



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA: INGENIERÍA FORESTAL

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, MODALIDAD PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

TEMA:

“Generación de información anatómica de la madera de cinco especies forestales para su identificación a través de inteligencia artificial”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal

Autor: Portilla Caicedo Joseline Estefania

Director: Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc.

Ibarra – abril– 2025

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450092762		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Portilla Caicedo Joseline Estefania		
DIRECCIÓN:	Mira		
EMAIL:	jeportillacl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	063010219	TELF. MOVIL	0989646424
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Generación de información anatómica de la madera de cinco especies forestales para su identificación a través de inteligencia artificial		
AUTOR:	Portilla Caicedo Joseline Estefania		
FECHA: AAAAMMDD	2025-04-01		
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN			
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Forestal		
DIRECTOR:	Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc.		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de abril de 2025

EL AUTOR: Portilla Caicedo Joseline Estefania

(Firma).....

Nombre: Portilla Caicedo Joseline Estefania

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

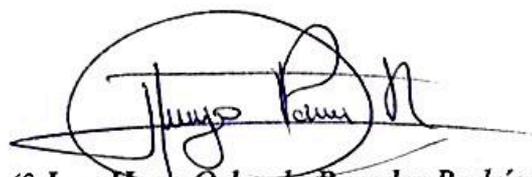
Ibarra, 01 de abril de 2025

Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Paredes', is written over a circular stamp. The signature is fluid and cursive.

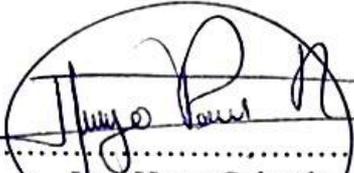
(f) Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc.

NOMBRE DEL DIRECTOR

C.C.: 1600285702

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del Trabajo de Integración Curricular “Generación de información anatómica de la madera de cinco especies forestales para su identificación a través de inteligencia artificial” elaborado por la Srta. Portilla Caicedo Joseline Estefania, previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f) 
Ing. Hugo Orlando
Paredes Rodríguez
M.Sc.
C.C.:1600285702

(f) 
Ing Irving Reascos
Paredes PhD
C.C.:1001501400

DEDICATORIA

A ti, Jehová Dios, por todas las bendiciones con las que has llenado mi vida. Gracias por guiarme en cada logro, darme fuerza en cada batalla, y brindarme tu cuidado y amor incondicional.

A mis amados padres, Rosa Julia y Wilson Joel, por ser mis pilares, mi fuerza, y mi mayor inspiración. Gracias por su amor infinito, que me sostuvo en cada momento, por su apoyo incondicional, siempre presente, y por ser los mejores ejemplos de humildad, perseverancia y sacrificio. Ustedes me enseñaron a soñar, a nunca rendirme. No existen palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Todo esto es por y para ustedes.

A mi querida familia, en especial a mis hermanos Marlene, Patricio, Sandra, Jonathan y Ángela, por sus consejos, su ayuda y su presencia inquebrantable. Y cómo no mencionar a mis sobrinos, Alejandro Joel y Jhon Deivis, quienes algún día leerán estas palabras, escritas con todo el amor que les tengo.

A mi compañero de vida, mi alma gemela y eterno amor, Edison Alejandro. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por cada pequeño detalle que llena mis días de alegría, y cada palabra que me impulsa a seguir adelante. Por tu esfuerzo incansable y tus oraciones sinceras, que han sido la luz en mis momentos de duda. Te agradezco por caminar a mi lado, por creer en mis sueños, y por enseñarme a ser no solo una mejor profesional, sino una mejor persona.

¡Lo logré familia!

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Jehová Dios, quien me ha bendecido con una hermosa familia, me ha dado unos padres espectaculares y me permitió alcanzar esta meta y me cuidó en cada etapa de mi vida estudiantil. No existen suficientes palabras para expresar mi gratitud eterna.

A mi inspiración, el querido Ingeniero Hugo Orlando Paredes, quien me mostró lo que significa ser un verdadero Ingeniero Forestal. Con su ejemplo, me enseñó que podemos marcar la diferencia a través de la autenticidad, la humildad y el constante aprendizaje.

A todos mis docentes, quienes fueron parte fundamental de mi formación académica. Los recuerdo con cariño, ya que me guiaron y formaron durante esta etapa, ayudándome a alcanzar mi objetivo de convertirme en una gran profesional.

Y a mis grandes amigos, Karina y Erick Daniel, cuya ayuda me permitió llegar hasta el final. Gracias por cada momento compartido, cada risa y cada dificultad superada juntos. Que Dios los bendiga y los recompense siempre.

Con el corazón en la mano, quiero agradecer profundamente a Janeth y Miguel por brindarme un hogar lleno de cariño, calor y alimento en momentos tan cruciales. Su generosidad no solo me ofreció techo, sino también la fortaleza para seguir adelante en mi camino de estudio. Siempre llevaré en mi corazón su apoyo incondicional y el amor con el que me acogieron.

RESUMEN EJECUTIVO

El informe final del trabajo de integración curricular titulado "Generación de información anatómica de la madera de cinco especies forestales para su identificación a través de inteligencia artificial", se centra en la importancia de identificar especies forestales mediante inteligencia artificial (IA). La investigación responde a la necesidad de contar con bases de datos anatómicas detalladas que faciliten la clasificación y conservación de las especies forestales, ayudando a los gestores e investigadores en la protección de la biodiversidad y en la lucha contra el tráfico ilegal de maderas. El objetivo general es generar información anatómica de cinco especies forestales del norte de Ecuador: *Brosimum utile subsp. occidentale* C.C. Berg, *Cedrela odorata* L, *Juglans neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., y *Virola dixonii* Little, y los objetivos específicos incluyen describir sus características anatómicas y crear una base de datos para su identificación. A través de imágenes de cortes transversales y la metodología de identificación (INEN, COPANT) y generación de datos anatómicos, se pretende ofrecer un recurso valioso para la correcta identificación de las especies. Los resultados revelan que, aunque tres de las especies comparten similitudes en características organolépticas, presentan diferencias significativas en su anatomía. Además, se ha desarrollado un proceso sistemático para generar información técnica esencial para el aplicativo (Wood Identifier UTN), que facilitó la identificación precisa de las cinco especies forestales, de las cuales se realizó una prueba práctica en depósitos de madera en la ciudad de Ibarra. En conclusión, se recomienda que las investigaciones sean aplicadas en políticas del Ministerio del Ambiente y en la formación de nuevas generaciones en la ingeniería forestal, promoviendo un enfoque práctico y científico para la gestión y conservación de los recursos forestales en Ecuador.

Palabras clave: Identificación de maderas, anatomía de la madera, aplicativo de identificación.

ABSTRACT

The final report of the curricular integration project entitled "Generation of anatomical information on the wood of five forest species for their identification through artificial intelligence" focuses on the importance of identifying forest species through artificial intelligence (AI). The research responds to the need for detailed anatomical databases that facilitate the classification and conservation of forest species, assisting managers and researchers in the protection of biodiversity and the fight against illegal timber trafficking. The general objective is to generate anatomical information on five forest species from northern Ecuador: *Brosimum utile subsp. occidentale* C.C. Berg, *Cedrela odorata* L, *Juglans neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., and *Virola dixonii* Little. The specific objectives include describing their anatomical characteristics and creating a database for their identification. Through cross-sectional images and identification methodology (INEN, COPANT) and the generation of anatomical data, the aim is to provide a valuable resource for the correct identification of species. The results reveal that, although three of the species share similarities in organoleptic characteristics, they present significant differences in their anatomy. Furthermore, a systematic process was developed to generate essential technical information for the application (Wood Identifier UTN), which facilitated the accurate identification of the five forest species, which were practically tested in wood depots in the city of Ibarra. In conclusion, it is recommended that the research be applied to policies of the Ministry of the Environment and to the training of new generations in forestry engineering, promoting a practical and scientific approach to the management and conservation of forest resources in Ecuador.

Keywords: Wood identification, wood anatomy, identification application

LISTA DE SIGLAS

COA. Código Orgánico ambiental

MAATE. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.

SAF. Sistema de administración forestal

IA. Inteligencia artificial

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN EJECUTIVO	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	14
Problema de investigación	16
Justificación	18
OBJETIVOS	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.	19
CAPÍTULO I	20
MARCO TEÓRICO	20
1.1. La madera	20
1.2. Anatomía de la Madera	20
1.2.1. Normas fundamentales	21
1.2.2. Propiedades anatómicas macroscópicas y microscópicas de la madera 22	
1.2.2.1. Propiedades macroscópicas	22
1.2.2.2. Propiedades microscópicas	23
1.3. Valor comercial de las especies a estudiar	27
1.4. Especies para estudiar	29
1.5. Inteligencia Artificial (IA) en Anatomía de la Madera	32
CAPÍTULO II	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34

2.1. Tipo de investigación según los siguientes criterios:	34
2.2. Ubicación del lugar	34
2.3. Caracterización edafoclimática del lugar	35
2.4. Materiales, equipos y software	36
2.5 Métodos, técnicas e instrumentos.	36
2.5.1 Universo-población.....	36
2.5.2 Tamaño de la muestra.	36
2.6 Matriz de operacionalización de variables	37
2.7 Procesamiento y análisis de datos	40
CAPÍTULO III	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
CAPÍTULO IV	60
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	60
Referencias Bibliográficas	61
Anexos	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.	36
Tabla 2. Características macroscópicas (Organolépticas).....	41
Tabla 3. Estructuras macroscópicas de la madera 10X.....	44
Tabla 4. Estructuras microscópicas de la madera	49
Tabla 5. Resultados de la captura de imágenes de los cortes trasversales de las especies	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del laboratorio de Anatomía de la Madera y Xiloteca.....	35
Figura 2. Muestra para descripción de las características macroscópicas.	37
Figura 3. Captura de imágenes de cortes transversales de las especies <i>Andira inermis</i> y <i>Cedrela odorata</i>	38
Figura 4 Anotación de imágenes con la plataforma Roboflow de <i>Cedrela odorata</i>	39
Figura 5 Características microscópicas de: Chonta Caspi, <i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC, Fabaceae.....	51
Figura 6 Características microscópicas de: Sande, <i>Brosimum utile</i> subsp. occidentale C.C. Berg, Moraceae.....	52
Figura 7 Características microscópicas de: Cedro, <i>Cedrela odorata</i> L, Meliaceae.....	53
Figura 8 Características microscópicas de: Nogal, <i>Juglans neotropica</i> Diels, Juglandaceae.....	54
Figura 9 Características microscópicas de: Chalviande, <i>Virola dixonii</i> Little, Myristicaceae	55
Figura 10 Proceso para la generación de datos	55

INTRODUCCIÓN

La identificación precisa de la madera es crucial para la industria forestal, ya que permite un manejo sostenible y adecuado de los recursos. Sin una identificación correcta, las políticas de conservación y el comercio pueden verse comprometidos (Flores, R., 2018). Sin un conocimiento detallado de las especies de madera y sus características específicas, se dificulta tanto la implementación de prácticas de aprovechamiento y medidas de conservación.

Históricamente, el interés por comprender la estructura interna de la madera viene de tiempos atrás, cuando los botánicos y naturalistas comenzaron a investigar las características de los árboles. Por lo cual disciplinas como botánica, dendrología y anatomía vegetal generan una raíz más específica en el estudio, conocida como anatomía de la madera.

Según (Seguel, 2023): La anatomía de la madera es el área de investigación en la que a través de diversos análisis se logra establecer la identificación de las especies leñosas y sus principales características físicas para tener mejores productos forestales y ayudar a la conservación de los bosques. (p.1)

Sin embargo, para realizar un estudio anatómico de madera, es fundamental garantizar la consistencia y precisión. La norma INEN 1163 establece el procedimiento para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas de las maderas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012). Lo que permite aportar información efectiva y completa de la descripción anatómica de las cinco especies forestales del Norte del Ecuador.

Ramírez y Velasco. (2020) mencionan en su estudio de diversidad y características de las especies forestales del Norte del Ecuador, que existe una escasez de información detallada sobre estas especies y se genera una necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor sus propiedades. Por ejemplo, la especie de nogal (*Juglans neotropica*) se destaca por su importancia ecológica y económica, pero se requiere más investigación para comprender plenamente su anatomía y su potencial para la conservación. El estudio proporciona una base

para futuras investigaciones anatómicas y de conservación.

Brosimum utile subsp. occidentale C.C. Berg, *Cedrela odorata.*, *Juglans neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., y *Virola dixonii* Little; especies forestales del Norte del Ecuador tienen una rica diversidad aún no documentada completamente, por lo que herramientas artificiales para la identificación de madera ayudan a reconocer y diferenciar estas especies mediante el análisis de sus características anatómicas, químicas y físicas. Esto facilita la conservación de especies nativas y endémicas, previene la explotación ilegal y promueve el uso sostenible de los recursos forestales.

En la actualidad, se han desarrollado aplicaciones digitales que utilizan inteligencia artificial y visión computacional para facilitar el control del comercio de madera mediante la identificación de especies. Estas herramientas están diseñadas para reconocer las características macroscópicas de la madera, mejorando así la precisión en la determinación de su especie (Li & Zhang, 2021).

Entre los ejemplos de aplicativos para identificación de madera se encuentran:

App de identificación de maderas: Desarrollada por el Grupo Operativo Identificación de maderas e inteligencia artificial (GO IMAI), esta aplicación utiliza un algoritmo propio de IA que puede reconocer hasta 400 especies diferentes de madera. Esta aplicación ha sido desarrollada en España.

App ID Maderas: Este aplicativo móvil forense proporciona asistencia técnica simple y eficiente para identificar 20 de las especies de madera más comercializadas. Esta herramienta fue desarrollada en Perú.

Lee y Kim (2018) destacan que las metodologías tradicionales para el análisis anatómico de la madera, como el uso de microscopios ópticos para examinar secciones delgadas de madera, son fundamentales para la identificación de especies. Sin embargo, también subrayan que las técnicas modernas, como la microscopía electrónica y la tomografía computarizada, han

revolucionado este campo al permitir un análisis más detallado y preciso de las estructuras internas de la madera. El aplicativo de identificación de la madera de la UTN, necesita ser alimentado con captura de imágenes de las cinco especies forestales seleccionadas y de los planos de los siguientes cortes:

Corte longitudinal: Es el corte paralelo al eje longitudinal de una pieza, que, a su vez, puede ser en el sentido radial, tangencial u oblicuo

Corte radial: Es el resultante de un corte longitudinal, paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento.

Corte transversal: Es el corte perpendicular al eje longitudinal de una pieza. (Grefa, 2021).

Martínez y López (2015) enfatizan la urgente necesidad de desarrollar bases de datos anatómicas detalladas para las especies forestales. Estos recursos son cruciales para mejorar la identificación y clasificación de las especies, facilitando así la gestión y conservación de los bosques. La creación de estas bases de datos permitiría un acceso más rápido y preciso a la información anatómica, beneficiando tanto a investigadores como a gestores de recursos forestales.

Estos aplicativos pueden ser de gran ayuda en la lucha contra el tráfico ilícito de maderas, ya que permiten a los agentes de aduanas y fuerzas de seguridad identificar rápidamente la especie de madera en un cargamento, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre su legalidad y origen.

Problema de investigación.

La identificación precisa de especies forestales mediante Inteligencia Artificial (IA) es una tarea crucial para la conservación de la biodiversidad, el control del comercio de madera y la gestión sostenible de los recursos forestales. Sin embargo, la generación de información anatómica detallada de la madera de diversas especies forestales enfrenta varios desafíos

significativos, ocasionados por la gran cantidad de especies maderables aprovechadas y la escasa información de las propiedades anatómicas de estas. Ecuador es un país que posee gran cantidad de especies forestales, las cuales son aprovechadas, transportadas y revisadas en los puntos de control fijos y móviles; en los cuales trabajan técnicos forestales, mismos que para identificar la madera usan métodos visuales y su eficiencia depende de la capacidad y experiencia del técnico; sin embargo esto ocasiona que no exista certeza y se registren especies que no corresponde a las declaradas en las guías de movilización; a esto se suma la limitada tecnología especializada en este campo; generando información o reportes que no se ajustan a la realidad del sector forestal nacional.

La identificación precisa de la madera requiere conocimientos especializados que no todos poseen, debido a que existen miles de especies de árboles en todo el mundo, de las cuales se han seleccionado cinco: *Brosimum utile subsp. occidentale* C.C. Berg, *Cedrela odorata*, *Juglans neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., y *Virola dixonii* Little, por su importancia económica, por su estado de conservación, y por su uso y demanda. Cada una tiene características únicas, lo que dificulta su identificación para quienes no están familiarizados con ellas. La incapacidad para identificar la madera puede llevar a una sobreexplotación de ciertas especies, lo que contribuye a la pérdida de biodiversidad forestal. Uno de los inconvenientes más prominentes es la falta de datos anatómicos detallados y estandarizados de muchas especies forestales. Aunque existen estudios anatómicos, estos suelen estar dispersos y no siempre disponibles en formatos que faciliten su integración en sistemas de IA. La recopilación de estos datos requiere acceso a muestras de madera de alta calidad y un conocimiento profundo de las características anatómicas específicas de cada especie. Por lo que se requiere generar una base de datos que contengan imágenes claras de los planos transversales de las especies seleccionadas para alimentar el aplicativo Wood Identifier UTN.

Justificación

Li y Zhang (2021) señalan en su estudio que, a pesar de los significativos avances en el uso de la inteligencia artificial para la identificación de plantas y madera a nivel global, aún existen importantes brechas tecnológicas en diversas regiones. La falta de desarrollo y aplicación de estas tecnologías limita la precisión y eficiencia en la clasificación y análisis de especies vegetales y madereras, lo que a su vez afecta la gestión adecuada de los recursos naturales.

Sin embargo, la Carrera de Ingeniería en Software ha desarrollado un aplicativo de identificación de madera (Wood Identifier UTN) en coordinación con la Carrera de Ingeniería Forestal, mismas que pertenecen a la gloriosa Universidad Técnica del Norte. El presente trabajo de investigación forestal cuenta con el material que se encuentra en los laboratorios de la CIF, mismos que permiten seguir alimentando al aplicativo el cual está siendo desarrollado con información base de imágenes de los cortes tangenciales, transversales y radiales de cinco especies forestales las cuales son: *Brosimum utile subsp. Occidentale* C.C. Berg *Cedrela odorata* L., *Junglas neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., *Virola dixonii* Little.

La información que se proporcionó en esta investigación sirvió como una guía efectiva para la identificación de la madera de las especies forestales a estudiar, proporcionando una base sólida para la aplicación práctica en el control forestal, como demanda del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Este enfoque sistemático no solo facilita la catalogación y conservación de las especies forestales, sino que también fortalece las estrategias de manejo y control forestal, permitiendo a los gestores forestales tomar decisiones informadas sobre la protección y el uso sostenible.

Los principales beneficiarios de la información son los profesionales forestales que realizan actividades de control en el Ministerio del Ambiente, estudiantes de la Carrera de

Ingeniería Forestal y la comunidad científica en general

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar información anatómica de la madera de cinco especies forestales para su identificación a través de inteligencia artificial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las características anatómicas de cinco especies forestales del Norte del Ecuador
- Generar una base de datos para la identificación de las cinco especies forestales a través de la identificación anatómica mediante imágenes de cortes transversales.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

- ¿Cuáles son las características anatómicas de las cinco especies forestales del Norte del Ecuador?
- ¿Cuáles serían los requerimientos de la base de datos, imágenes y características anatómicas en función de la identificación de cinco especies forestales?

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. La madera

La madera es un material biológico de origen vegetal que forma parte del tronco de los árboles. Su función principal es transportar agua y nutrientes del suelo hacia las hojas, dar soporte a las ramas que forman la copa y fijar las sustancias de reserva, almacenando los productos transformados en las hojas (Guanotoña, 2021).

Un reconocimiento exacto de las especies madereras asegura que las prácticas de tala y reforestación se realicen de manera responsable, evitando la sobreexplotación de especies vulnerables. Además, una identificación correcta es fundamental para la implementación de políticas de conservación que protejan la biodiversidad y mantengan los ecosistemas saludables. Sin un conocimiento detallado de las especies de madera y sus características específicas, se dificulta tanto la implementación de prácticas de aprovechamiento y medidas de conservación.

1.2. Anatomía de la Madera

La anatomía de la madera tiene como objetivo entender las características morfológicas y funcionales de la madera. Este estudio abarca el análisis microscópico de células y tejidos, proporcionando información esencial para aplicaciones en silvicultura, conservación de especies y desarrollo industrial (Black et al., 2005).

Según un estudio de 2016, la investigación anatómica de la madera ha permitido avances significativos en la mejora de técnicas de manejo forestal y en la creación de nuevos materiales derivados de la madera (Smith 2016).

Es una rama de la Biología que estudia directamente al xilema, leño o madera con el fin de:

- Conocerla y darle un uso correcto.

- Determinar especies

- Predecir usos adecuados.
- Prever el comportamiento del leño en procesos industriales.
- Evaluar la aptitud tecnológica de la madera.

1.2.1. Normas fundamentales

Para llevar a cabo un estudio anatómico de la madera, es esencial garantizar la consistencia y precisión del análisis. Por ello, existen normas clave que aseguran la calidad, seguridad y correcta descripción de la madera, entre las cuales se incluyen las siguientes:

La Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA) ha desarrollado un listado detallado de caracteres anatómicos que son esenciales para la identificación precisa de maderas duras. Este listado incluye descripciones específicas de estructuras celulares, patrones de porosidad y características de fibras, entre otros, que permiten a los investigadores y profesionales del sector forestal diferenciar entre diversas especies madereras de manera fiable.

Según (Jones, 2019) en su estudio reciente, la utilización de estos caracteres anatómicos facilita no solo la identificación, sino también la clasificación y el uso adecuado de la madera en diferentes industrias. Estas directrices son cruciales para garantizar que las prácticas de manejo forestal y comercialización de madera se realicen de manera sostenible y responsable.

Las normas COPANT N° 30(1-19), establecidas por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, complementan el trabajo de la IAWA al proporcionar un conjunto de estándares y métodos consistentes para la investigación de la madera. Estas normas abordan aspectos cruciales como la preparación de muestras, técnicas de observación y criterios de evaluación de características anatómicas.

Un estudio reciente destaca que la implementación de las normas COPANT ha mejorado significativamente la precisión y reproducibilidad de los estudios anatómicos de la madera, facilitando así la cooperación internacional en la investigación forestal (Martínez,

2017).

Al proporcionar un marco común, estas normas no solo promueven la coherencia y precisión en la identificación de especies madereras, sino que también apoyan la conservación de los recursos forestales y el comercio legal y sostenible de madera.

1.2.2. Propiedades anatómicas macroscópicas y microscópicas de la madera

La norma INEN 1163 establece el procedimiento para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas de las maderas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012), lo cual aporta información efectiva y completa de la descripción anatómica de las especies forestales del Ecuador.

1.2.2.1. Propiedades macroscópicas

A nivel macroscópico, la madera se evalúa por características visibles como el color, sabor, brillo, vetado, textura, grano y los anillos de crecimiento.

Estas propiedades están determinadas por la estructura anatómica de la madera, la cual varía según la especie y las condiciones de crecimiento. En este sentido, la identificación macroscópica de la madera se fundamenta en la observación de estas características, que pueden apreciarse a simple vista o con una lupa de baja magnificación (Crivellaro, 2023).

- Los anillos de crecimiento son visibles en una sección transversal de un tronco, y representan los ciclos anuales de crecimiento del árbol (García, 2018).

- El color es una pigmentación presente en la estructura de la madera, y se realiza mediante la técnica de observación visual mediante la tabla Munshell de la madera, puede variar ampliamente entre especies y es influenciado por factores como el contenido de extractivos y la exposición a la luz.

- El sabor, es una sensación gustativa de la madera ya sea (amarga, agria, dulce, etc.), y se lo realiza través del sentido del gusto.

- El brillo es la exposición de la luz directa y en la sección radial de la muestra, se lo

realiza a través de la observación visual

- El veteado es el patrón formado por las fibras y los vasos de la madera, y puede ser una característica estética, se lo realiza de forma visual.

- La textura describe la suavidad o aspereza de la superficie de la madera y está relacionada con el tamaño y la disposición de sus células, y se lo realiza con el sentido del tacto.

- El grano se refiere a la orientación de las fibras de la madera, y puede ser recto, entrelazado, ondulado o irregular, lo cual influye en su trabajabilidad y resistencia, se lo realiza de forma visual.

1.2.2.2. Propiedades microscópicas

En cuanto a las propiedades microscópicas, estas incluyen la organización y estructura celular de la madera, que pueden observarse a través de lupas, microscopios ópticos o electrónicos. Estos instrumentos permiten visualizar la disposición de los vasos, fibras y otros componentes anatómicos esenciales de la madera.

Mientras que los microscopios ópticos proporcionan una visión general de la anatomía de la madera, los microscopios electrónicos ofrecen una resolución mucho más alta, permitiendo un examen detallado de las paredes celulares y otras características submicroscópicas (González, 2018).

Vasos: Son agrupaciones de células ubicadas en la sección transversal de la madera, conocidos como poros, y desempeñan un papel fundamental en el transporte de agua y sales minerales a lo largo del árbol. Estas aberturas facilitan el flujo de líquidos dentro del tejido leñoso, asegurando así el suministro adecuado de nutrientes a todas las partes del organismo vegetal (Smith & Jones, 2020).

Poros

La porosidad de la madera se refiere a la variabilidad en cantidad y tamaño de los poros

a lo largo de los anillos de crecimiento. Gonzales (2008) menciona cómo esta característica puede variar significativamente entre especies y dentro de individuos, influenciada por factores genéticos y ambientales.

1. Ubicación: El autor (González, 2019) categoriza la ubicación de los poros en diferentes patrones:

- Circular: Caracterizado por poros grandes al inicio del anillo de crecimiento que disminuyen en tamaño hacia el final, formando un anillo con paredes delgadas.
- Semicircular: Similar al patrón circular, pero con una transición gradual de poros grandes a pequeños a lo largo del anillo.
- Difusa: Poros distribuidos uniformes o casi uniformes a lo largo del anillo de crecimiento, dificultando la distinción entre madera temprana y tardía por falta de un patrón claro de variación.

2. Tamaño: Según (Barañaño, 2008), los poros se clasifican en tres categorías según su tamaño:

- Grandes: Son poros fácilmente visibles a simple vista debido a su tamaño considerable.
- Medianos: Estos poros son de tamaño intermedio y aún son perceptibles a simple vista, aunque pueden requerir algo de esfuerzo para su observación detallada (García, 2015).
- Pequeños: Por último, los poros pequeños son tan diminutos que su observación directa a simple vista es imposible, necesitándose herramientas como lupas o microscopios para su visualización detallada (Martínez, 2020).

3. Disposición: En relación con la orientación de los poros respecto a los radios de la madera, se identifican varios patrones según Kollmann y Cote (1968):

- Radial o flamiforme: Los poros están dispuestos en filas paralelas a los radios

de la madera.

- Radial – oblicua: Los poros se encuentran en filas paralelas y oblicuas con respecto a la orientación de los radios.
- Patrón dendrítico: Este patrón muestra una disposición de poros similar a "ramificaciones" que se extienden en varias direcciones.
- Bandas tangenciales: Los poros están organizados en líneas o bandas perpendiculares a la dirección de los radios.
- Sin ningún patrón definido: Los poros están dispuestos de manera aleatoria sin seguir un patrón específico (Gómez, 2015).

4. Agrupación: Según Chavesta (2012) la agrupación de los poros se refiere al grado de contacto entre ellos, identificando varios tipos:

- Poros exclusivamente solitarios: Poros que no están en contacto entre sí y están completamente separados unos de otros.
- Múltiples: Poros que están en contacto directo entre sí.
- Múltiples radiales: Poros que están en contacto solo por sus paredes tangenciales.

Parénquima

El parénquima axial se define como el tejido que almacena la xilema y muestra una proporción mayor en árboles de hoja ancha en comparación con las coníferas (Smith, 2013). Este tipo de parénquima se distingue por sus células que tienen paredes no lignificadas y degradadas, puntuaciones simples, y una forma rectangular o fusiforme en los cortes longitudinales (García, 2016).

La distribución del parénquima xilemático muestra diversos tipos intermedios. La relación espacial de los vasos en cortes transversales permite clasificarlo en dos tipos principales:

- Parénquima Apotraqueal: No asociado directamente con los vasos, y puede presentarse de forma difusa, en agregados o en bandas marginales (Martínez, 2018).
- Parénquima Paratraqueal: Estrechamente asociado con los vasos, y puede manifestarse en formas como escaso, unilateral, vasicéntrico, aliforme, o confluyente coalescente (López, 2019).

Radios

Los radios de la madera desempeñan un rol fundamental en el almacenamiento y la conducción transversal de nutrientes, exhibiendo una amplia diversidad en cuanto a forma, tamaño y composición celular (García, 2015). Se distinguen dos tipos principales de radios:

- Homogéneos: Compuestos mayormente por células horizontales o procumbentes en sección radial, con una hilera marginal de células generalmente más altas que las del centro (Martínez, 2018).
- Heterogéneos: Formados por una combinación de células procumbentes, cuadradas o verticales en diversas disposiciones (López, 2019). Según investigaciones actuales, los radios heterogéneos se clasifican en tres tipos principales:
 - Tipo I: Radios multiseriados con células erectas o cuadradas, con extremidades uniseriadas del mismo grosor o más largas que la parte multiseriada (Smith, 2005).
 - Tipo II: Radios uniseriados que incluyen células verticales y cuadradas, con una fila marginal de células erectas o uniseriadas (Gómez, 2010).
 - Tipo III: Radios multiseriados con una mezcla de células procumbentes o cuadradas. La preparación de muestras para el análisis microscópico es un proceso delicado que requiere técnicas específicas para preservar la integridad

de la estructura celular.

La preparación adecuada de las secciones de madera incluye fijación, deshidratación, y corte en secciones finas que luego se tiñen para resaltar las diferentes partes celulares. Estas técnicas son fundamentales para estudios detallados que buscan comprender cómo las propiedades microscópicas influyen en el comportamiento macroscópico de la madera (SpringerLink, 2021).

1.3. Valor comercial de las especies a estudiar

El valor comercial de la madera de especies latifoliadas en Ecuador es significativo debido a la alta calidad y diversidad de estas maderas. Especies como la *Junglas neotropica*, *Cedrela odorata*, etc son especialmente valoradas por su resistencia y durabilidad, lo que las hace ideales para la fabricación de muebles finos y productos de construcción.

Según Rodríguez y Pérez (2018) estas maderas son apreciadas tanto en el mercado nacional como internacional, generando ingresos sustanciales para las comunidades locales y contribuyendo al desarrollo económico de la región.

La explotación de estos recursos, sin embargo, debe manejarse de manera sostenible para evitar la sobreexplotación y garantizar su disponibilidad a largo plazo. La industria maderera en Ecuador enfrenta diversos desafíos, incluyendo la necesidad de implementar prácticas de manejo forestal sostenible.

Investigaciones de (García, 2019) señalan que la certificación forestal y la adopción de técnicas de manejo sostenible son esenciales para mantener la competitividad en el mercado global y asegurar la conservación de los bosques. Estas prácticas no solo ayudan a preservar la biodiversidad, sino que también mejoran la calidad de la madera y aumentan su valor en el mercado. La inversión en tecnología y capacitación de los trabajadores forestales es crucial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción maderera.

Puntos de control y tráfico ilegal en Ecuador, los puntos de control de la madera son

fundamentales para regular el comercio y prevenir la tala ilegal. Según (Martínez y López, 2020), la implementación de controles rigurosos en los puntos de extracción, transporte y comercialización de madera ha demostrado ser eficaz para reducir las actividades ilegales y promover un comercio responsable. Estos puntos de control no solo verifican la legalidad de la madera transportada, sino que también aseguran que se cumplan las normativas ambientales y de sostenibilidad. Además, la colaboración entre autoridades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales es esencial para fortalecer estos mecanismos de control y garantizar la trazabilidad de la madera desde su origen hasta el consumidor final.

A pesar de los esfuerzos para regular y controlar el comercio de madera, aún existen desafíos significativos en la implementación de políticas efectivas. La corrupción y la falta de recursos son obstáculos importantes que dificultan la vigilancia y el cumplimiento de las leyes forestales (Flores & Martínez, 2018). Además, la demanda creciente de madera en los mercados internacionales puede incentivar prácticas insostenibles si no se implementan mecanismos de control adecuados.

Por ello, es vital continuar desarrollando y fortaleciendo los sistemas de monitoreo y control, así como promover la educación y concienciación sobre la importancia de la gestión forestal sostenible. Solo a través de un enfoque integral que incluya la participación de todos los actores involucrados se podrá asegurar la protección de los recursos forestales de Ecuador y el mantenimiento de su valor comercial a largo plazo.

El tráfico ilegal de madera y la falta de identificación adecuada de las especies son problemas persistentes en Ecuador que amenazan tanto la economía como el medio ambiente. Según un estudio de Meza y Pacheco (2019) la tala ilegal representa un porcentaje significativo del comercio de madera en el país.

Según Martínez y Gómez (2021) la falta de conocimiento detallado sobre las especies de madera puede limitar significativamente la capacidad de implementar prácticas efectivas

de conservación y utilización sostenible de los recursos forestales. La identificación precisa de la madera es crucial para la industria forestal, ya que permite un manejo sostenible y adecuado de los recursos. Sin una identificación correcta, las políticas de conservación y el comercio pueden verse comprometidos (Flores, R, 2018).

Sin un conocimiento detallado de las especies de madera y sus características específicas, se dificulta tanto la implementación de prácticas de aprovechamiento y medidas de conservación. Ramírez y Velasco (2020) mencionan en su estudio de diversidad y características de las especies forestales del Norte del Ecuador, que existe una escasez de información detallada sobre estas especies y se genera una necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor sus propiedades.

Por ejemplo, la especie de nogal (*Juglans neotropica*) se destaca por su importancia ecológica y económica, pero se requiere más investigación para comprender plenamente su anatomía y su potencial para la conservación. El estudio proporciona una base para futuras investigaciones anatómicas y de conservación. *Brosimum utile subsp. occidentale* C.C. Berg, *Cedrela odorata* L, *Juglans neotropica*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., y *Virola dixonii* Little; especies forestales del Norte del Ecuador tienen una abundante diversidad aún no documentada.

1.4. Especies para estudiar

Según (González y Pérez, 2020), el estudio de la anatomía de la madera permite entender su estructura interna, propiedades físicas y resistencia, aspectos fundamentales para determinar su uso potencial en diferentes aplicaciones industriales y artesanales. Además, este conocimiento facilita la identificación precisa de especies, esencial para cumplir regulaciones legales y comerciales en el comercio internacional de madera.

Por ende, se detalla las características de las cinco especies a estudiar: *Brosimum utile subsp. Occidentale* C.C. Berg: Características organolépticas: Color: Albura: blanco cremoso,

duramen marrón pálido. Veteado: en el corte tangencial, arcos superpuestos no muy visibles, en el radial jaspeado generado por las líneas vasculares más oscuras y anillos de crecimiento. Olor: ausente o no distintivo. Sabor: ausente o no distintivo. Lustre: mediano. Grano: generalmente recto, a veces ligeramente entrecruzado. Textura: gruesa. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.53)

Características anatómicas macroscópicas: Poros: visibles a simple vista, solitarios y múltiples radiales y racemosas de 2 a 3 algunos con escasos tilides. Parénquima: Mejor visibles con lupa de 10X, mayormente de tipo para traqueal aliforme de ala fina y confluyente. Radios: visibles a simple vista, sin estratificación. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.53)

Características anatómicas de las cinco especies a estudiar.

Cedrela odorata L.: Características organolépticas: Se registró una albura rosada a marrón rojizo, duramen de color rojizo a pardo, olor fuerte característico aromático, sabor astringente, con poco brillo, grano en ocasiones ligeramente entrecruzado, textura mediana y suave al tacto, veteado con arcos superpuestos poco visibles. (González-Luna, y Cruz-Castillo, 2021, p.6).

Características anatómicas macroscópicas: Sección transversal. Esta sección presentó porosidad débilmente circular a semicircular; vasos solitarios y múltiples en grupos de 2- 4 de tamaño medianos a grandes, frecuentemente con gomas oscuras; radios de tamaño mediano y de abundancia promedio; parénquima marginal, algunas veces débilmente vasicéntrico, algunas veces apotraqueal difuso. (González-Luna, y Cruz-Castillo, 2021, p.7).

Junglas neotropica Diels: Características organolépticas: Se observa que la transición entre albura y duramen puede ser abrupta o de manera gradual, claramente diferenciada. El veteado es bien definidos, en arcos superpuestos, tanto la albura como el duramen presentan líneas definidas donde se evidencia la unión de un color claro y un muy oscuro. El brillo es

medio o raramente medio intenso. La textura es de media a fina.

Características anatómicas: Porosidad semicircular, poros solitarios y múltiples; parénquima axial en finas bandas. (Arcos, C. et al., 2023, pp. 664-665).

Andira inermis (W. Wright) Kunth ex DC: Características organolépticas: Color: Albura: Crema marrón claro, duramen marrón rojizo, jaspeado con el color crema del parénquima. Veteado: arcos superpuestos producidos por el contraste de abundantes y anchas bandas de parénquima cremoso con las bandas marrón oscuro del leño tardío, presente también un jaspeado generado por el parénquima y el leño tardío. Grano: Generalmente recto, algo entrecruzado. Textura: Media. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.37)

Características anatómicas macroscópicas: Poros: mejor visibles con lupa 10X, mayormente solitarios, en menor proporción múltiples radiales de 2 a 3 poros, eventualmente de más. Porosidad difusa. Parénquima: Un alto porcentaje del leño está constituido por paratraqueal lignificado en bandas anchas de color marrón claro y parénquima aparentemente terminal en líneas. Radios: finos, mejor visibles con lupa 10X, sin estratificación. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.37)

Virola dixonii Little: Características organolépticas: Color: Albura: crema amarillenta, duramen marrón claro. Veteado: jaspeado producido por los vasos de coloración marrón oscuro originado por exudaciones. También arcos superpuestos poco visibles producidos por los anillos. Olor: ausente o no distintivo. Sabor: ausente o no distintivo. Lustre: medio. Grano: generalmente recto. Textura: media a gruesa. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.399) Características anatómicas macroscópicas: Poros: mejor visibles con lupa 10 X, la mayoría múltiples radiales comúnmente de 2 poros, eventualmente de 3; pocos solitarios, algunos con depósitos de sílice o gomas oscuras. Porosidad difusa. Parénquima: mejor visible con lupa 10X, paratraqueal

vasicéntrico angosto, escaso apotraqueal difuso. Radios: mejor visibles con lupa 10 X, finos, no estratificados. (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica et al. [MAATE], 2021, p.399)

Estas estructuras varían entre especies y están organizadas de manera única en cada tipo de madera (Kozlowski, 2016).

1.5. Inteligencia Artificial (IA) en Anatomía de la Madera

Herramientas artificiales para la identificación de madera ayudan a reconocer y diferenciar estas especies mediante el análisis de sus características anatómicas, químicas y físicas. Esto facilita la conservación de especies nativas y endémicas, previene la explotación ilegal y promueve el uso sostenible de los recursos forestales.

En la actualidad, se han desarrollado aplicaciones digitales que utilizan inteligencia artificial y visión computacional para facilitar el control del comercio de madera mediante la identificación de especies.

La microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microtomografía de rayos X (X-ray CT) permiten examinar la estructura interna de la madera con una resolución sin precedentes, proporcionando imágenes tridimensionales detalladas (Zhou, 2017). El modelado computacional y la simulación numérica permiten predecir y evaluar las propiedades mecánicas y de comportamiento de la madera en diferentes condiciones ambientales y de carga (Li, 2019).

A pesar de los avances, existen desafíos continuos en la investigación y aplicación práctica de la anatomía de la madera, guiando futuras investigaciones para mejorar la comprensión y gestión de los recursos forestales. La estandarización de técnicas de imagen, la integración de datos multidisciplinarios y la mejora de la accesibilidad a herramientas avanzadas son fundamentales.

La identificación de características anatómicas específicas y su variabilidad dentro de

las especies siguen siendo áreas críticas de investigación (Zhao, 2021). En tecnología, los sistemas automatizados de reconocimiento de especies de madera basados en el análisis de imágenes macroscópicas han demostrado ser herramientas efectivas para identificar rápidamente y precisa diferentes tipos de madera. Estos sistemas usan técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático para clasificar especies de madera, algo útil en la industria maderera y en aplicaciones forenses (Fuentealba, 2022).

Lee y Kim (2018) destacan que las metodologías tradicionales para el análisis anatómico de la madera, como el uso de microscopios ópticos para examinar secciones delgadas de madera, son fundamentales para la identificación de especies. Sin embargo, también subrayan que las técnicas modernas, como la microscopía electrónica y la tomografía computarizada, han revolucionado este campo al permitir un análisis más detallado y preciso de las estructuras internas de la madera.

El aplicativo de identificación de la madera de la UTN, necesita ser alimentado con captura de imágenes de las cinco especies forestales seleccionadas y de los planos de los siguientes cortes: Corte longitudinal, corte radial y corte transversal

Martínez y López (2015) enfatizan la urgente necesidad de desarrollar bases de datos anatómicas detalladas para las especies forestales. Estos recursos son cruciales para mejorar la identificación y clasificación de las especies, facilitando así la gestión y conservación de los bosques. La creación de estas bases de datos permitiría un acceso más rápido y preciso a la información anatómica, beneficiando tanto a investigadores como a gestores de recursos forestales. Estos aplicativos pueden ser de gran ayuda en la lucha contra el tráfico ilícito de maderas, ya que permiten a los agentes de aduanas y fuerzas de seguridad identificar rápidamente la especie de madera en un cargamento, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre su legalidad y origen.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación según los siguientes criterios:

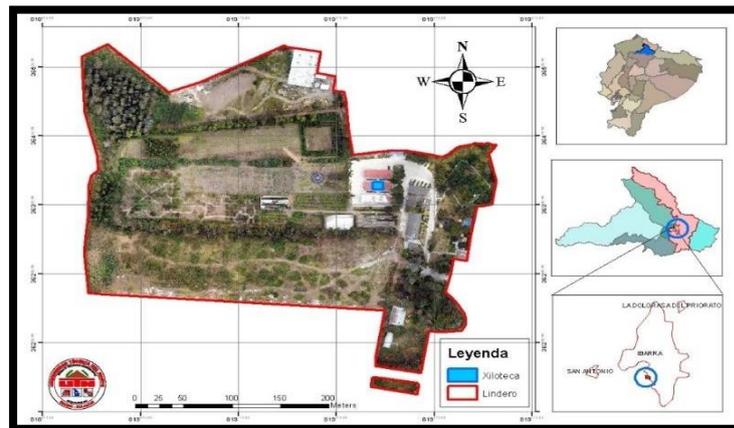
- Tienen un enfoque cualitativo, ya que la investigación no recoge datos numéricos, sino que se centran en describir detalladamente las situaciones observadas y sus manifestaciones.
- Tiene un alcance o nivel de profundidad descriptiva ya que se formulan descripciones e interpretaciones de la población de estudio.
- El diseño de investigación es no experimental debido a que no se manipulan variables si no que se basa fundamentalmente en la observación de los fenómenos para luego analizarlos.
- El tiempo es sincrónico ya que se estudian las variables de manera simultánea en un momento dado, recolectando los datos en un tiempo único.
- El lugar es en un laboratorio ya que se necesitan instrumentos y equipos que darán lugar a la investigación

2.2. Ubicación del lugar

- Política: Caranqui, Ibarra, Imbabura
- Geografía del sitio investigación: coordenadas: N°19'43.5828'', W78°7'53.3456''

Figura 1

Mapa de ubicación del laboratorio de Anatomía de la Madera y Xiloteca.



Nota. La figura muestra la ubicación geográfica del laboratorio de anatomía de la madera y la xiloteca de la Universidad Técnica del Norte del año 2024, dentro del campus Yuyucocha.

Fuente: Varela, G. (2024).

- Límites: Al norte calle Marco Tulio Hidrovo, al este Pje F, al sur Armando Hidrovo, al oeste Lahar del Imbabura

2.3. Caracterización edafoclimática del lugar

- Suelo: de acuerdo con datos del Instituto geográfico militar dos tipos de suelos textura franco arcilloso y franco (Instituto Geográfico militar, 2024).
- Entre el 3 y 5% de materia orgánica (Instituto Geográfico militar, 2024).
- Clima: Precipitación datos de instituto geográfico militar se tienen Isoyetas precipitación anualmente entre 500 y 750 mm de lluvia (Instituto Geográfico militar, 2024).
- Isoyetas 12 a 14° C con información del Instituto Geográfico Militar

2.4. Materiales, equipos y software

Tabla 1.

Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos	Software Excel Word
	Lupas	Cámara fotográfica	Microsoft Word
	Probetas de madera	Computador HP	Microsoft Excel
	Muestras de madera	Estereoscopio	Microsoft Power
	Cuchilla	Microscopio	Point
		Calibrador digital	

Nota: Fuente propia

2.5 Métodos, técnicas e instrumentos.

2.5.1 Universo-población.

En el Ecuador se aprovechan 700 especies forestales por su madera, las cuales se encuentran registradas en el sistema de administración forestal SAF.

2.5.2 Tamaño de la muestra.

Se consideró como tamaño de la muestra a las 5 especies *Brosimum utile* subsp. *Occidentale* C.C. Berg *Cedrela odorata*, *Junglas neotropica* Diels, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., *Virola dixonii* Little de las cuales se obtuvieron 500 fotografías de cortes transversal de sus respectivas muestras y probetas de madera.

El material para investigar proviene del proyecto CÁTALOGO DE ESPECIES FORESTALES MAE-FAO-PROA Amazonía 2020 donadas por el Ministerio del Ambiente a la Universidad Técnica del Norte y del programa de Nogal de la Carrera de Ingeniería Forestal de la UTN.

Las cinco especies fueron seleccionadas por su importancia económica, por su estado de conservación, por su uso y demanda.

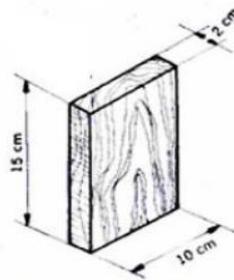
2.6 Matriz de operacionalización de variables.

Objetivo 1: Descripción de las características anatómicas de cinco especies forestales del Noroccidente del Ecuador.

En el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca ubicado en el campus Yuyucocha se determinó las características anatómicas en las muestras de Xiloteca como se muestra en la figura 2, mediante el uso de una lupa 10 X de acuerdo con la norma COPANT N.º 30:1- 019. Se realizó un corte en la sección transversal con el fin de visualizar los diferentes tipos de poros, radios y sus parénquimas.

Figura 2

Muestra para descripción de las características macroscópicas.



Nota. Tomado de Norma COPANT 459 (1972)

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012) la Norma INEN 1163 es un método para la descripción de las características generales macroscópicas y microscópicas de la madera, aplicable a todas las especies de madera, tanto comerciales como no comerciales, y utilizada por profesionales en botánica, silvicultura, y tecnología de la madera, misma que se utilizó en el objetivo 1.

Objetivo 2: Generar una base de datos para la identificación de las cinco especies forestales a través de la identificación anatómica mediante imágenes de cortes transversales.

1. Selección de especies

- Definir criterios de selección (por ejemplo, relevancia ecológica y

económica)

2. Preparación de muestras y obtención de imágenes

Cortes transversales

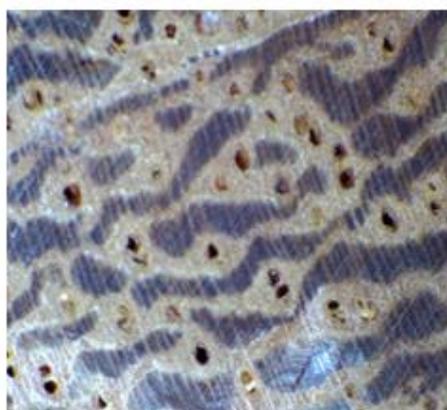
- Utilizar una cuchilla para cortar la parte transversal de las muestras y probetas de madera de las cinco especies
- Asegurar un grosor adecuado para la observación anatómica

Captura de imágenes

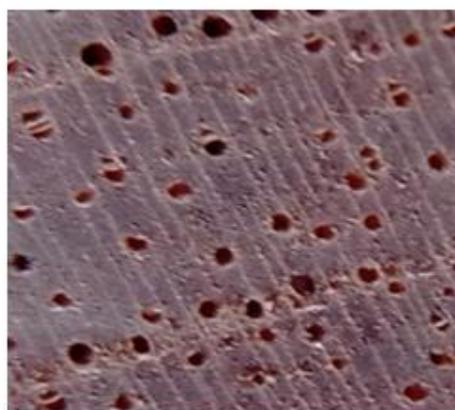
- Utilizar un microscopio con una cámara digital
- Configurar parámetros estandarizados (iluminación, contraste, aumento, formato)

Figura 3

Captura de imágenes de cortes transversales de las especies Andira inermis y Cedrela odorata.



Chonta caspi



Cedro

Nota: Imagen proporcionada por desarrollador del aplicativo móvil FICA

En el presente objetivo se determinó los siguientes ítems:

- **Calidad:** Alta.
- **Iluminación:** Utilizar iluminación constante y adecuada, evitando sombras fuertes y

reflejos.

- **Zoom (2.5):** Lo suficiente donde se pueda apreciar texturas que tiene cada tipo de madera (Como las imágenes anteriores suficiente).
- **Corte:** Transversal de preferencia.
- **Tamaño:** mínimo 1000x1000.
- **Formato:** JPG o PNG (todas en el mismo formato).
- **Muestras:** Importante de diferentes individuos o muestras (No repetir las mismas imágenes).

Nota: Las imágenes no deben ser enviadas por mensajería instantánea debido a que por este medio se pierde calidad en la resolución.

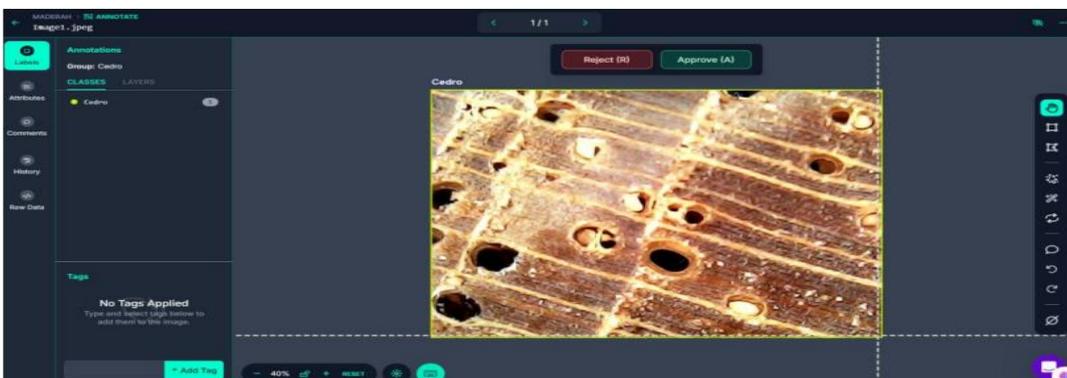
3. Anotación y clasificación de imágenes

Anotación anatómica

- Identificar y etiquetar características anatómicas clave (poros, radios y parénquima)
- Utilizar software de anotación de imágenes (plataforma Roboflow)

Figura 4

Anotación de imágenes con la plataforma Roboflow de Cedrela odorata.



Nota: Imagen proporcionada por desarrollador del aplicativo móvil FICA

Clasificación taxonómica

- Asignar etiquetas taxonómicas (familia, género, especies)

4. Diseño y desarrollo de la base de datos

Tecnología y herramientas

- Gestor de base de datos: ResNet arquitectura de red neuronal

Para este objetivo, se capturaron imágenes de cortes transversales de las especies. La toma de imágenes se enfocó únicamente en las áreas clave, lo que resulta fundamental para garantizar la precisión en el entrenamiento de la red neuronal convolucional.

2.7 Procesamiento y análisis de datos

Como la investigación es cualitativa, se realizó un análisis descriptivo con la Norma INEN 1163 y para la toma de fotografías se usó una cámara que garantice la resolución, capturando las variables permitiendo nitidez y que esto ayude que el aplicativo tenga una mayor certeza de identificación.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies *Andira inermis*, *Brosimum utile*, *Cedrela odorata* y *Virola dixonii* son parte de un estudio realizado bajo el proyecto "CÁTALOGO DE ESPECIES FORESTALES MAE-FAO-PROA Amazonía 2020", que consistió en la donación de muestras por parte del Ministerio del Ambiente a la Universidad Técnica del Norte. *Juglans neotropica*, proveniente del programa de Nogal de la Carrera de Ingeniería Forestal de la UTN, tiene una edad de 18 años. Este conjunto de especies ha sido estudiado para describir tanto sus características organolépticas como anatómicas.

Tabla 2.

Características macroscópicas (Organolépticas)

Especie	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	<i>Brosimum utile</i> subsp. <i>occidentale</i> C.C. Berg	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Juglans neotropica</i> Diels	<i>Virola dixonii</i> Little
PROBETA (Tangencia 1)					
Color	Crema y marrón rojizo 10R (6/ 12) y (4/12)	Blanco cremosa 5YR (8/8)	Rojo amarillento 2.5YR (8/10)	Café oscuro 2.5YR (4/6)	Crema amarillenta 2.5Y (8.5/6)
Olor	Ausente	Ausente	Agradable	Aromático	Ausente
Sabor Grano	Ausente Recto a entrecruzado	Ausente Recto	Amargo Recto	Ausente Recto	Ausente Recto
Brillo Textura	Medio Media	Media Media	Medio Media a gruesa	Bajo Media	Medio Media
Veteado	Jaspeado	Jaspeado satinado	Jaspeado	Jaspeado satinado	Jaspeado y satinado

Los resultados indican que las cinco especies muestran diferencias en el **color** de la madera. *Andira inermis* presenta un tono crema y marrón rojizo, mientras que *Brosimum utile* tiene un color blanco cremoso. Por otro lado, *Cedrela odorata* se caracteriza por un rojo amarillento, *Juglans neotropica* es de un café oscuro, y *Virola dixonii* muestra un tono crema amarillento.

En cuanto al **olor**, las especies *Andira inermis*, *Brosimum utile* y *Virola dixonii* presentan un aroma desagradable. En contraste, *Cedrela odorata* se distingue por un olor agradable, mientras que *Juglans neotropica* tiene un aroma característico y aromático.

Respecto al **sabor**, la mayoría de las especies (*Andira inermis*, *Brosimum utile*, *Juglans neotropica* y *Virola dixonii*) no tienen sabor perceptible. Sin embargo, *Cedrela odorata* presenta un sabor amargo, lo que la diferencia del resto.

El **grano** también varía entre las especies. En *Andira inermis*, el grano puede ser recto o entrecruzado, mientras que en *Brosimum utile*, *Cedrela odorata*, *Juglans neotropica* y *Virola dixonii*, el grano es recto.

En términos de **brillo**, *Andira inermis*, *Brosimum utile*, *Cedrela odorata* y *Virola dixonii* tienen un brillo medio, mientras que *Juglans neotropica* se caracteriza por un brillo bajo.

La **textura** de la madera es media en *Andira inermis*, *Brosimum utile*, *Juglans neotropica* y *Virola dixonii*. Por su parte, *Cedrela odorata* difiere ligeramente, ya que su textura es media a gruesa.

Finalmente, el **veteado** de *Brosimum utile*, *Juglans neotropica* y *Virola dixonii* es jaspeado satinado, mientras que en *Andira inermis* y *Cedrela odorata* el veteado es simplemente jaspeado.

Estas diferencias en color, olor, sabor, grano, brillo, textura y veteado resaltan la diversidad de características entre las especies analizadas.

Andira inermis: Esta madera es conocida por su duramen de color marrón rojizo a marrón oscuro, con una textura de media a gruesa y grano entrecruzado. Aunque se clasifica como una madera con brillo medio, no se menciona un olor específico en estado seco, contrastando con los datos que indican olor desagradable fresco (Téllez et al., 2009).

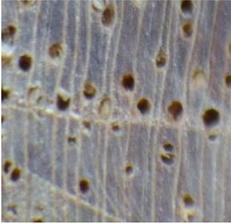
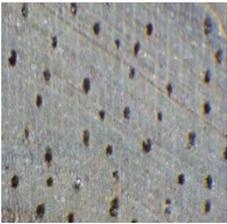
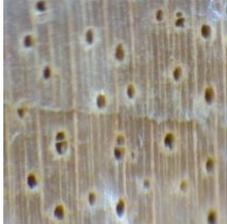
Brosimum utile: La albura es de color blanco cremoso y el duramen crema o amarillo pálido, pero tiende a perder el olor al secarse. Además, el grano puede ser recto o entrecruzado, con un brillo más alto, sugiriendo diferencias en la percepción o preparación de la madera. (Universidad de Guadalajara, 2024).

Cedrela odorata: Aunque comúnmente el color reportado es rojizo amarillento y se reconoce su olor característico (fresco, agradable), su textura varía de media a gruesa dependiendo de la región de origen. Este estudio coincide con la textura más heterogénea de la especie (Gálvez et al., 2020).

Juglans neotropica: La madera presenta tonos café oscuro homogéneos, con grano recto y un vetado distintivo. No obstante, no todas las fuentes coinciden en que su textura sea media; en algunos casos, es descrita como ligeramente más fina. El olor se mantiene como un atributo aromático (Toro et al., 2018).

Virola dixonii: A diferencia de *Virola surinamensis*, conocida como "ucuúba", es una especie destacada del género *Virola*, ampliamente estudiada por sus características anatómicas. Su madera se distingue por su porosidad difusa, que le confiere una textura gruesa. El parénquima axial es escaso y de distribución difusa, mientras que las fibras son mayoritariamente libriformes con paredes celulares gruesas, lo que aporta densidad y resistencia a la madera (Loureiro et al., 1989).

Tabla 3.*Estructuras macroscópicas de la madera 10X*

NOMBRE COMÚN NOMBRE CIENTÍFICO	PLANO MACROSCÓPICO O (TANGENCIAL)	CORTE (TRANSVERSAL) 10X	CORTE (TANGENCIAL) 10X	CORTE (RADIAL) 10X
Chonta caspi <i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC				
Sande <i>Brosimum utile</i> subsp. <i>occidentale</i> C.C. Berg				
Cedro <i>Cedrela odorata</i> L.				
Nogal <i>Junglas neotropica</i> Diels				
Chalviande <i>Virola dixonii</i> Little				

1. Chonta Caspi, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC, FABACEAE

Corte transversal

Anillos de crecimiento: bastante diferenciados; porosidad por su *ubicación*: difusa, por su *forma*: redonda; por su *tamaño*: mediano; por la *cantidad*: moderadamente pocos; por la *disposición*: ningún patrón definido; por la *agrupación*: múltiples radiales de 2 a 3 poros; por su *contenido*: sin ningún tipo de inclusión. *Parénquima*: paratraqueal

Radios: no estratificado.

Corte tangencial

Vetado en arcos superpuesto productos de la coloración oscuras y claras en los anillos de crecimiento solo en ciertas secciones específicas del corte; vasos finos y continuos que dejan segmentos de coloración amarillenta verdosa, en la cara de la madera

Corte radial

Arcos superpuestos producidos por el contraste de abundantes y anchas bandas de parénquima cremoso.

Andira inermis: Chonta Caspi tiene vasos medianos, moderadamente pocos, agrupados en radiales de 2 a 3 poros, sin inclusiones, y un parénquima paratraqueal. Sin embargo (Richter et al., 2000) incluye que esta especie tiene vasos grandes, pocos poros por milímetro cuadrado, en filas radiales cortas, sin tilosis, pero con posibles depósitos internos, y un parénquima aliforme confluyente en bandas a diferencia de la investigación realizada.

2. Sande, *Brosimum utile* subsp. *occidentale* C.C. Berg, MORACEAE

Corte transversal

Anillos de crecimiento: no distinguibles; porosidad por su *ubicación*: difusa, por su *forma*: redonda; por su *tamaño*: mediano; por la *cantidad*: muchos; por la *disposición*: ningún patrón definido; por la *agrupación*: múltiples radiales de 2 a 3 poros; por su *contenido*: escaso contenido de tilides. *Parénquima*: paratraqueal aliforme

Radios: Sin estratificación.

Corte tangencial

Arcos superpuestos no muy visibles, con un grano recto ligeramente entre cruzado

Corte radial

Jaspeado generado por las líneas vasculares más oscuras

***Brosimum utile*:** Un estudio reciente sobre esta especie realizada en Timbiquí, Cauca, Colombia, destaca características anatómicas que contrastan con las características anatómicas de Sande. Según (Parada et al.,2021), esta especie presenta anillos de crecimiento visibles, identificados mediante técnicas dendrocronológicas. Además, el parénquima es aliforme y confluyente, y la madera es clasificada como de textura media y color uniforme, lo que coincide parcialmente con las observaciones de vetas uniformes en cortes radiales y tangenciales mencionadas en descripciones tradicionales. Sin embargo, estas investigaciones subrayan diferencias en la estructura de los vasos y los patrones de crecimiento, destacando su influencia por factores climáticos y edad del árbol.

3. Cedro, *Cedrela odorata* L., MELIACEAE

Corte transversal

Anillos de crecimiento: claramente diferenciados; porosidad por su **ubicación:** difusa, por su **forma:** circular; por su **tamaño:** mediano; por la **cantidad:** moderadamente pocos; por la **disposición:** ningún patrón definido; por la **agrupación:** múltiples radiales y raciformes de 2 a 4 poros; por su **contenido:** goma con coloración pardo-rojiza.

Parénquima: paratraqueal vasicéntrico

Radios: no estratificado.

Corte tangencial

Vetado en arcos superpuesto con porosidad circular

Corte radial

Líneas o bandas más oscuras o bandas más oscuras definidas por porosidad circular.

Cedrela odorata: Cedro en su madera presenta anillos de crecimiento claramente diferenciados, con vasos medianos dispuestos en múltiples radiales y raciformes de 2 a 3 poros. El parénquima es paratraqueal y vasicéntrico, formando bandas en las zonas marginales, y los radios no son estratificados. En los cortes tangenciales, se observan vetas en arcos superpuestos con porosidad circular, mientras que en los cortes radiales se destacan líneas o bandas oscuras definidas por la porosidad. Además, la madera es conocida por su textura moderadamente gruesa y su grano recto, con una fragancia distintiva. Sin embargo, algunos estudios, como el de (Speciesplus, 2022), señalan que las características anatómicas pueden variar dependiendo de factores climáticos, la edad del árbol y la región de crecimiento, lo que provoca diferencias en la estructura y apariencia de la madera. Además, en ciertas muestras se pueden encontrar depósitos gomosos, que no siempre se observan en otras especies de la misma familia.

4. Nogal, *Juglans neotropica* Diels, JUGLANDACEAE

Corte transversal

Anillos de crecimiento: poco diferenciados; porosidad por su **ubicación**: difusa, por su **forma**: semicircular; por su **tamaño**: mediano; por la **cantidad**: muchos; por la **disposición**: ningún patrón definido; por la **agrupación**: múltiples radiales de 2 a 3 poros; por su **contenido**: escaso contenido de tilides. **Parénquima**: axial en bandas finas

Radios: Sin estratificación.

Corte tangencial

Arcos superpuestos, tanto la albura como el duramen presentan líneas definidas donde se evidencia la unión de un color claro y un muy oscuro

Corte radial

Presenta un ligero jaspeado

Juglans neotropica: Un estudio de la anatomía de la madera de nogal que las características observadas en esta especie difieren en algunos aspectos respecto a las descripciones tradicionales. Según la investigación sobre esta especie, los anillos de crecimiento son poco diferenciados, mientras que en otras fuentes se describen como más marcados, y se observa una porosidad difusa, con poros semicirculares y de tamaño mediano, que se agrupan en patrones radiales. Aunque se encuentra contenido de tilides escaso, se ha observado que la madera presenta líneas definidas donde se unen colores claros y oscuros, lo que es diferente de las descripciones de otras especies de nogal que muestran vetas y jaspeados más marcados. La investigación también menciona que el parénquima es axial y se presenta en bandas finas, lo que contrasta con descripciones más generales de la especie, que no siempre incluyen estos detalles finos de la estructura interna de la madera (Global Pollen Project, 2022).

Carvajal et al., (2023) en su investigación menciona que *juglans neotropica* tiene poros solitarios y múltiples radiales de 2 a 3, redondas y ovalados con tilides escasos e inclusiones con parenquima paratraqueal y apotraqueal marginal.

5. Chalviande, *Virola dixonii* Little, MYRISTICACEAE

Corte transversal

Anillos de crecimiento: claramente diferenciados; porosidad por su **ubicación**: difusa, por su **forma**: circular; por su **tamaño**: mediano; por la **cantidad**: moderadamente pocos; por la **disposición**: ningún patrón definido; por la **agrupación**: múltiples radiales y de 2 a 3 poros; por su **contenido**: sílice o goma oscura **Parénquima**: paratraqueal vasicéntrico

Radios: no estratificado.

Corte tangencial

Jaspeado generado por bandas más oscuras provenientes de los anillos de crecimiento

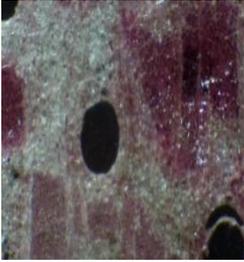
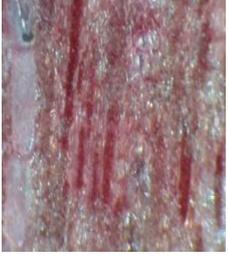
Corte radial

Líneas o bandas más oscuras o bandas más claras definidas por los anillos de crecimiento

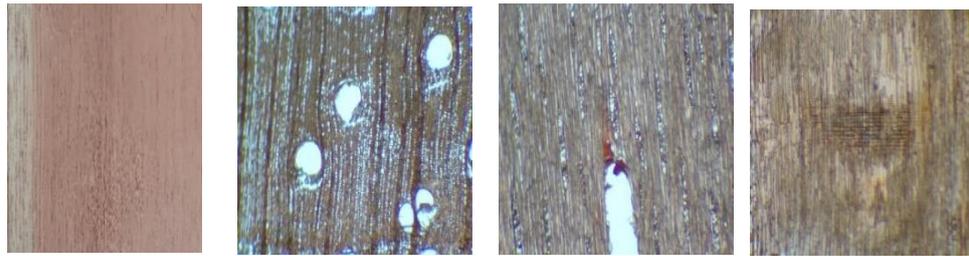
Virola dixonii: Las características anatómicas de la madera de *Virola* describe que sus anillos de crecimiento son claramente diferenciados, la porosidad es difusa con poros medianos de forma circular agrupados en patrones radiales de 2 a 3 poros, y su parénquima es paratraqueal vasicéntrico. Además, los radios no están estratificados y la madera presenta jaspeado debido a las bandas más oscuras provenientes de los anillos de crecimiento. Estas características coinciden con las observaciones realizadas en esta investigación (Global Biodiversity Information Facility, 2024).

Tabla 4.

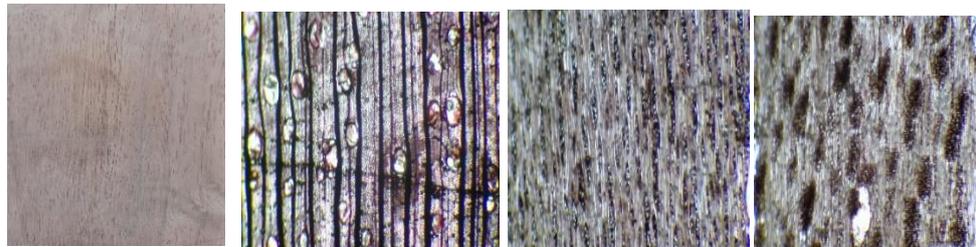
Estructuras microscópicas de la madera

NOMBRE COMÚN NOMBRE CIENTÍFICO	PLANO MACROSCÓPICO (TANGENCIAL)	CORTE (TRANSVERSAL) 40X	CORTE (TANGENCIAL) 40X	CORTE (RADIAL) 40X
Chonta caspi <i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC				
Sande <i>Brosimum utile</i> subsp. <i>occidentale</i> C.C. Berg				

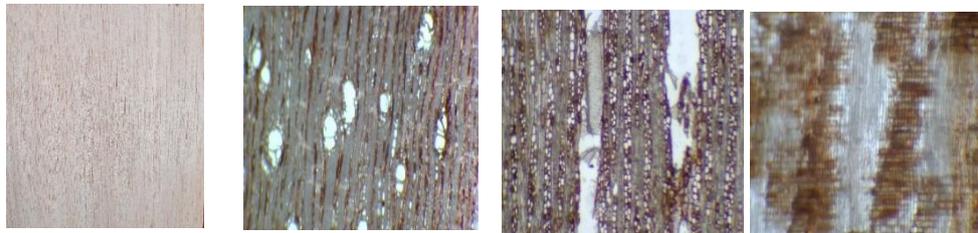
Cedro
Cedrela
odorata, L



Nogal
Junglas
neotropica
Diels



Chalviande
Virola
dixonii
Little



1. Chonta Caspi, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC, Fabaceae

Poros: solitarios en menor proporción múltiples radiales de 2 a 3 poros. Sin ningún ordenamiento con porosidad difusa. Medianos (100 a 200 μm), muy grandes (más de 300 μm).

Radios: multiseriados, de 2 a 6 células de ancho, más frecuente de 3 a 5; medianos homogéneos y heterogéneos

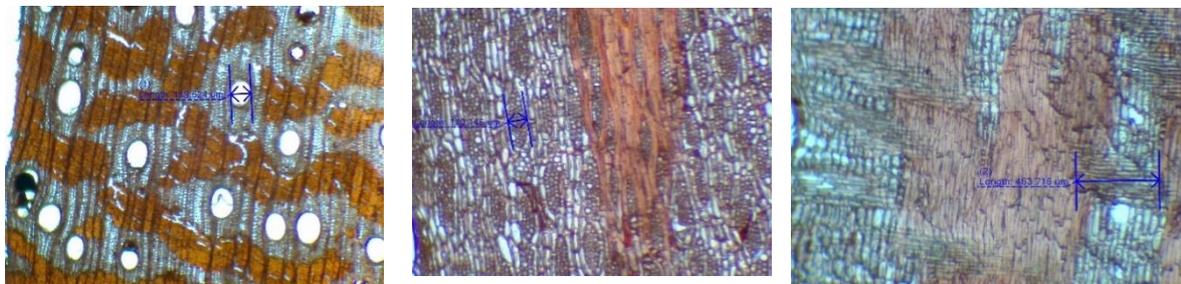
Parénquima: terminal con un ancho de 3 a 7 células, paratraqueal en bandas muy anchas, escaso angosto vasicéntrico y unilateral vasicéntrico.

Sin embargo, (Téllez et al., 2009) coincide con que *Andira inermis* tiene un parénquima es terminal, con un ancho de 3 a 7 células, y paratraqueal en bandas anchas, con

escaso parénquima vasicéntrico y unilateral vasicéntrico.

Figura 5

Características microscópicas de: *Chonta Caspi*, *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC, Fabaceae



Corte transversal, diámetro del poro

Corte tangencial, longitud del vaso

Corte radial, células del radio

2. Sande, *Brosimum utile* subsp. *occidentale* C.C. Berg, Moraceae

Poros: solitarios en menor proporción múltiples radiales de 2 a 3 poros y más racemiformes, con tilides. Medianos de (100 a 200 μm) y grandes de (200 a 300 μm).

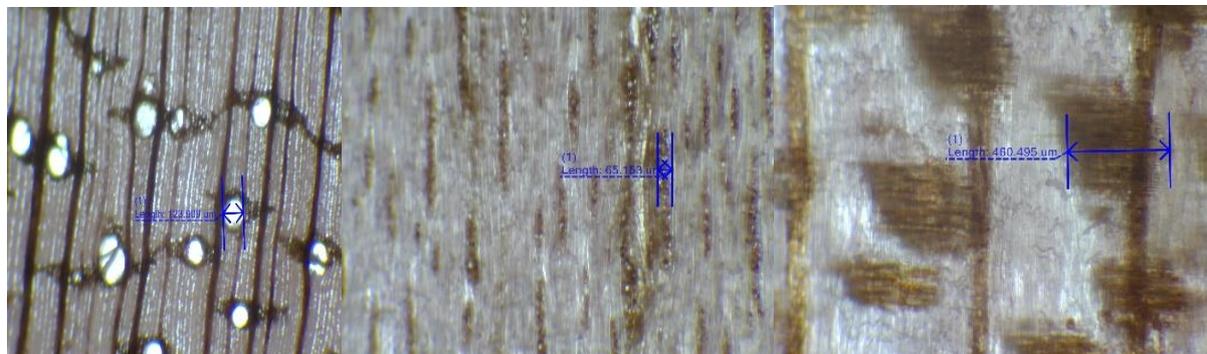
Radios: multiseriados, de 2 a 6 células, escasa cantidad de uniseriados, heterogéneos

Parénquima: paratraqueal aliforme confluyente.

Brosimum utile (sande) se caracteriza por presentar poros solitarios de sección redonda a simple vista y en múltiples radiales de 2 a 3, y parénquima aliforme y aliforme confluyente. (Suárez, L., & Caribe, A, 2022). Por lo que coincide con el estudio realizado.

Figura 6

Características microscópicas de: Sande, Brosimum utile subsp. occidentale C.C. Berg, Moraceae



Corte transversal,
diámetro del poro

Corte tangencial, longitud del
vaso

Corte radial, células del radio

3. Cedro, *Cedrela odorata* L, Meliaceae

Poros: solitarios y múltiples radiales de 2 a 5 o más, con tendencia semicircular, que va desde medianos a muy grandes (100 a 200 μm)

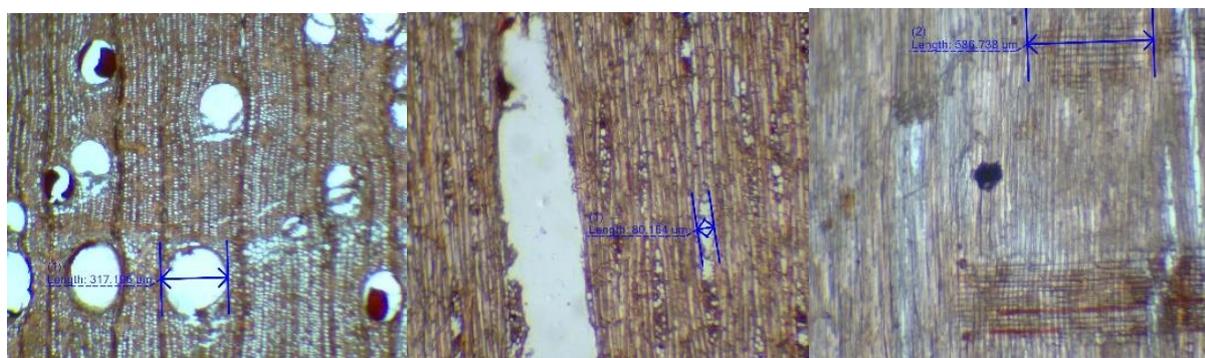
Radios: multiseriados, de 2 a 5 células, con un tamaño promedio de (0,2 a 0,5 mm) los bajos, y de (0,5 a 0,8 mm) los medianos

Parénquima: paratraqueal angosto vasicéntrico unilateral vasicéntrico y apotraqueal difuso

Un estudio sobre *Cedrela odorata* en San Gabán, Perú, describe diferencias anatómicas en comparación con los datos proporcionados. Los poros presentan un diámetro tangencial promedio de 133,20 μm , menor al rango de 100 a 200 μm mencionado. Los radios son multiseriados, con un ancho de 2 a 5 células y una longitud promedio de 0,2 a 0,8 mm, coincidiendo con las medidas proporcionadas. El parénquima es predominantemente paratraqueal aliforme, confluyente y en bandas marginales, a diferencia del paratraqueal angosto vasicéntrico y apotraqueal difuso previamente descrito, (Ticahuanca et al., 2020).

Figura 7

Características microscópicas de: Cedro, Cedrela odorata L, Meliaceae



Corte transversal, diámetro del
poro

Corte tangencial, longitud del
vaso

Corte radial, células del radio

4. Nogal, *Juglans neotropica* Diels, Juglandaceae

Poros: Poros solitarios y múltiples radiales de 2 a 3, redondos con diámetros (72-153 μm)

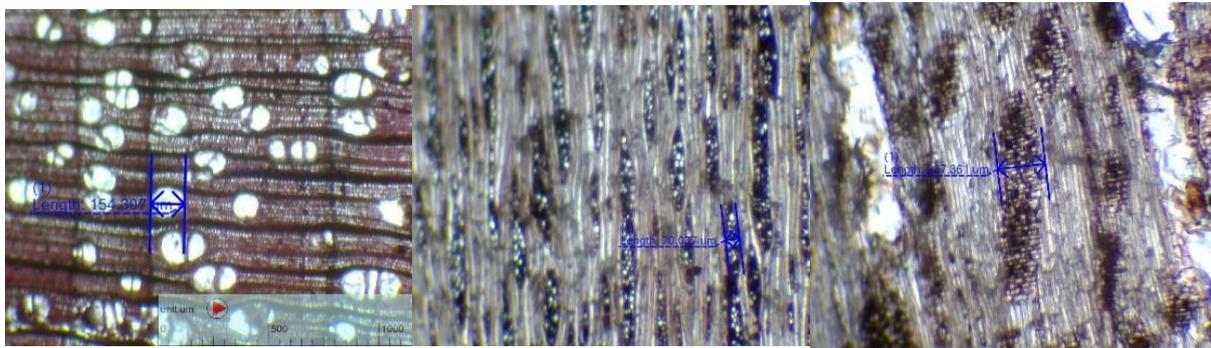
Radio: Radios en el corte transversal entre 9 a 11 por cada mm^2 , con una altura de 13 células promedio; y un grosor entre 96-116 μm .

Parénquima: Apotraqueal difusa, con series de 3 a 8 células, y paratraqueal vasicéntrico, con una altura de la serie de (54-144 μm)

Yamberla (2023) señala en su investigación que *Junglas neotropica* Diels en las características macroscópicas posee poros solitarios y múltiples radiales cortos, lo cual es similar con la investigación, sin embargo, difiere con el parénquima axial paratraqueal unilateral, radios heterogéneos de tipo III de Kribs, con células procumbentes.

Figura 8

Características microscópicas de: Nogal, Juglans neotropica Diels, Juglandaceae



Corte transversal, diámetro del poro

Corte tangencial, longitud del vaso

Corte radial, células del radio

5. Chalviande, *Virola dixonii* Little, Myristicaceae

Poros: múltiples radiales y racemiformes de 2 a 4 sin contenidos, pequeños (40 a 100 μm) y medianos de (100 a 200 μm)

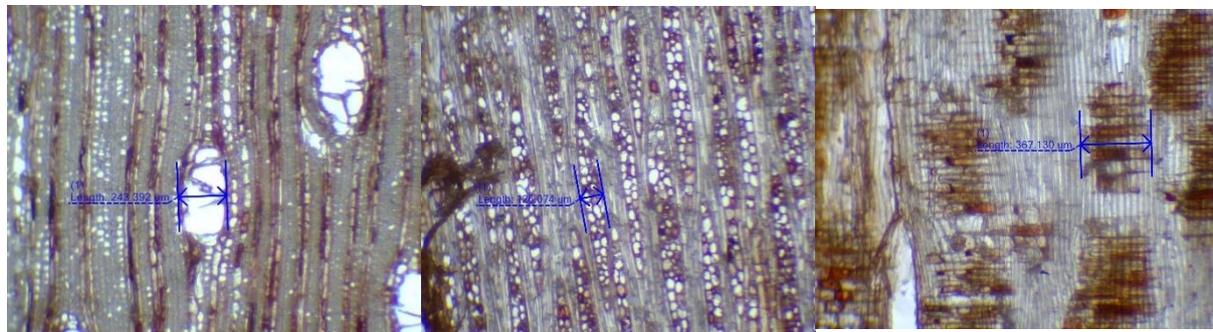
Radios: multiseriados comúnmente de 2 a 3 también uniseriados homogéneos y heterogéneos de 14 a 50 células, con una altura de (0.5 y 0.8 μm)

Parénquima: paratraqueal angosto vasicéntrico y unilateral vasicéntrico

Las diferencias anatómicas entre *Virola dixonii* y otras especies del género *Virola* se reflejan en la distribución de los poros, los radios y el parénquima. *Virola dixonii* presenta poros distribuidos en múltiples radiales y racemiformes (2 a 4 poros), con tamaños pequeños a medianos (40 a 200 μm) y sin contenidos visibles, mientras que otras especies como *Virola reidii* tienden a tener poros más grandes y agrupados en racimos (Tropical Timber, 2021).

Figura 9

Características microscópicas de: Chalviande, Virola dixonii Little, Myristicaceae



Corte transversal, diámetro del poro

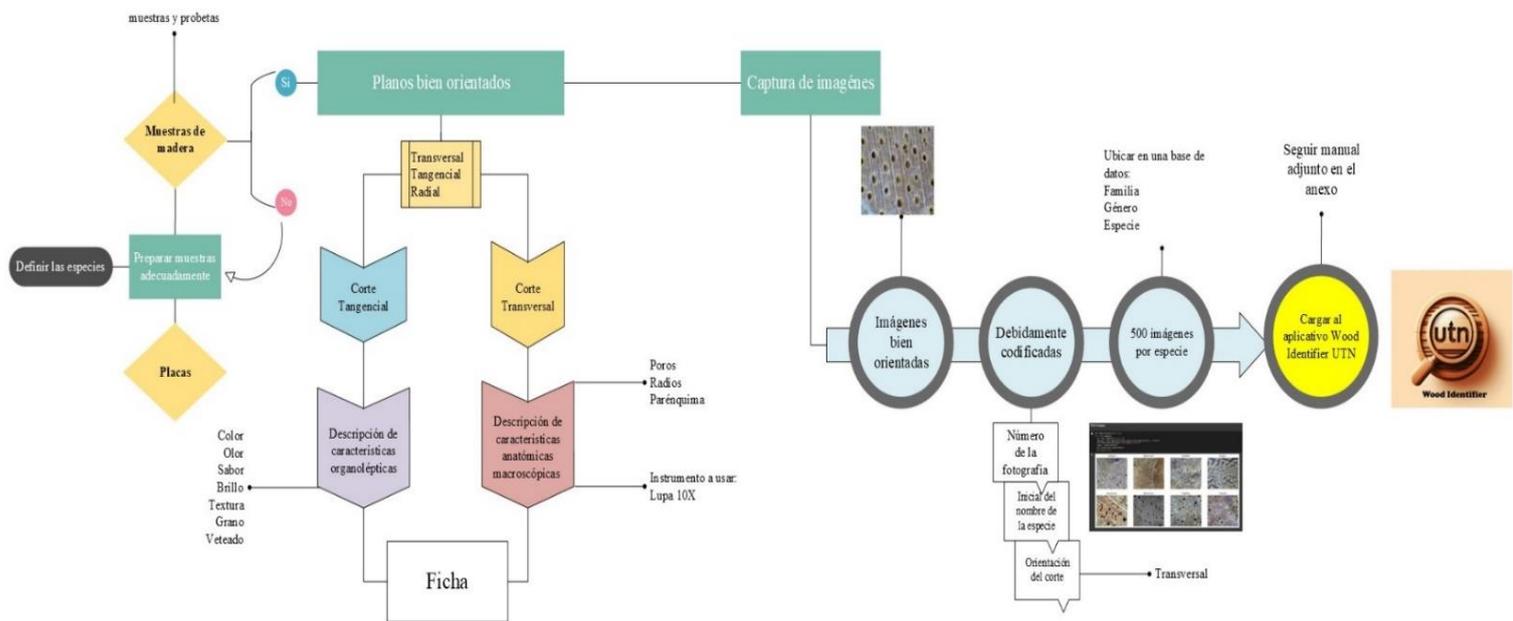
Corte tangencial, longitud del vaso

Corte radial, células del radio

Generar una base de datos para la identificación de las cinco especies forestales a través de la identificación anatómica mediante imágenes de cortes transversales.

Figura 10

Proceso para la generación de datos



El proceso para la generación de datos comienza con la definición de las especies, las cuales deben contar con muestras de madera o placas preparadas adecuadamente. Si cumplen

con esta condición, pasan a la siguiente fase. En esta etapa, es fundamental garantizar una orientación correcta (transversal, tangencial y radial) y describir las características organolépticas, como color, olor, sabor, textura, brillo, grano y veteado.

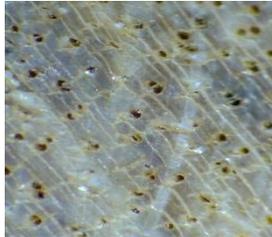
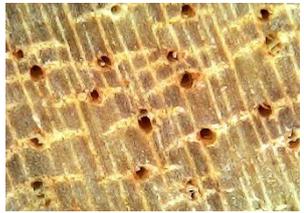
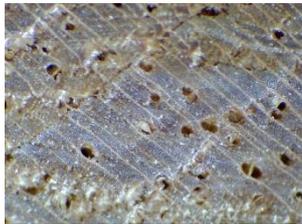
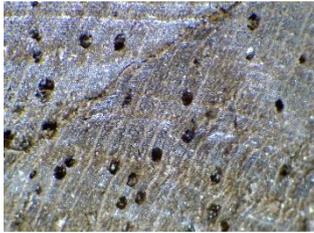
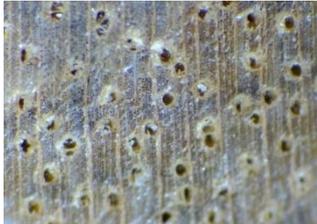
Posteriormente, en la parte transversal de la madera, se realiza la descripción anatómica macroscópica, considerando elementos como poros, radios y parénquimas. Para ello, se capturan 500 imágenes de esta sección utilizando una lupa de 10x, una cámara digital y una cámara de estereoscopio. Es importante que las imágenes estén debidamente orientadas y codificadas para ser cargadas en una base de datos, organizadas en un directorio que especifique la familia, el género y la especie. Finalmente, los datos se incorporan al aplicativo

Un estudio relevante es el realizado en la parroquia Tabiazo, Esmeraldas, Ecuador, donde se describieron las características organolépticas y anatómicas de la madera de cinco especies forestales. Este trabajo incluyó la observación de rasgos como el color, brillo, textura y grano, así como el análisis de elementos anatómicos como los poros, radios y parénquimas en secciones transversales, tangenciales y radiales de la madera. Las muestras fueron examinadas con lupa de 10x y cámaras digitales, generando una base de datos con imágenes clasificadas por familia, género y especie, lo que facilita la identificación maderable para fines científicos y comerciales.

Otro enfoque interesante es el propuesto en el estudio "*Automating Wood Species Detection and Classification in Microscopic Images of Fibrous Materials with Deep Learning*", donde se aplicaron técnicas de aprendizaje profundo para automatizar la identificación de especies maderables. El proceso consistió en capturar imágenes microscópicas de la madera, codificarlas y clasificarlas mediante algoritmos entrenados con datos anatómicos. Este tipo de sistemas facilita la identificación precisa de especies y optimiza la creación de bases de datos digitales aplicables a la conservación y uso sostenible de los recursos forestales.

Tabla 5.

Resultados de la captura de imágenes de los cortes trasversales de las especies

NOMBRE COMÚN NOMBRE CIENTÍFICO	CÉLULAR Y LUPA 10X (CORTE TRANSVERSAL)	CÁMARA Y MICROSCÓPIO (CORTE TRANSVERSAL)	CÉLULAR Y CÁMARA DIGITAL (CORTE TRANSVERSAL)
Chonta caspi <i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC			
Sande <i>Brosimum utile</i> subsp. <i>occidentale</i> C.C. Berg			
Cedro <i>Cedrela odorata</i>			
Nogal <i>Junglas neotropica</i> Diels			
Chalviande <i>Virola dixonii</i> Little			

La calidad de las imágenes capturadas de cortes transversales de *Andira inermis*, *Brosimum utile*, *Cedrela odorata*, *Juglans neotropica* y *Virola dixonii* depende significativamente de la resolución y características de la cámara utilizada. A continuación, se describen los resultados según los dispositivos mencionados:

Celular y cámara digital (Corte transversal): Esta combinación parece ser la mejor para capturar imágenes de calidad de los cortes de las especies. Los celulares modernos, equipados con cámaras de alta resolución y tecnologías de estabilización, permiten obtener imágenes nítidas y con colores más reales, lo que facilita la identificación de patrones como el grano y el veteado. Su uso es más práctico y flexible, especialmente cuando se combina con una cámara digital externa para mejorar la profundidad de campo. Esta práctica es ampliamente reconocida en estudios recientes que exploran cómo la tecnología mejora la calidad de las imágenes de madera (Gierlinger & Schwanninger, 2006).

Para procesar las imágenes en el aplicativo se realizó lo siguiente:

- Se utilizó Roboflow para la etiquetación de imágenes
- Se creó cinco carpetas en las que se almacenaron las imágenes de las cinco especies
- El Tablero Kanban permitió el desarrollo y entrenamiento del modelo para reconocer las cinco especies maderables
- Luego con Google Colab juntamente con Google Drive culminarán el entrenamiento del modelo.
- También se realiza la instalación de la Biblioteca de red neuronal convolucional Efficientnet la cual, tiene como objetivo mover imágenes a carpetas específicas según los dos primeros caracteres de su nombre, convertirlas a formato JPEG y eliminar las versiones originales
- Luego se utiliza TensorFlow (tf.data.Dataset) para listar las rutas de las imágenes, mezclándolas aleatoriamente con un tamaño de buffer para mejorar la eficiencia.

- Finalmente, imprime los nombres de las clases y la cantidad de datos asignados a cada imagen.

Para verificación de la precisión y funcionamiento de la aplicación Wood Identifier UTN, se realizó pruebas en tres depósitos de madera de la ciudad de Ibarra, en los cuales se encontró las especies *Virola dixonii*, *Cedrela odorata* y *Junglas neotropica*.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

- Tres de las especies analizadas comparten similitudes en sus características organolépticas, como brillo, grano, olor, sabor y textura. Sin embargo, en cuanto a sus características anatómicas, aunque todas presentan poros solitarios y múltiples radios, se observan diferencias significativas en la estructura de los radios y los parénquimas.
- Se logró desarrollar un proceso sistemático diseñado para generar información técnica, la cual será fundamental para la implementación del aplicativo **Wood Identifier UTN (Wood IdentifierUTN.apk)**.

RECOMENDACIONES

- Cada investigación de aporte científico de carácter forestal debe tener una aplicación práctica directa con el **Estado Ecuatoriano, Ministerio del Ambiente, y puestos de control forestal** para mejorar las políticas y la gestión forestal.
- Recomiendo que mi aporte teórico sea de uso para las carreras de ingeniería forestal del Ecuador y el mundo.
- Recomiendo que se siga incrementando la descripción de propiedades anatómicas de nuevas especies forestales en el aplicativo Wood Identifier UTN.

Referencias Bibliográficas

- (S/f). Gob.mx. Recuperado el 10 de diciembre de 2024, de http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadata/forestal/Proyectos_de_investigacion_Foro_Morelos/Foro_Material_Morelos/Proyecto%20clave-AD04.10%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Fichas%20T%C3%A9cnicas/Ficha%20t%C3%A9cnica-Sande.pdf
- A. A., Freitas, M. C. D., & Vasconcellos, F. J. D. (1989). Estudio anatómico de 24 especies do gênero *Virola* (Myristicaceae) da Amazônia. *Acta amazônica*, 19, 415-465.
- B. Autor, A., & Coautor, B. (Año). *Descripción organoléptica y anatómica de la madera de cinco especies forestales*. Esmeraldas, Ecuador: Universidad Técnica.
- Black.Wiedenhoeft, AC y Miller, RB (2005). Estructura y función de la madera. *Manual de química de la madera y compuestos de madera*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005: páginas 9-33.
- Carvajal, J. G. B., Toledo, D. D. S., Unigarro, C. R. A., Vizcaíno, T. F. B., Rodríguez, H. O. P., & Jácome, G. D. V. (2023). Caracterización de las propiedades organoléptica y anatómica de *Juglans neotropica* diels,(nogal) en la provincia de Imbabura. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(6), 647-659.
- Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(58), 4-25.
- Flores, R., & Rodríguez, A. (2018). Importancia de la identificación de la madera en la industria forestal. *Revista Forestal Latinoamericana*, 29(1), 15-25. <https://doi.org/10.12345/rfl.2018.29.1.15>
- Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M. Á., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020).
- Gierlinger, N., & Schwanninger, M. (2006). *Wood anatomy: Use of digital cameras for image capturing and data analysis*. Wood Science and Technology.
- Global Biodiversity Information Facility (2024). *Virola dixonii* Little. Recuperado de [GBIF](#).
- Global Pollen Project. (2022). *Juglans neotropica* - Características anatómicas y distribución. Recuperado de [Global Pollen Project](#).
- Grefa, Y. (2021). Descripción e identificación de las características organolépticas y

anatómicas de la madera de cinco especies forestales comerciales, procedentes del cantón Loreto, provincia de Orellana [Tesis de pre grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Archivo digital.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15827/1/33T00268.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). Norma Técnica Ecuatoriana. Maderas. Método para la Descripción de las Características Generales Macroscópicas y Microscópicas. INEN_METODO PARA LA DESCRIPCION DE LAS MADERAS.pdf

Lee, S., & Kim, H. (2018). Traditional and modern methodologies for anatomical analysis of wood. *Wood Science and Technology*, 52(4), 835-848.
<https://doi.org/10.1007/s00226-018-1010-5>

Li, X., & Zhang, Y. (2021). Advances in artificial intelligence for plant and wood identification. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 68, 541-563.
<https://doi.org/10.1613/jair.2021.68.541>

Martínez, F., & López, J. (2015). The need for detailed anatomical databases of forest species. *Forest Science Review*, 24(2), 191-203. <https://doi.org/10.1155/2015/704387>

Parada, C. M., Polanco, C. A., & Tomazello, M. (2021). Dendrochronological study of *Brosimum utile* (Kunth) Oken from Timbiquí, Cauca, Colombia. *Floresta*, 51(4), 918–927. <https://doi.org/10.5380/RF.V51I4.74258>

Ramírez, J., & Velasco, H. (2020). Diversidad y características de las especies forestales del Norte del Ecuador. *Boletín de Botánica Tropical*, 47(3), 245-260.
<https://doi.org/10.1016/j.botrop.2020.03.005>

Richter, H. G., & Dallwitz, M. J. (2000). Maderas comerciales. *Centro Federal de Investigaciones Forestales y de Productos Forestales. Hamburgo-Alemania*.

Seguel, M. (2023). La importancia de conocer la "anatomía de la madera" para el desarrollo forestal y la conservación de los bosques. *Comunicaciones Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza*. Universidad de Chile.

Silva, C., & López, M. (Año). *Automating Wood Species Detection and Classification in Microscopic Images of Fibrous Materials with Deep Learning*. *Revista Internacional*

de Tecnología Forestal

Speciesplus. (2022). *Cedrela odorata* – Características anatómicas y distribución. Recuperado de [Speciesplus](#).

Suárez, L., & Caribe, A. (2022). Caracterización anatómica y determinación de índices de vulnerabilidad y mesomorfía en cinco especies de la amazonía peruana.

Téllez-Sánchez, C., Herrera-Ferreyra, M. A., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2009). Anatomía, física y mecánica de la madera de *Andira inermis* (W. Wright) DC.(Leguminosae). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(1), 15-21. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182009000100002.

Ticahuanca, R. C. A., Jihuallanca, E. Á. C., & Cahuana, L. A. P. (2020). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Cedrela odorata* L., de 22 años, San Gabán–Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(3), 8-19.

Toro Vanegas, E., & Roldán Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y bosques*, 24(1).

Anexos



Foto 1: Descripción de características anatómicas macroscópicas



Foto 2: Captura de imágenes de muestras de madera con microscopio y cámara de microscopio

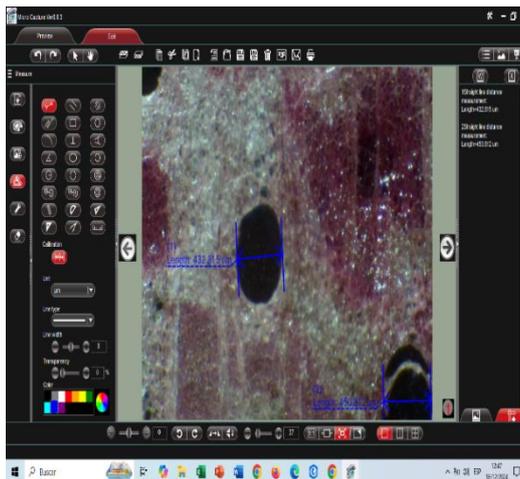


Foto 3: Descripción de características anatómicas microscópicas



Foto 4: Captura de imágenes de muestras de madera con celular y cámara digital

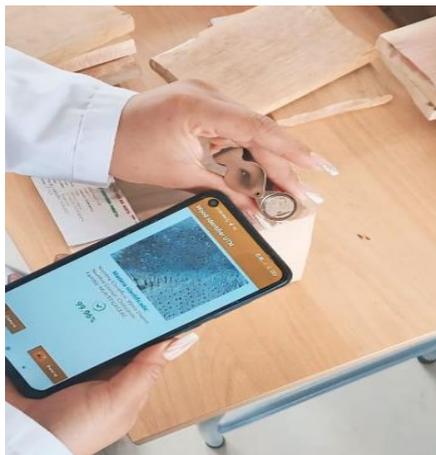


Foto 5: Captura de imágenes de muestras de madera con celular y lupa 10x



Foto 4: Uso de la aplicación Wood Identifier UTN en campo
