcleo; el plano tangencial es el que se obtiene en la sección circular del cilindro o núcleo, y el plano radial se obtiene realizando un corte central y vertical a lo largo del núcleo (*Figura 11*).

La colecta del núcleo debe tener su referente botánico, para la identificación de la especie.





Figura 11. Núcleos de madera en donde se identifican los planos de estudio de la madera, indicando cómo se observan las estructuras anatómicas en cada uno de ellos

Toma de muestras de ramas


El estudio anatómico de la madera en ramas requiere la colecta de ramas de diferentes diámetros y longitudes, según la herramienta que se va a utilizar para su identificación. La rama, dependiendo del diámetro, se corta con tijera de poda, motosierra o con serrucho curvo, sin dejar tocones ni material desgarrado en el árbol. La rama se dispone en una bolsa ziploc (bolsa de autocierre) con agua, para su conservación, o en un contenedor de madera con separadores que permitan la circulación de aire entre las ramas, para inducir el secado natural y evitar el deterioro por agentes patógenos (Figura 12). Su conservación se debe mantener hasta llegar al laboratorio, para su procesamiento y descripción. Es importante que la herida o tejido expuesto causado por la poda de la rama se proteja con una pasta cicatrizante.



Figura 12. Obtención de muestras de madera de ramas

Nota: (a) Selección y corte de ramas de menor diámetro; (b) retiro de corteza de la rama; (c) disposición de rama en bolsa ziploc con agua para su conservación; d) almacenamiento de muestra de madera en contenedor.





La colecta de la rama debe tener su referente botánico, para la identificación de la especie.

En cuanto a la selección de las ramas para la toma de imágenes que contribuyan a la identificación de maderas, es importante tener en cuenta:

- ▶ **La sanidad de las ramas:** Sin signos de enfermedad, plagas o daños físicos.
- ▶ **El tamaño de la rama:** Las ramas deben ser de un grosor y longitud apropiados para el análisis. Estas se tomarán de primero y segundo orden (Figura 13), buscando tener muestras con las siguientes dimensiones (Figura 14):

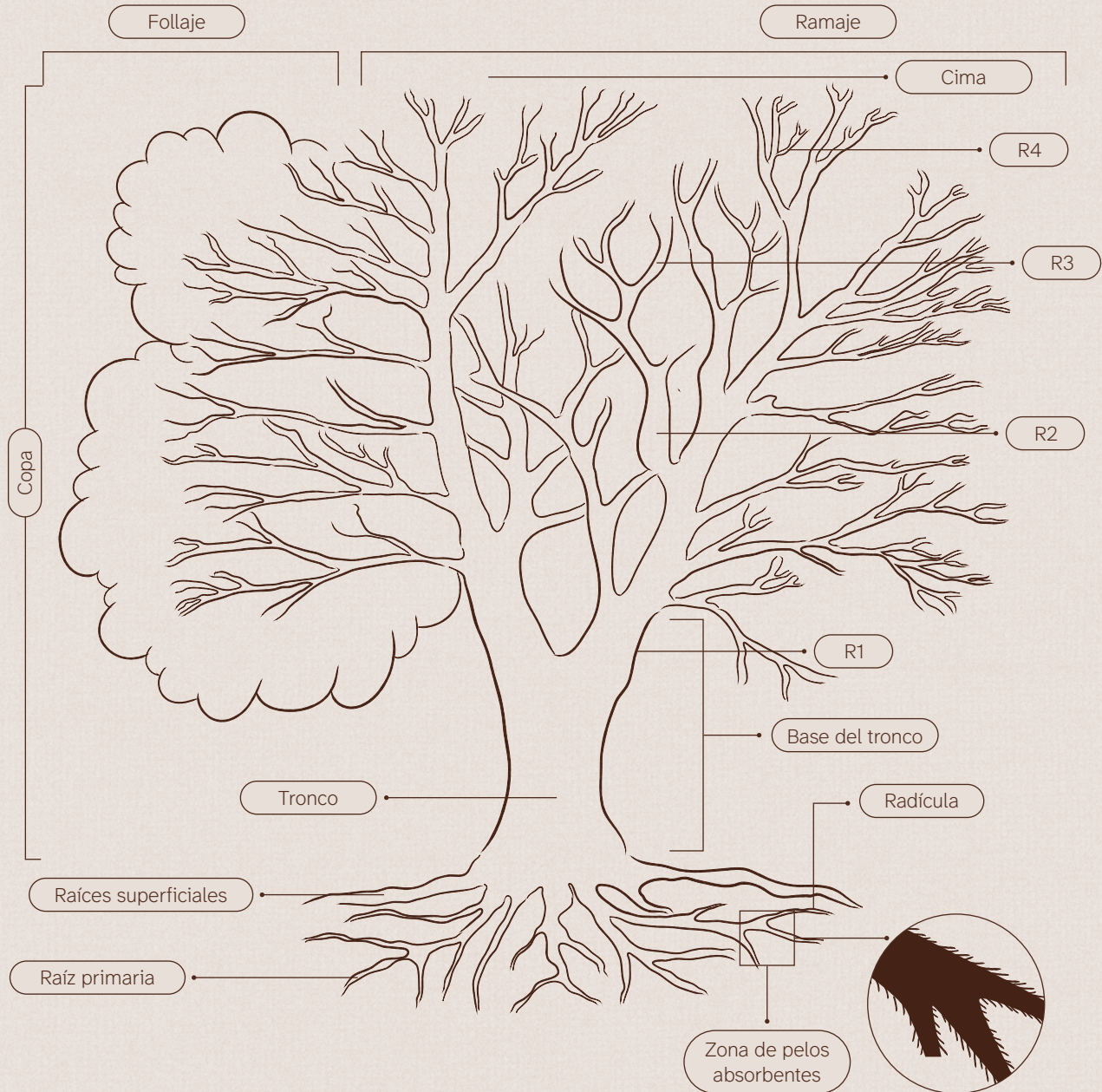
Longitud:
10 cm a 15 cm

Diámetro:
superior a 5 cm

Se recomienda tomar **MUESTRAS** de **DIFERENTES ALTURAS** del árbol, con el fin de tener una mejor representación de la variación anatómica de la madera dentro del árbol.



Figura 13. Ramas de diferentes órdenes, como parte de la arquitectura de las especies



Nota: R1 (Rama de primer orden), R2 (Rama de segundo orden),
R3 (Rama de tercer orden), R4 (Rama de cuarto orden)

Figura 14. Ramas de diferente diámetro




10cm



10cm





Para la seguridad al momento de tomar las muestras de ramas, se debe tener en cuenta:

- ▶ Los puntos donde se tomarán las muestras.
- ▶ Asegurar muy bien el área de trabajo, verificando los equipos de seguridad que serán utilizados para subir al árbol y tomar las muestras.
- ▶ Determinar qué puntos dentro del árbol serán afectados al tomar las muestras de las ramas (*Figura 15*).

Figura 15. Toma de muestras de ramas con equipo de seguridad

El **embalaje y transporte** del material de ramas dependerá del tamaño de las muestras (diámetro y longitud). Se pueden clasificar por tamaño, asegurándolas con bandas de caucho o cinta de enmascarar.

Para el **rotulado y diligenciamiento** de la información de la muestra botánica, se debe realizar el mismo proceso, adicionando los datos del tamaño de la muestra, la altura a la cual fue tomada y el número de orden de la rama (*Figura 13*). Para este caso, las muestras botánicas deben ser tomadas asegurando su identificación y trazabilidad tanto en herbario como en xiloteca.

Son necesarios los cortes de los tres planos de estudio para lograr una adecuada descripción anatómica de la rama:

- ▶ Corte transversal: para obtener la rama.
- ▶ Corte radial: se corta la rama en su longitud por la parte central de esta.
- ▶ Corte tangencial: perpendicular al radio o al diámetro de la rama.

Toma de muestras en depósitos de madera (talleres, carpinterías y CAV de flora)

Este procedimiento contribuye al ahorro de costos de trabajo de campo y desplazamiento a las zonas de aprovechamiento. Sin embargo, este tipo de muestras, al igual que las que se obtienen de árboles caídos, no cuentan con muestra botánica, lo que dificulta la identificación de la especie, demandando más tiempo para este proceso, ya que es necesario aplicar técnicas macroscópicas y microscópicas a cargo de expertos anatomistas

de la madera, quienes respaldarán los procesos de curaduría con la información contenida en las xilotecas. Una vez identificadas las imágenes obtenidas de estas muestras, se debe incluir en los metadatos: El laboratorio donde se llevó a cabo el proceso de identificación y el profesional que la realizó.

La figura 16 muestra los **SITIOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS: depósitos, talleres, carpinterías y centros de atención y valoración (CAV) de flora.**





Figura 16. Sitios de recolección de muestras de madera en depósitos



Debido a la posible variación que se da en las muestras colectadas en depósitos, talleres y carpinterías, se deben tomar muestras de 10 especímenes de madera por cada lugar. Las maderas que se localizan en estos sitios se identifican principalmente con nombres comunes y lugar de procedencia. El formato de colección es el mismo utilizado para la colección en campo, tanto de árboles vivos y cosechados como de árboles caídos (*Anexo I*). Con este método se debe recoger la mayor información posible, acompañada de los registros correspondientes a:

- ▶ Salvoconducto Único de Movilización Nacional en Línea (SUNL).
- ▶ Remisión de movilización y/o registro de la plantación, si el material que se va a coleccionar proviene de una plantación comercial.

Las muestras deben tener un mínimo de área en su sección transversal (10 cm x 10 cm) y en los planos longitudinales (15 cm). Estas dimensiones permiten orientar y observar con claridad los elementos y patrones de la estructura anatómica de la madera en los planos de estudio (transversal, radial y tangencial).

El material que ingresa a colección debe contener la información correspondiente al sitio (como las coordenadas) y, en lo posible, el salvoconducto de movilización y origen de la madera. Las imágenes que se toman con muestras de madera obtenida de talleres o depósitos deben contar con la información referente al laboratorio de maderas, la xiloteca y el funcionario responsable del estudio anatómico e identificación de la madera.

Materiales y equipos necesarios para la colecta de *especímenes*

La colecta de una muestra de madera debe hacerse de forma rigurosa y minuciosa, a fin de evitar descuidos que puedan invalidar la muestra para ser procesada o dispuesta en una colección biológica. Ahora bien, reducir los riesgos y afectaciones que se puedan generar a los componentes de flora, fauna y físicos asociados a los sitios en donde se están realizando las colectas, debe constituirse en un compromiso ético (Alecio *et al.*, 2024). El éxito de esta labor dependerá de los procedimientos y de los materiales a utilizar en cada una de las actividades.

En la tabla 1 se presenta un listado de equipos y materiales necesarios y recomendados para cada tipo de colecta; su propósito es garantizar la calidad y seguimiento del espécimen, la protección del medio y la seguridad del personal a cargo de la colecta.

Tabla 1. Materiales y equipos para coleccionar muestras

MATERIALES Y EQUIPOS	FUENTE DE LAS MUESTRAS PARA COLECTAR				
	Árboles aprovechados	Árboles caídos	Árboles en pie	Ramas	Depósitos de madera
GPS (Geoposicionador satelital)	✓	✓	✓	✓	✓
Cámara fotográfica	✓	✓	✓	✓	✓
Lupa de bolsillo	✓	✓	✓	✓	✓
Motosierra, equipo de protección especializado	✓	✓			
Sierras con equipo de afilado	✓	✓		✓	✓
Taladro o barreno Pressler			✓		

MATERIALES Y EQUIPOS	FUENTE DE LAS MUESTRAS PARA COLECTAR				
	Árboles aprovechados	Árboles caídos	Árboles en pie	Ramas	Depósitos de madera
Cinta métrica	✓	✓			✓
Cinta diamétrica	✓	✓	✓	✓	
Tijeras de poda	✓		✓	✓	
Equipo de trabajo en alturas				✓	
Marcadores de tinta indeleble			✓	✓	✓
Placas metálicas para marcar los bloques de madera	✓	✓			✓
Punzones para roturar placas metálicas	✓	✓			✓
Equipos de protección individual	✓	✓	✓	✓	✓
Cuerdas	✓	✓	✓	✓	
Machete	✓	✓		✓	
Cinzel	✓	✓			✓
Formón para madera	✓	✓			✓
Martillo	✓	✓			✓
Navaja y bisturís con cuchillas de repuesto	✓	✓	✓	✓	✓
Bolsas plásticas para transportar material botánico	✓		✓	✓	
Alcohol etílico	✓		✓	✓	
Papel periódico	✓		✓	✓	
Lonas	✓	✓	✓	✓	
Contenedores para transportar las muestras de madera			✓	✓	✓
Prensa botánica	✓		✓	✓	
Cera de abejas			✓		
Pasta de aserrín para sellar			✓	✓	
Pitillos para transportar núcleos			✓		
Libreta de campo	✓	✓	✓	✓	✓
Lápiz de grafito, borrador	✓	✓	✓	✓	✓
Lápiz de cera	✓		✓	✓	

6 Lineamientos técnicos para la preparación de muestras y captura de imágenes

→ Recepción y acondicionamiento de las muestras en xilotecas

→ Preparación de muestras

→ Obtención de probetas

→ Proceso de cuarentena

→ Proceso de lijado





Las xilotecas son repositorios biológicos que contienen muestras de madera identificadas, clasificadas y sistematizadas, que se utilizan para la descripción e identificación de especies leñosas. Estas muestras de madera, por lo general, cuentan con el soporte botánico dispuesto en un herbario forestal que, junto con las xilotecas, cuentan con el RNC ante el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH). Estos repositorios biológicos se constituyen en una excelente fuente de información anatómica de las especies, para desarrollar sistemas de identificación de maderas, mediante modelos computarizados que utilizan imágenes del tejido xilemático.

En las xilotecas se almacena la biodiversidad de un territorio representada en muestras de madera², que permiten tener un referente del valor científico y económico, además de servir como material de estudio y consulta (Vásquez-Correa, 2017). Las colecciones son legalizadas y actualizadas ante el

RNC, el cual es administrado por el IAvH, lo que hace posible tener mayor trazabilidad y rigor en el uso de las maderas que sean objeto de análisis.

El procedimiento para consultar en las xilotecas está determinado por cada colección biológica, así como el acceso a las muestras objeto de interés. Sin embargo, es importante resaltar que existen muestras que solo cuentan con un ejemplar, lo cual dificulta los procedimientos, por el alto riesgo de deterioro que puede implicar su manipulación.

Para la obtención de las muestras o imágenes que se encuentran almacenadas en las colecciones biológicas, se deben seguir los lineamientos propuestos en el *Modelo de gobernanza de la información a utilizar en aplicativos digitales de identificación de maderas* (López et al., 2025), así como las directrices para la consulta y uso de la información, contenidas en las colecciones biológicas de cada institución.

En la tabla 2 se mencionan las xilotecas o colecciones biológicas registradas en el IAvH.

Tabla 2. Xilotecas registradas en el IAvH

XILOTECA/SIGLA	INSTITUCIÓN	CONTACTO	DIRECCIÓN
Xiloteca UDBC José Anatolio Lastra Rivera BOFw	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Esperanza N. Pulido R. enpulidor@udistrital.edu.co	Carrera 5 Este # 15-82 Bogotá D.C.
Xiloteca del Laboratorio de Productos Forestales Héctor Anaya López MEDEL	Universidad Nacional de Colombia	Jhon F. Herrera Builes xiloplaco_med@unal.edu.co	Carrera 64 # 63-120 Núcleo del Río, Bloque 03, Sede Medellín
Xiloteca Francisco José de Caldas	Universidad del Cauca	coordforestal@unicauca.edu.co	Vereda Las Guacas, Popayán, Cauca
Xiloteca del Laboratorio de Tecnología de la Madera	Universidad del Tolima	Alejandra María Ramírez labmaderas@ut.edu.co	Sede central - Bloque 37. Calle 42 # 1B-1 Ibagué, Tolima

Seguir los lineamientos técnicos para la preparación de las muestras y la captura de imágenes, que contribuyen al conocimiento y fortalecimiento de las herramientas o sistemas de identificación de maderas que actualmente se encuentran en uso y que, igualmente, podrían generarse con nuevas tecnologías, es fundamental para la construcción de una información de referencia de calidad. De esta manera se garantiza la confiabilidad y trazabilidad de la identificación de las especies objeto de interés.

2 - Las muestras de madera pueden estar representadas de tres maneras: (a) probetas, piezas de madera de dimensiones determinadas; (b) laminillas o tejido xilemático, que pueden ser observadas a nivel microscópico, y (c) núcleos de madera, los cuales son obtenidos por medio de barrenos.



Recepción y acondicionamiento de las muestras en *xilotecas*

Los especímenes de madera colectados para el fortalecimiento de herramientas de identificación de maderas (como Xylotron, Covima, Imaca, entre otras), deben contar con una base de datos de referencia adecuadamente sistematizada y un proceso de curaduría que garantice la veracidad de la información asociada a los especímenes, así como las condiciones necesarias para mantenerlos protegidos del deterioro por factores ambientales y agentes biológicos.

Evaluar el contenido de humedad de la madera que ingresa a la colección es fundamental. Para este proceso se pueden seguir dos métodos:

- ▶ **Directo:** mediante el uso de un xilohigrómetro.
- ▶ **Indirecto:** tomando pesos húmedos y pesos anhidros de las muestras, para determinar el porcentaje de humedad con que llega la madera a la colección. El contenido de humedad de las muestras que ingresan a la colección no debe ser superior al 12 %.

Adicionalmente, existen protocolos para los procesos de cuarentena que deben cumplir los especímenes antes de ingresar a una colección de maderas, como el aplicado en la Xiloteca UDBC de la Universidad Distrital, que consiste en someter las piezas de madera a un proceso térmico para eliminar cualquier viabilidad de esporas de hongos, huevos o larvas presentes en las muestras.

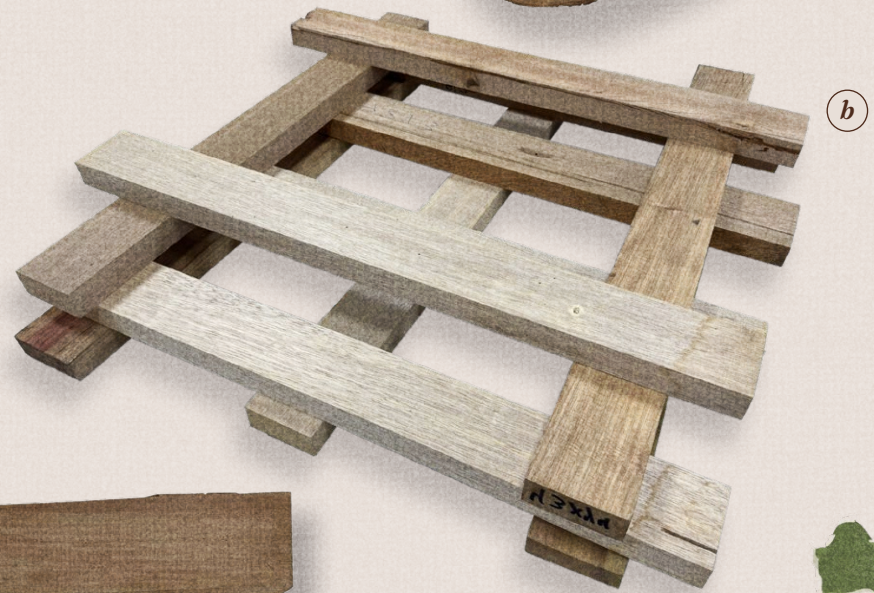
Antes de ingresar una muestra de madera a la colección, se debe verificar que su información esté completa y registrada en los formatos de colecta de material, y que se relaciona con los datos asociados a las colecciones botánicas, para registrarla en el metadato de cada espécimen, como se especifica en el documento *Modelo de gobernanza de la información para aplicativos digitales de identificación de maderas* (López et al., 2025).

El objetivo de ingresar las muestras de madera a una colección biológica es garantizar que las muestras usadas para la captura de imágenes cuentan con información de referencia, es decir, información asociada a una especie debidamente clasificada e identificada, con su correspondiente muestra botánica depositada en herbario, y con el respectivo estudio anatómico de la madera.

La figura 17 presenta algunas de las formas más comunes de recibir muestras en los laboratorios de maderas, para su ingreso a la colección biológica o xiloteca.



Figura 17. Formas de recibir muestras de madera en laboratorios y xilotecas



(d)



(e)



(f)



Nota: (a) Rodajas; (b) bloques mayores de 1 m de longitud; (c) bloques menores de 50 cm de largo; (d) probetas de madera que llegan por intercambio con otras colecciones; (e) ramas; (f) núcleos de madera.

Preparación de *muestras*

Obtención de probetas

Teniendo en cuenta que las muestras de madera pueden presentar diferentes formas y tamaños, es importante verificar la presencia de albura y duramen, cuya característica puede aportar no solo a la identificación de la especie, sino también a las características o patrones que la lente o cámara pueda capturar al momento de tomar las imágenes.

Una vez cumplido el proceso de verificación e identificación de la(s) especie(s) que ingresará(n) a la xiloteca, se obtienen las probetas con la sección o plano transversal de mayor tamaño, en donde se logran ver con mayor detalle las características anatómicas de la madera, para la captura de las imágenes. Es necesario verificar con la lupa o estereomicroscopio, si el plano transversal presenta algún tipo de afectación (como grietas o ataques de insectos y hongos) que pueda afectar la calidad de las imágenes (*Figura 18*).

Otro factor que se debe tener en cuenta en la obtención de probetas es la orientación de la madera, para determinar el sentido de los radios y los anillos de crecimiento (si aplica para la especie). La debida orientación de probetas agiliza y garantiza una óptima captura de imágenes (*Figura 19*).

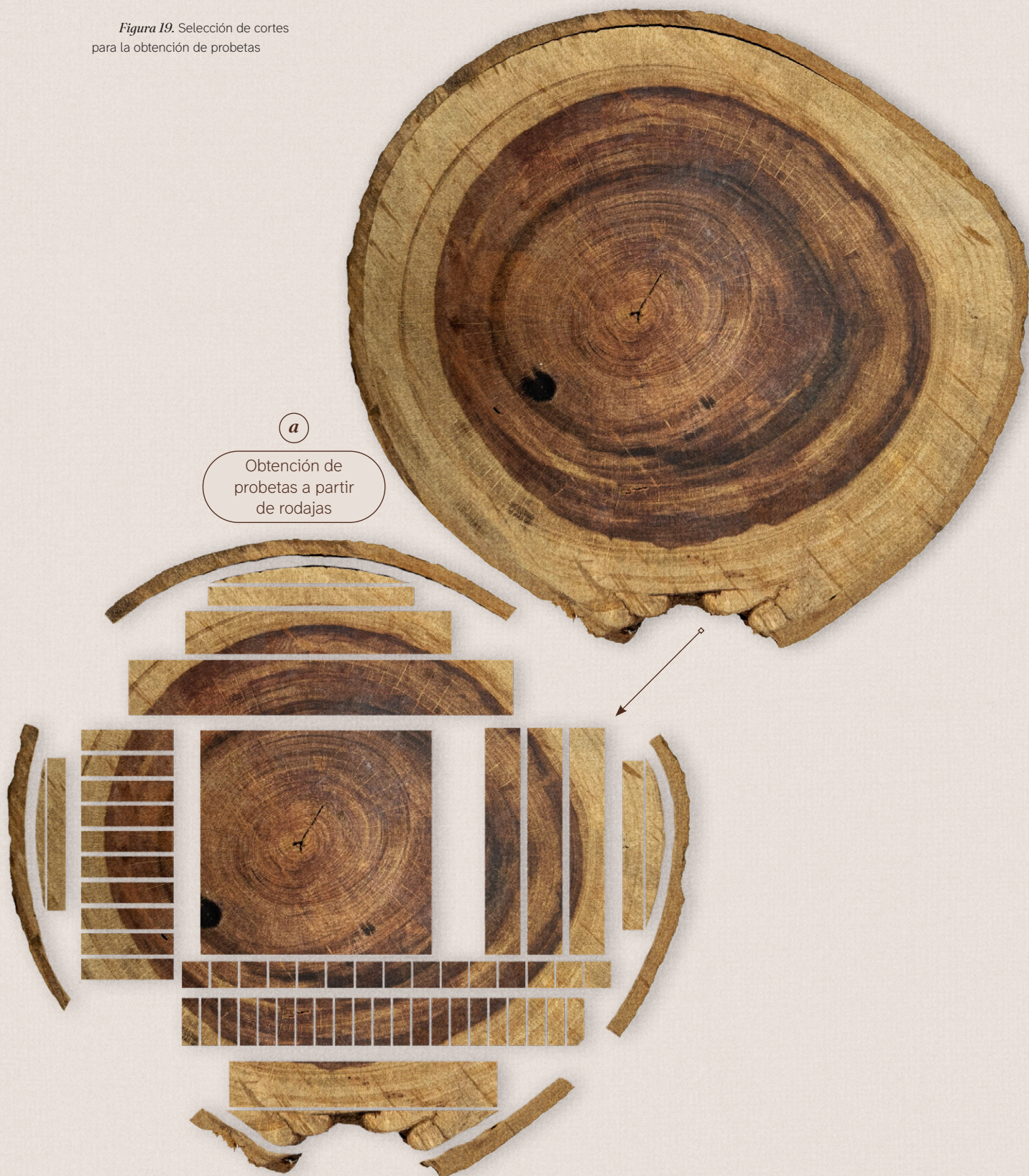
Una vez cumplido el proceso de verificación e identificación de la(s) especie(s) que ingresará(n) a la xiloteca, se obtienen las probetas con la sección o plano transversal de mayor tamaño, en donde se logran ver con mayor detalle las características anatómicas de la madera, para la **CAPTURA DE LAS IMÁGENES.**



Figura 18. Verificación de las muestras con ayuda de lupa y estereomicroscopio



Figura 19. Selección de cortes para la obtención de probetas para la obtención de probetas





Nota: (a) A partir de rodajas; (b) a partir de bloques de diferentes tamaños.

En el proceso de obtención de las probetas, se debe garantizar la trazabilidad y la asignación del código al espécimen de madera, puesto que este corresponde al identificador (ID) de la muestra (*Figura 20*). Los cortes de la madera generan la necesidad de mantener los códigos en los subproductos del corte inicial. La trazabilidad o seguimiento de los cortes es muy importante para mantener la información de colecta hasta la obtención de la imagen que van a ingresar en el sistema de identificación.

Figura 20. Marcación de códigos para la obtención de probetas de las muestras colectadas





Durante el proceso de obtención de probetas se procura trabajar con todo el material que llega al laboratorio, reduciendo el porcentaje de residuos. En lo posible, trabajar con probetas de diferentes tamaños, las cuales deben ser nuevamente revisadas y clasificadas de acuerdo con sus nuevas condiciones de calidad y sanidad, para su incorporación en el proceso de captura de imágenes (Figura 21). Los especímenes seleccionados serán dispuestos en condiciones controladas (cuarto climático) para disminuir progresivamente el contenido de humedad y evitar la aparición de grietas (Figura 22).

Figura 21. Obtención y clasificación de probetas





Figura 22. Probetas dispuestas en cuarto climático



A large, spreading tree with a thick trunk and dense canopy of green leaves dominates the upper left portion of the image. The background is a lush tropical forest with various other trees and palm fronds. In the foreground, a calm river reflects the sky and the surrounding greenery. The sky is bright blue with some light clouds.

Proceso de cuarentena

Todo material que vaya a ingresar a la colección biológica debe cumplir un proceso de cuarentena, o aislamiento preventivo, durante tres días, en un horno de laboratorio, a una temperatura de 60 °C. El objetivo de este proceso es eliminar huevos, larvas, esporas o cualquier agente biológico que pueda contener la muestra de madera, y que pueda representar un riesgo biológico tanto para el espécimen que ingresa como para las colecciones de la xiloteca. Este procedimiento forma parte del proceso de curado al que deben someterse las colecciones biológicas.

Proceso de lijado

La obtención de imágenes para su vinculación a un sistema de identificación de maderas requiere muestras del plano transversal perfectamente liso, lo cual se logra mediante un proceso de lijado, en el que se usan lijas para madera de diferentes densidades de grano (180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1500 hasta el 2000) (Figura 23). Este proceso, con esta diversidad de lijas, garantiza la eliminación de desniveles y ralladuras; así se consigue mejorar la calidad de la imagen, que busca registrar los caracteres y patrones anatómicos nítidos, sin ninguna afectación extra que pueda distorsionar su lectura.

El comportamiento de cada especie es diferente frente a la reacción al lijado. Se debe contar con la capacidad técnica para identificar los cambios de intensidad del lijado o densidad del grano de la lija, para evitar la aparición de ralladuras causadas por la fricción. Es importante resaltar que el proceso de lijado se puede llevar a cabo con herramientas neumáticas o lijadoras, o de forma manual. En los dos casos, se debe mantener el plano transversal de la probeta nivelado y sin grietas, ralladuras o polvillo depositado en los espacios porosos de la madera.

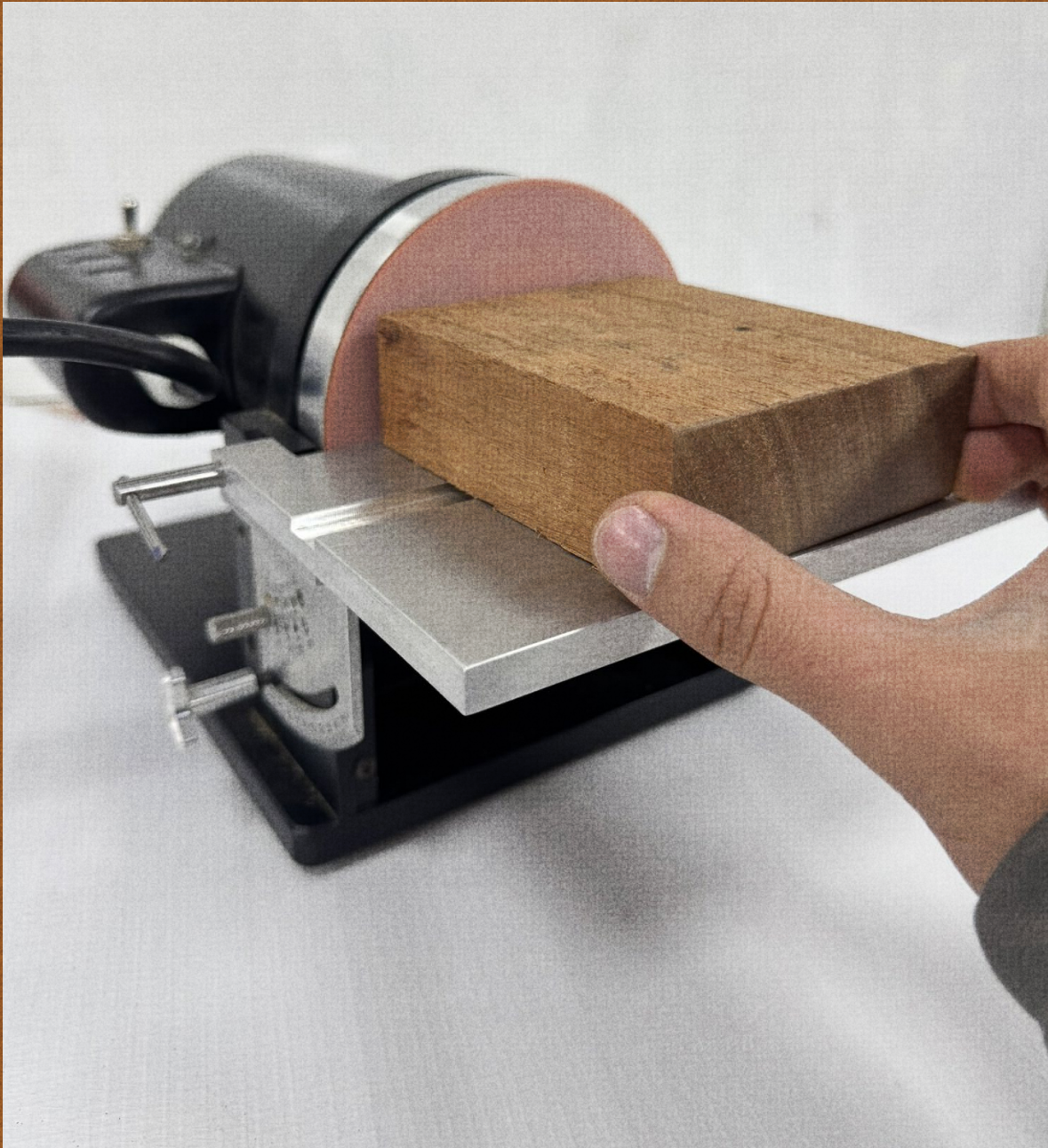


Figura 25. Lijas de diferente grano, necesarias para la obtención del plano transversal



En caso de que el proceso de lijado sea con lijadora, se recomienda una de banco con motor, ya que permite garantizar una velocidad constante. Sin embargo, está en manos de quien manipula la probeta, la fuerza con la que acerca la madera a la superficie de la lija, principalmente, al inicio del lijado, cuando se utilizan las menores densidades de grano para desbastar imperfecciones y nivelar la probeta (*Figura 24*).

Figura 24. Lijadora de banco utilizada para la obtención del plano transversal



Una vez que la probeta ha llegado al número de lija 2000, la madera queda con rastro del polvillo fino (*Figura 25*), el cual se dispone en los espacios porosos de la madera. Este polvillo debe ser retirado con ayuda de un pincel (*Figura 26*) y cinta de ducto gris, la cual tiene una alta adherencia; se pega al plano transversal las veces que sean necesarias, con el objetivo de que al retirarla se lleve consigo los residuos de madera, y así los poros queden libres de polvillo. Al final, y una vez se haya verificado que el plano transversal se encuentra sin grietas, ralladuras u otro tipo de imperfecciones de la madera, nuevamente se utiliza la cinta para cubrir la totalidad del plano transversal lijado (*Figura 27*). De esta manera, la probeta queda lista para ingresar a la colección biológica, como respaldo al respectivo sistema de identificación de maderas (Ver documento *Modelo gobernanza de la información para aplicativos digitales de identificación de maderas*, de López et al., 2025).

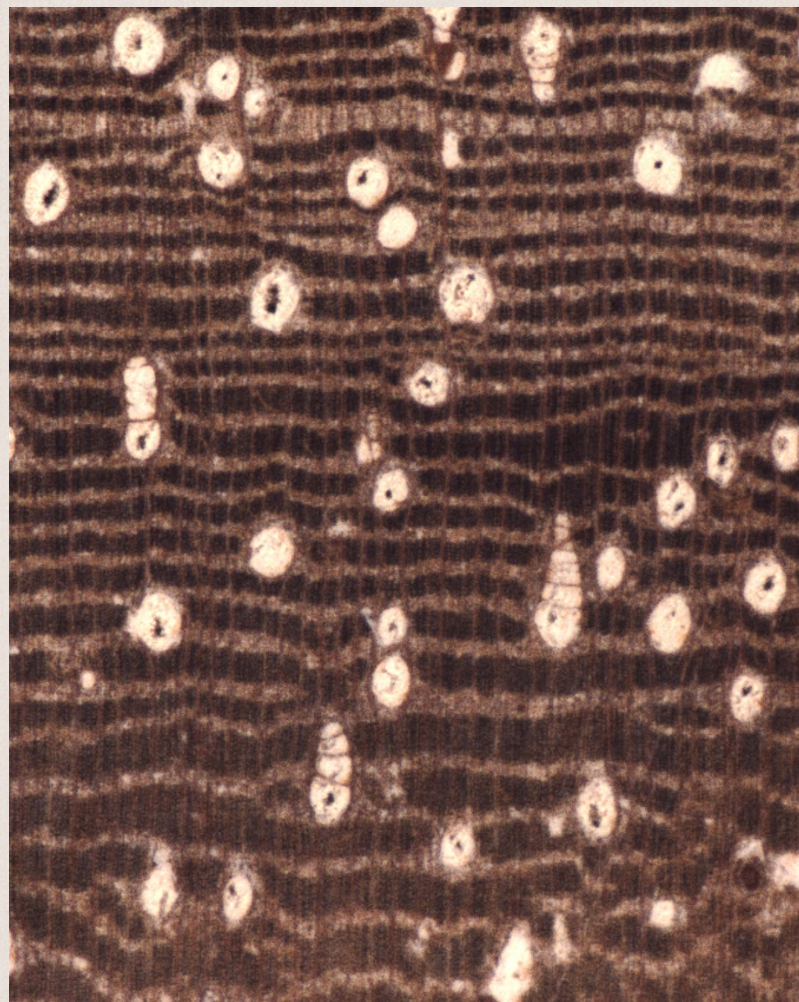
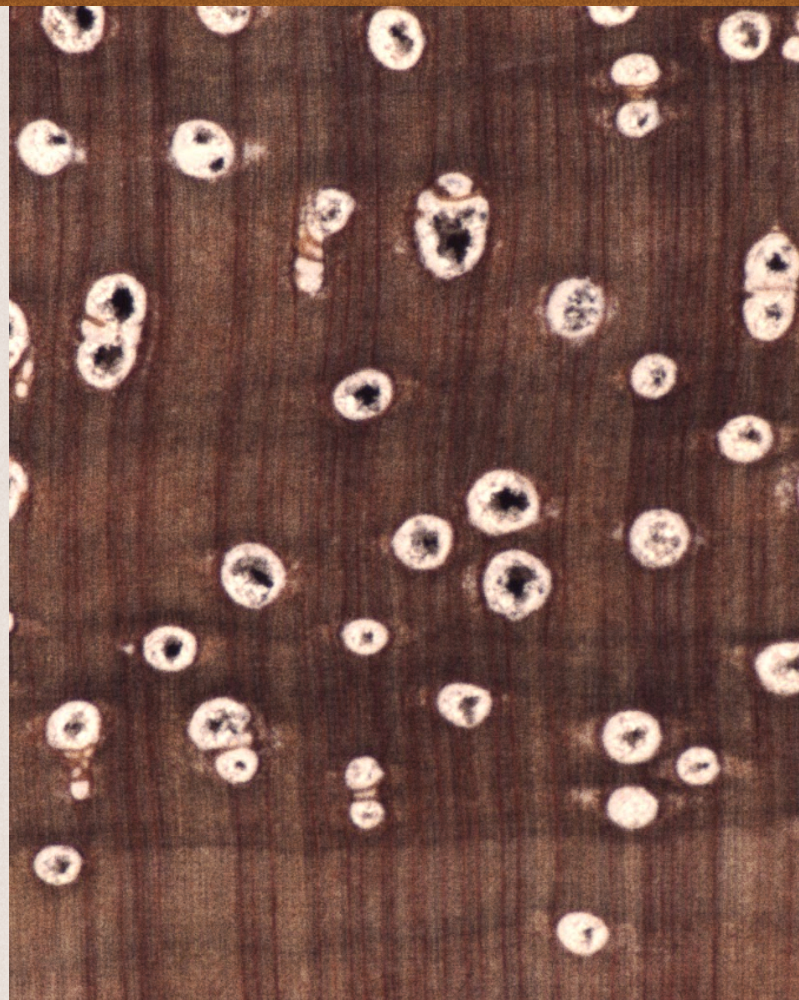


Figura 25. Probeta de madera con poros tapados por el proceso de lijado

Figura 26. Probeta de madera con poros destapados

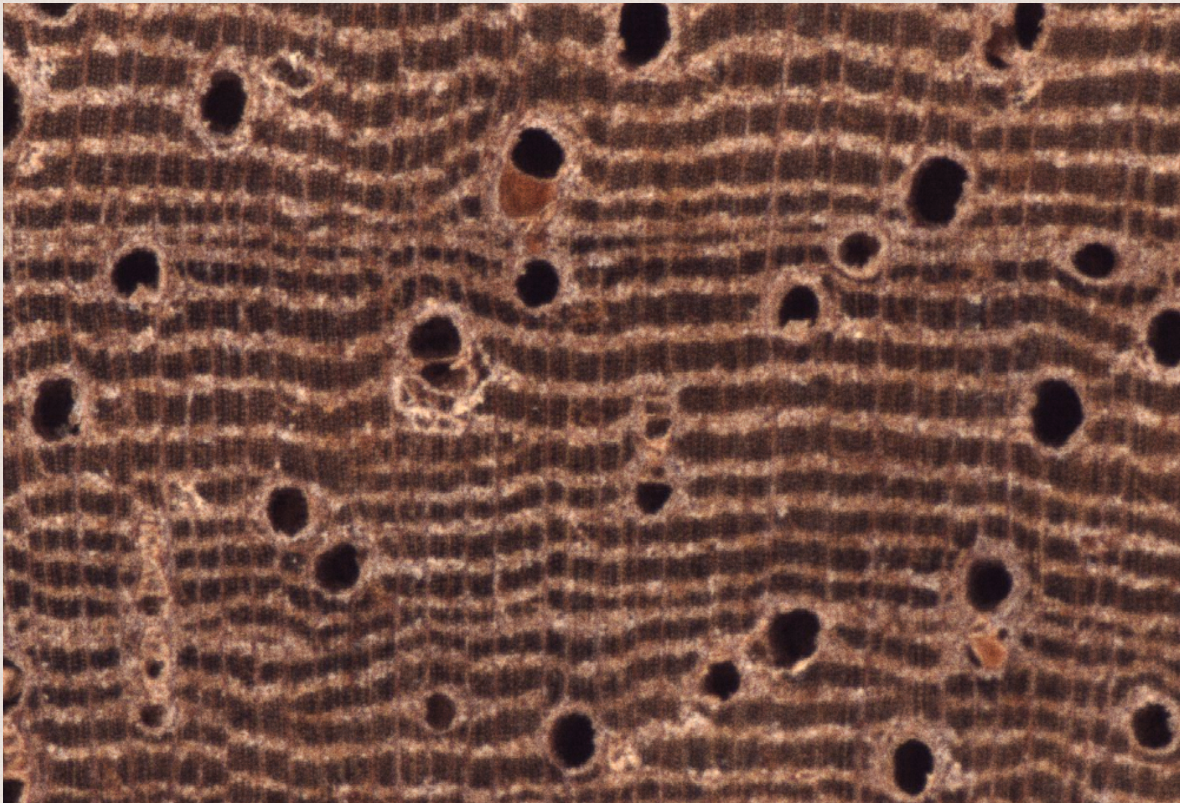
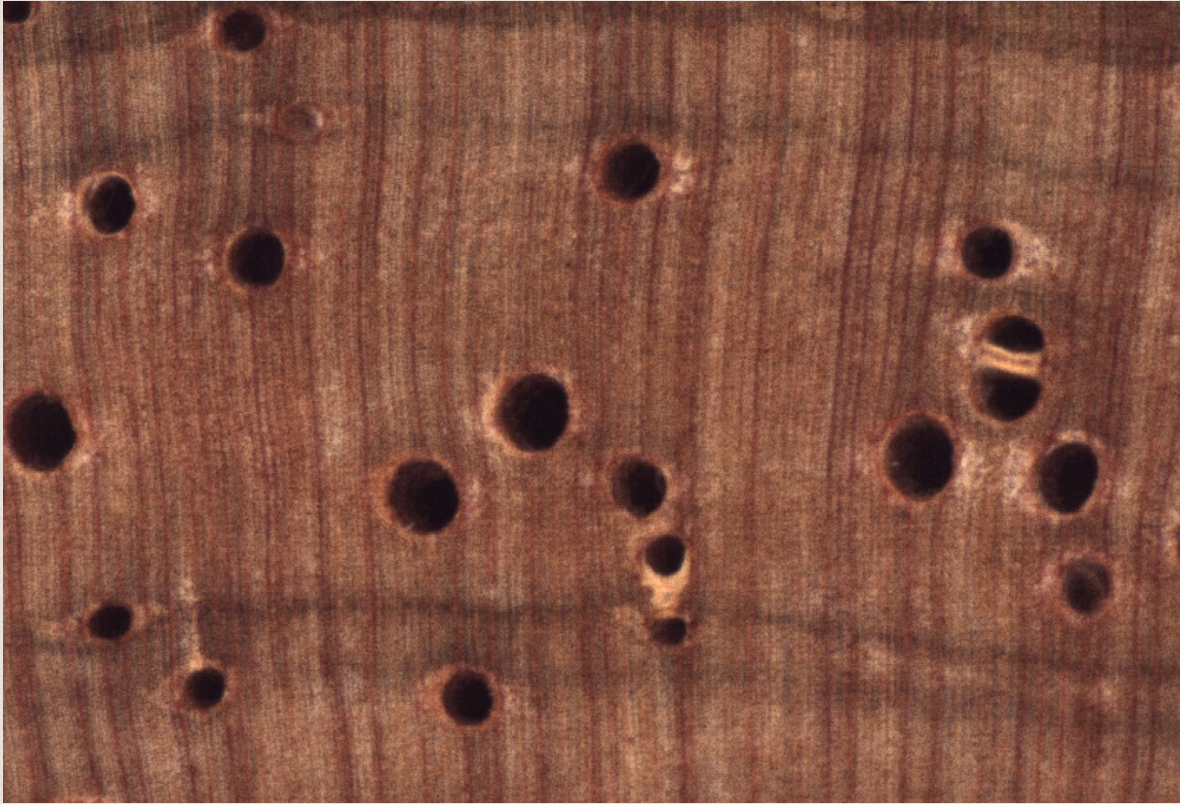
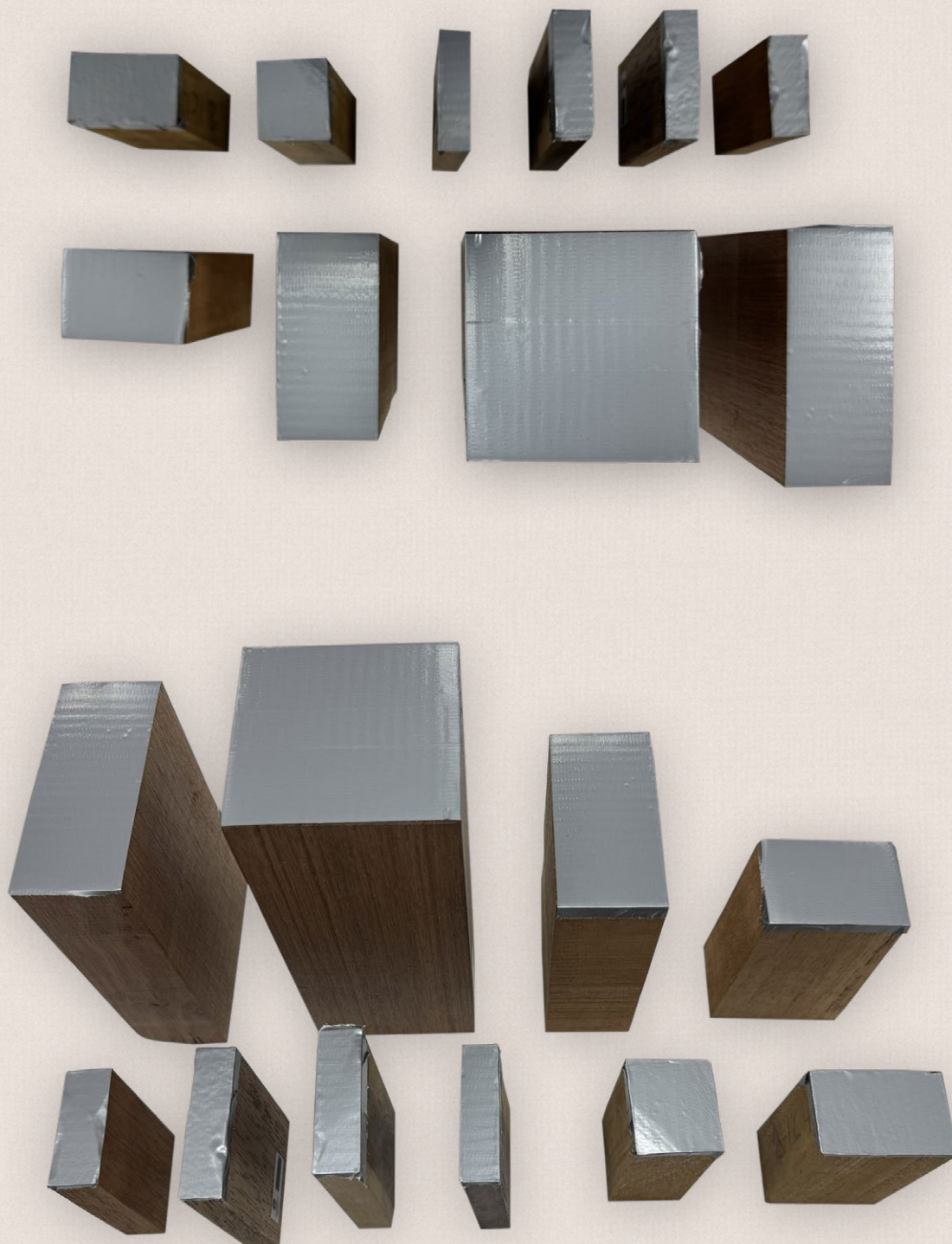


Figura 27. Probetas de madera protegidas con cinta de ducto gris





El presente protocolo busca establecer un procedimiento estandarizado que permita obtener muestras representativas y confiables, asegurando en todo momento la trazabilidad y custodia de las muestras objeto de estudio, para su uso final en la generación y fortalecimiento de herramientas y sistemas de **IDENTIFICACIÓN DE MADERAS**.

Se espera que universidades, centros e institutos de investigación, instituciones del Estado y autoridades ambientales competentes contribuyan, desde sus acciones, al enriquecimiento y divulgación de la biodiversidad de nuestro país, aportando material botánico y de maderas a las colecciones biológicas registradas, con imágenes debidamente procesadas.

5 Referencias





- Alecio, P., Gerolamo, C., Freire G., Teixeira-Costa, L., Veiga, M., & Ceccantini, G. (2024). *Manual de coleta de madeira para ensino e pesquisa*. Instituto de Biociencias, Universidade de Sao Paulo. doi: 10.11606/9786588234198
- Arévalo, R. y Londoño, A. (2005). *Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima*. Universidad del Tolima y Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima). doi: 10.13140/RG.2.1.2935.5049
- Arx, G. von, Crivellaro, A., Prendin, A. L., Čufar, K., & Carrer, M. (2016). Quantitative wood anatomy—practical guidelines. *Frontiers in Plant Science*, 7, 781. doi: 10.3389/fpls.2016.00781
- Blanco, J. (2020). *Caracterización de las 30 especies forestales maderables más movilizadas en Colombia provenientes del bosque natural*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y Unión Europea. https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/Cata%C3%81logo_de_maderas_de_Colombia.pdf
- Botanic Gardens Conservation International. (2023). *Global Tree Portal: Colombia*. <https://www.bgci.org/resources/bgci-databases/globaltree-portal/country-search/?c=CO>
- Brodribb, T. J. (2009). Xylem hydraulic physiology: the functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Science*, 177(4), 245–251. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.06.001
- Carlquist, S. (2012). How wood evolves: a new synthesis. *Botany*, 90(10), 901–940. <https://doi.org/10.1139/b2012-048>
- Detienne, P. (1988). *Cours illustré d'anatomie des bois*. Quae.
- Dormontt, E. E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., Gardner, S., Guillery, P., Hermanson, J. C., Koch, G., Leong Lee, S., Kanashiro, M., Rimbawanto, A., Thomas, D., Wiedenhoef, A. C., Yin, Y., Zahnen, J., & Lowe, A. J. (2015). Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*, 191, 790–798. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.038>
- Gutiérrez, G. y Ricker, M. (2013). *Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guzmán, J. F. (2017). *Manual para la identificación de maderas de especies forestales comerciales de los municipios de Bogotá y Soacha, según características macroscópicas de la madera con lente 10X*. Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, y SENA. oai:repositorio.sena.edu.co:11404/4802
- Igartua, D. V. (2013). *Caracterización xilotecnológica de la madera de Acacia melanoxylon R. Br. en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina* [Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata].
- León, W. J. y Espinoza de Pernía, N. (2001). *Anatomía de la madera*. Universidad de los Andes. <https://www.researchgate.net/publication/44368335>
- López-Camacho, R., Pulido-Rodríguez, N. E., González-Martínez, R. O., Nieto-Vargas, J. E. y Vásquez, M. Y. (2014). *Maderas. Especies comercializadas en el territorio CAR: Guía para su identificación*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- López, R. y Cárdenas, D. (2002). *Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana*. Ministerio del Medio Ambiente e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (MADS y Sinchi).
- López, R. y Montero, M. I. (2005). *Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi - Fundación Chemonics-Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18551>

- López, R., Pulido, N. E. y Solórzano, J. F. (2025). *Modelo de gobernanza de la información a utilizar en aplicativos digitales de identificación de maderas*. WWF.
- Mata-Montero, E., Figueroa-Mata, G., Arias-Aguilar, D., Valverde-Otárola, J. C., Zamora-Villalobos, N., Panigua-Bastos, J. C. y López-Aragón, S. (2020). *Identificación automática de especies forestales maderables amenazadas de Costa Rica, mediante técnicas de visión artificial*. Tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/13276>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2024). Resolución 0126. Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. 19 de febrero de 2024. Diario Oficial Año CLIX 52.674.
- Morales-Morales P. A. y López-Gallego, C. (2021). Evaluación del riesgo de extinción de árboles y arbustos endémicos de Colombia. En L. A. Moreno, G. I., D.G Andrade y O. L. Hernández-Manrique (Eds.), *Biodiversidad 2020. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Pereira, H., Graça, J., & Rodríguez, J. C. (2003). Wood chemistry in relation to quality. *Wood Quality and its Biological Basis*, 3, 53-83.
- Pérez-Olvera, C. de L. P., Dávalos-Sotelo, R. y Quintanar-Isaías, P. A. (2005). Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México. *Madera y Bosques*, 11(2), 49-68. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61711204.pdf>
- Pulido, E., Otavo, E., Solórzano J., Mogollón, S., Quintero, A., Amado, S., Suárez, S. y Ariza, J. C. (2018). *Propiedades físico-mecánicas y uso de 17 especies forestales*. Unidad de Ordenación Forestal Yarí-Caguán, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (Corpoamazonia) y Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ravindran, P., Costa, A., Soares, R., & Wiedenhoeft, A. C. (2018). Classification of CITES-listed and other neotropical Meliaceae wood images using convolutional neural networks. *Plant Methods*, 14, 25. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0292-9>
- Rowell, R. M., Pettersen, R., & Tshabalala, M. A. (2005). Cell wall chemistry. En R. M. Rowell (ed.), *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2.a ed.) (pp. 33-72). CRC.
- Schmitz, N. (ed.), Beeckman, H., Blanc-Jolivet, C., Boeschoten, L., Braga, J. W. B., Cabezas, J. A., Chaix, G., Cramer, S., Degen, B., Deklerck, V., Dormontt, E., Espinoza, E., Gasson, P., Haag, V., Helmling, S., Horacek, M., Koch, G., Lancaster, C., Lens, F.,... Zuidema, P. (2020). *Overview of current practices in data analysis for wood identification. A guide for the different timber tracking methods*. Global Timber Tracking Network (GTTN), & European Forest Institute and Thünen Institute. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21518.79689>
- Vásquez-Correa, Á. M. (2017). Xilotecas, importantes colecciones de referencia. *Colombia Forestal*, 20(2), 192-201. doi: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a08>
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Gasson, P. E. (Eds.). (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal*, 10(3), 219-332. https://www.researchgate.net/publication/294088872_IAWA_List_of_Microscopie_Features_for_Hardwood_Identification
- WWF Colombia. (2013). *Maderas de Colombia*. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/maderas_de_colombia_15_version_aprobada.pdf



Ambiente



ISBN: 978-628-96330-6-1



9 786289 633061



En alianza con:



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS