

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA FORESTAL**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ESPECTRALES Y DE  
COLOR EN LA MADERA DE LAS ESPECIES *Vochisia  
ferruginea* Y *Gordonia fruticosa* DEL BOSQUE HÚMEDO  
PRE-MONTANO DEL CENTRO POBLADO LA PERLA  
DEL IMAZA – YAMBRASBAMBA – BONGARÁ -  
AMAZONAS**

**Autora: Bach. Jhosymar Bacalla Tenorio**

**Asesor: D. Sc. Leif Armando Portal Cahuana**

**Co-Asesora: M. Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huamán**

Registro: (.....)

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por darme la vida, por protegerme y guiarme en cada paso de mi vida.

### **A MIS PADRES Y HERMANOS**

A mis padres: Fredy y Evi, a mis hermanos Heidy y Raúl, por estar presentes en todo momento, porque a pesar de mis errores me brindaron su amor infinito y apoyo incondicional durante toda mi formación académica. Son mi motivo e inspiración para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias Dios por nunca abandonarme y guiarme en cada paso de mi vida.

Mi eterna gratitud y agradecimiento a mis padres y hermanos por el gran apoyo que me brindaron diariamente en la ejecución de este proyecto, sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

De manera especial a mi asesor D. Sc. Leif Armando Portal Cahuana y co-asesora M. Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huamán, quienes con su apoyo, paciencia y enseñanzas me ayudaron a desarrollar y terminar esta investigación.

A los honorables miembros del jurado: Dr. Carlos Alberto Amasifuen Guerra, al Mg. Sc. Eli Pariente Mondragón y al Ms. C. Einstein Bravo Campos por sus aportes y recomendaciones para mejorar la redacción con el fin de que el documento quede bien plasmado.

Al Dr. Ives Yoplac Tafur, responsable del Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos, quien me brindó tiempo y facilidad para el estudio espectroscópico. Asimismo, al Mg. Leonardo Napoleón Mendoza Zumaeta por compartir desinteresadamente sus conocimientos en la parte estadística de la investigación.

A familiares y amigos que formaron parte de este proceso, por sus palabras de aliento y motivación para seguir adelante y nunca rendirme.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana

**RECTOR**

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dra. María Nelly Luján Espinoza

**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

Dr. Erick Aldo Auquiñivin Silva

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

# VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-L

### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Estudio de las propiedades espectrales y de color en la madera de las especies Vochysia ferruginca y Gordonia fruticosa del bosque húmedo pre-montano del Centro Poblado La Perla del Imaza - Yamborombá - Bongará - Amazonas. del egresado Jhosymar Bacalla Tenorio de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 21 de Mayo de 2024

Firma y nombre completo del Asesor  
Dr. Leip Armando Portal Cahuana

## VISTO BUENO DEL CO - ASESOR DE LA TESIS



### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (  )/Profesional externo (  ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Estudio de las propiedades espectrales y de calor en la madera de las especies Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa del bosque húmedo pe-montano del Centro Poblado La Perla del Imaza - Yambraobamba - Bongorá - Amazonas del egresado Jhosymar Bacalla Tenorio de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería forestal de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 21 de Mayo de 2024

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line.

Firma y nombre completo del Asesor  
M.Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huomon


## **JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



---

Dr. Carlos Alberto Amasifuen Guerra

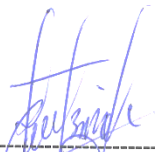
**PRESIDENTE**



---

Ing. Mg. Sc. Eli Pariente Mondragón

**SECRETARIO**



---

Ing. Ms./C. Einstein Bravo Campos

**VOCAL**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Estudio de las Propiedades espectrales y de color en la madera de las especies Vachysia ferruginea y  
Gerardonia profusa del bosque pre-montano del Centro Poblado La Perla del Imaza -Yambresbamba -  
Bongoré -Amazonas

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Jhosymor Bacalla Tenono

de la Escuela Profesional de Ingeniería forestal

con correo electrónico institucional 7280557382@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:


- La citada Tesis tiene 15 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 12 de Julio del 2024

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

#### OBSERVACIONES:

El título fue modificado ya que al principio las especies descritas  
fueron identificadas erróneamente, luego al ser pasado por un especialista  
en identificación botánica se determinó el nombre exacto de la especie.  
Vachysia ferruginea.



## REPORTE TURNITIN

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ESPECTRALES Y DE COLOR EN LA MADERA DE LAS ESPECIES *Vochysia ferruginea* Y *Gordonia fruticosa* DEL BOSQUE HÚMEDO PRE-MONTANO DEL CENTRO POBLADO LA PERLA DEL IMAZA – YAMBRA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[encycolorpedia.es](http://encycolorpedia.es)

Fuente de Internet

3%

2

[repositorio.untrm.edu.pe](http://repositorio.untrm.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

[fcf.unse.edu.ar](http://fcf.unse.edu.ar)

Fuente de Internet

1%

4

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

Trabajo del estudiante

1%

6

[www.scielo.br](http://www.scielo.br)

Fuente de Internet

<1%

7

[revistas.udistrital.edu.co](http://revistas.udistrital.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

[www.scielo.cl](http://www.scielo.cl)

  
Dr. Carlos Alberto Amescua Guerra

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 3-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de Julio del año 2024 siendo las 11:00 horas, el aspirante: Jhosymar Bocalla Tenorio, asesorado por D.Sc. Leticia Armando Portol Calvano defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Estudio de las propiedades espectrales y de color en la madera de las especies Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa del bosque húmedo pre-montano del Centro Poblado La Perla del Inaza - Yambra-Bamba - Bongrá - Amazona para obtener el Título Profesional de Ingeniería Forestal, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Carlos Alberto Amasiqueñ Guerra  
Secretario: Eli Poriente Mondragón  
Vocal: Einstein Bravo Campos

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.


Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:25 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:  
.....

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	iv
VISTO BUENO DEL CO - ASESOR DE LA TESIS.....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS .....	vii
REPORTE TURNITIN .....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN .....	19
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
2.1. Área de estudio.....	23
2.2. Lugar de ejecución .....	23
2.3. Especies estudiadas .....	23
2.4. Materiales y equipos .....	24
2.5. Muestra.....	24
2.6. Diseño del estudio .....	25
2.7. Metodología .....	26
2.7.1. Trabajo de Gabinete.....	26
2.7.1.1. Obtención de las rodajas de madera .....	26
2.7.1.2. Transformación y codificación de las probetas para colorimetría.....	26
2.7.1.3. Obtención de la muestra para determinación de las propiedades espectrales .....	26
2.7.2. Trabajo de laboratorio.....	27
2.7.2.1. Obtención de datos colorimétricos .....	27
2.7.2.2. Convertidor de datos colorimétricos .....	28
2.7.2.3. Obtención de datos espectrales en el equipo NIR .....	29
2.7.3. Correlación de datos espectrales con los datos colorimétricos y propiedades físicas de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	30
2.7.4. Identificación de usos de la madera de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	31

2.7.5.	Tratamiento de datos.....	31
III.	RESULTADOS .....	32
3.1.	Parámetros colorimétricos.....	32
3.2.	Colorimetría de <i>Vochysia ferruginea</i> .....	33
3.2.1.	Colorimetría de <i>Vochysia ferruginea</i> - Seco.....	33
3.2.2.	Colorimetría de <i>Vochysia ferruginea</i> – Saturado .....	35
3.3.	Colorimetría de <i>Gordonia fruticosa</i> .....	36
3.3.1.	Colorimetría de <i>Gordonia fruticosa</i> – Seco.....	36
3.3.2.	Colorimetría de <i>Gordonia fruticosa</i> – Saturado .....	37
3.4.	Matriz de correlación de los parámetros colorimétricos .....	37
3.5.	Diferencias y similitudes de los parámetros colorimétricos por especie .....	39
3.5.1.	Luminosidad (L*) .....	39
3.5.2.	Cromática a* (verde – rojo) .....	39
3.5.3.	Cromática b* (amarillo – azul) .....	41
3.5.4.	Saturación (C) .....	42
3.5.5.	Ángulo de matiz (h*) .....	43
3.6.	Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR) .....	43
3.6.1.	Correlación de los parámetros colorimétricos con los datos NIR .....	45
3.6.2.	Correlación de las propiedades físicas con los datos NIR .....	46
3.7.	Usos industriales de las especies <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .	48
IV.	DISCUSIÓN .....	49
V.	CONCLUSIONES .....	51
VI.	RECOMENDACIONES.....	52
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
	ANEXOS .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Nombre y código de depósito de las especies estudiadas .....	24
<b>Tabla 2.</b> Lista de materiales, equipos y software utilizados en el estudio .....	24
<b>Tabla 3.</b> Rango de clasificación de la saturación de la madera .....	28
<b>Tabla 4.</b> Softwares utilizados para la determinación colorimétrica .....	29
<b>Tabla 5.</b> Propiedades físicas de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	31
<b>Tabla 6.</b> Promedio de los parámetros colorimétricos de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	33
<b>Tabla 7.</b> Matriz de correlación de los parámetros colorimétricos .....	38
<b>Tabla 8.</b> Matriz de correlación de los valores de los espectros NIR .....	44
<b>Tabla 9.</b> Valores de parámetros utilizados en espectroscopía con los parámetros colorimétricos de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	46
<b>Tabla 10.</b> Valores de parámetros utilizados en espectroscopía con las propiedades físicas de <i>V. ferruginea</i> y <i>G. fruticosa</i> .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	23
<b>Figura 2.</b> Representación gráfica de las muestras de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> .....	25
<b>Figura 3.</b> Muestra circular de madera para Espectroscopía NIR .....	26
<b>Figura 4.</b> Medición de los parámetros colorimétricos de la madera de <i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde: A) Calibración del colorímetro; B) Mediciones de la muestra en las secciones radiales y tangenciales; y C) Lectura de los datos colorimétricos .....	28
<b>Figura 5.</b> Obtención de los datos espectrales en el equipo NIR. Donde: A) Preparación de la muestra; B) Colocación de la muestra en el lente del equipo; y C) Lectura de los datos espectrales. ....	30
<b>Figura 6.</b> Color de la madera seca de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB .....	34
<b>Figura 7.</b> Color de la madera saturada de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB .....	35
<b>Figura 8.</b> Color de la madera seca de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB .....	36
<b>Figura 9.</b> Color de la madera saturada de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB .....	37
<b>Figura 10.</b> Valores medios de la Luminosidad ( $L^*$ ).....	39
<b>Figura 11.</b> Valores medios de la cromática $a^*$ (verde – rojo).....	40
<b>Figura 12.</b> Valores medios de la cromática $b^*$ (amarillo – azul).....	41
<b>Figura 13.</b> Valores medios del parámetro colorimétrico $C^*$ (Saturación).....	42
<b>Figura 14.</b> Valores medios del parámetro colorimétrico $h^*$ .....	43

<b>Figura 15.</b> Media de los espectros NIR de <i>V. ferruginea</i> y <i>G. fruticosa</i> .....	44
<b>Figura 16.</b> Análisis de Componentes Principales con datos espectrales NIR de <i>V. ferruginea</i> y <i>G. fruticosa</i> .....	45
<b>Figura 17.</b> Color de muestras secas corte tangencial – albura de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	63
<b>Figura 18.</b> Color de muestras secas corte tangencial – duramen de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	63
<b>Figura 19.</b> Color de muestras secas corte radial – albura de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB. ....	64
<b>Figura 20.</b> Color de muestras secas corte radial – duramen de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	64
<b>Figura 21.</b> Color de muestras saturadas corte tangencial – albura de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	65
<b>Figura 22.</b> Color de muestras saturadas corte tangencial – duramen de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	65
<b>Figura 23.</b> Color de muestras saturadas corte radial – albura de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	66
<b>Figura 24.</b> Color de muestras saturadas corte radial – duramen de <i>Vochysia ferruginea</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	66
<b>Figura 25.</b> Color de muestras secas corte tangencial – albura de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	67
<b>Figura 26.</b> Color de muestras secas corte tangencial – duramen de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	67

<b>Figura 27.</b> Color de muestras secas corte radial – albura de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB. ....	68
<b>Figura 28.</b> Color de muestras secas corte radial – duramen de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB .....	68
<b>Figura 29.</b> Color de muestras saturadas corte tangencial – albura de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	69
<b>Figura 30.</b> Color de muestras saturadas corte tangencial – duramen de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	69
<b>Figura 31.</b> Color de muestras saturadas corte radial – albura de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	70
<b>Figura 32.</b> Color de muestras saturadas corte radial – duramen de <i>Gordonia fruticosa</i> . Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.....	70
<b>Figura 33.</b> Proceso de colorimetría de la madera. Donde A) Preparación de las rodajas, B) Obtención de las probetas, C) Calibración del colorímetro y D) Obtención de los datos colorimétricos .....	77
<b>Figura 34.</b> Proceso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIR. Donde A) Y B) Preparación de la muestra para espectroscopía, C) Colocación de la muestra en el lente del equipo NIR y D) Toma de lecturas espectrales .....	78



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades espectrales y de color de la madera de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*, provenientes del bosque húmedo pre-montano. Se utilizó 3 rodajas de madera de cada especie. Para colorimetría se trabajó con probetas de 2.5 cm de espesor \* 10 cm de ancho \* 15 cm de largo. Haciendo uso del colorímetro se evaluaron los parámetros colorimétricos Luminosidad (L\*), coordenadas del eje verde-rojo (a\*), coordenadas del eje azul-amarillo (b\*), saturación (C) y el ángulo de matiz (h\*). Para la evaluación espectroscópica se trabajó con muestras circulares de madera de 14 cm de diámetro \* 1 cm de ancho haciendo uso del análisis de Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR), los espectros de absorbancia se encontraron en el rango de longitud de onda de 1100 a 2500 nm. Se determinó que ambas especies en estado seco presentan un tono claro medio de rojo anaranjado; en estado saturado *Vochysia ferruginea* presenta un tono rojo anaranjado, mientras que, *Gordonia fruticosa* un tono de rojo medio oscuro. El comportamiento espectral de ambas especies mostró similitud, con picos y valles que se alinean a lo largo del rango de longitudes de onda. Utilizando un modelo de calibración para el tipo de ecuación (PLS - Partial Least Squares) se correlacionó los datos obtenidos de colorimetría con los datos predichos por NIR, con el fin de demostrar la diferencia de los resultados utilizando métodos tradicionales y los resultados obtenidos mediante equipos NIR. Los usos potenciales de ambas especies, de acuerdo al color obtenido, es adecuado para decoración y fabricación de muebles de interior, como sillas, mesas, armarios y cómodas. Tanto la colorimetría como la Espectroscopía NIR son complementarias y son útiles para caracterizar y entender mejor las propiedades de la madera.

**Palabras claves:** Espectroscopía, colorimetría, NIR, *Vochysia ferruginea*, *Gordonia fruticosa*.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the spectral and color properties of the wood of the species *Vochysia ferruginea* and *Gordonia fruticosa* from the pre-montane humid forest. Three slices of wood of each species were used. For colorimetry, 2.5 cm thick \* 10 cm wide \* 15 cm long test tubes were used. Using the colorimeter, the colorimetric parameters Luminosity ( $L^*$ ), green-red axis coordinates ( $a^*$ ), blue-yellow axis coordinates ( $b^*$ ), saturation (C) and hue angle ( $h^*$ ) were evaluated. For the spectroscopic evaluation, circular wood samples of 14 cm diameter \* 1 cm wide were used using Near Infrared Spectroscopy (NIR) analysis, the absorbance spectra were found in the wavelength range of 1100 to 2500 nm. It was determined that both species in the dry state have a light medium orange-red tone; in the saturated state *Vochysia ferruginea* has an orange-red tone, while *Gordonia fruticosa* has a medium-dark red tone. The spectral behavior of both species showed similarity, with peaks and valleys that align along the wavelength range. Using a calibration model for the type of equation (PLS - Partial Least Squares) the data obtained from colorimetry were correlated with the data predicted by NIR, in order to demonstrate the difference in the results using traditional methods and the results obtained using NIR equipment. The potential uses of both species, according to the color obtained, are suitable for the manufacture of interior furniture, such as chairs, tables, cabinets and dressers. Both colorimetry and NIR spectroscopy are complementary and are useful to characterize and better understand the properties of wood.

**Keywords:** Spectroscopy, colorimetry, NIR, *Vochysia ferruginea*, *Gordonia fruticosa*.

## I. INTRODUCCIÓN

La madera es un material orgánico constituido por fibras de celulosa y lignina. Cada especie tiene características diferentes y es por ellos que tiene aplicaciones distintas. Así también todas las especies forestales, influenciadas por la zona en la que se desarrollan, presenta madera con propiedades físicas y mecánicas particulares, lo cual nos ayuda a comprender la dinámica de los bosques y ejercer un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Suirez & Berger, 2009).

La colorimetría cuantitativa es una herramienta que nos permite conocer el color de la madera y evaluar su valor estético, lo que nos permite definir su uso más adecuado (Villegas, 2009). Es usada con gran potencial en las evaluaciones de especies amazónicas, debido a que presenta una metodología eficiente en la identificación del color de la madera (Chavesta et al., 2022). Los compuestos fenólicos influyen en la determinación del color natural de la madera. Sin embargo, puede sufrir variaciones causadas por diferentes factores tales como: la edad, el tipo de corte y la humedad. La colorimetría se mide mediante el sistema Cie  $L^*a^* b^*$ , el mismo que proporciona resultados confiables y representa gráficamente las diferencias de los parámetros colorimétricos (Cisneros et al., 2019). Este sistema se caracteriza por contar con tres coordenadas ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) en un espacio tridimensional; donde la coordenada  $L^*$  representa la luminosidad o claridad, que varía de cero (negro) a 100 (blanco), mientras que  $a^*$  y  $b^*$  representan las variables cromáticas en el verde-rojo y azul-amarillo, respectivamente, y ambos varían entre  $-60$  y  $+60$ . Los signos positivos (+) y negativos (-) indican el aumento de tonalidad: rojo ( $+a^*$ ), verde ( $-a^*$ ), amarillo ( $+b^*$ ) y azul ( $-b^*$ ) (de Avila et al., 2016).

La Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR) se emplea en el ámbito ambiental para analizar la composición química de cultivos y madera, siendo útil también en la evaluación del valor nutricional de los bosques, lo que facilita la selección de calidad de la madera a través de mejoras genéticas en los árboles (Abasolo et al., 2013). Esta técnica no requiere el derribo completo de un árbol, bastando un fragmento de madera para su estudio, lo que conlleva beneficios económicos y resultados rápidos (Lazzarotto et al., 2016). La tecnología NIR posibilita la creación de bases de datos específicas de especies maderables para una identificación ágil y sencilla, información que podría ser útil para contrarrestar el comercio ilegal de madera y permitir otras estimaciones, como la

procedencia, el contenido de humedad, la densidad y el grado de deterioro (Pace et al., 2019).

La especie *Gordonia fruticosa* pertenece a la familia Theaceae, comúnmente conocido como “Chilca brava” (Oliva et al., 2011). Esta especie se desarrolla a una altitud de 2200-2500 m.s.n.m. tomando como hábitat a los bosques montanos de suelos profundos de un sistema bajo montañoso (Pérez et al., 2017). Se distribuye en Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú; en este último, en los departamentos de Loreto, Pasco y Ucayali (Ferreira et al., 2023). Los árboles miden de 6 a 9 metros de altura y más de 50 centímetros de diámetro, se propaga por semilla y la germinación es muy baja, lo que limita su propagación generalizada (Pérez et al., 2012). La madera de esta especie presenta anillos de crecimiento con una distinción baja y se delimitan por una banda de fibra acortadas radialmente (Gutiérrez & Ramos, 2013), caracterizada por bandas delgadas no continuas de parénquima axial, disposición diagonal de los vasos y coloración marrón rojiza (Ferreira et al., 2023). Por otro lado, los árboles de *Vochysia ferruginea* son frecuentes en suelos húmedos (Zucaro et al., 2000). El árbol alcanza una altura de 20 a 35 metros y un diámetro de 40 a 80 cm. Su tronco es recto o ligeramente curvado, sin ramas hasta aproximadamente la mitad de su altura total. La copa es densa y amplia, con ramas que se extienden hacia arriba (CATIE, 1995). La madera muestra poros individuales de forma circular, con una porosidad dispersa que es visible bajo una lupa de 10 aumentos. El parénquima es aliforme, formando bandas delgadas que se unen, y los radios, de distribución moderada, no están estratificados (Arellanos, 2023). *Vochysia ferruginea* es ampliamente cultivada en el territorio nacional debido a su excelente capacidad de adaptación a diversas condiciones edafológicas (Moya et al., 2009). Cabe precisar que la información sobre el género de *Vochysia* y sus usos depende de sus características, razón por la cual es importante la correcta identificación y caracterización de las especies (Mauri & Oliveira, 2011)

En este sentido, el presente estudio se centra en dos especies arbóreas: *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* provenientes de un bosque pre-montano del centro poblado La Perla del Imaza, ubicado en la región de Bongará, Amazonas. Al respecto, se han realizado diferentes estudios enfocados en la caracterización de la madera mediante técnicas de colorimetría y espectroscopía NIR. Por ejemplo, Chavesta et al., (2022) realizaron un estudio donde determinaron los parámetros colorimétricos usando el sistema CIELab en madera de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca) en Huánuco, lo que nos

permitió definir el uso de la especie clasificando la madera con el color rosa grisáceo y con coloración uniforme. Asimismo, esta especie presentó valores altos de claridad ( $L^*$ ) y valores bajos en sus coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ . En otro estudio, López et al., (2021) utilizando CIE- $L^*a^*b^*$ , definió la colorimetría de la especie *Guadua angustifolia* (Bambú), encontrando que el color varía de acuerdo al estado de madurez. Por otro lado, Garcia & Marinonio (2016) evaluaron el efecto de la densidad y contenido extractivo de la variación colorimétrica de *Tectona grandis* (Teca) utilizando los lados radial y tangencial de la albura y duramen mediante un espectrofotómetro “CM 2600d” en el espacio de color  $L^*a^*b^*$  observando que la madera presenta una alta densidad y alto contenido extractivo. También De Avila Delucis et al., (2016) y De Oliveira Griebeler, (2013) utilizaron el método CIEL $^*a^*b^*$  para determinar las variaciones de color de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus tereticornis*.

En cuanto a los estudios de espectroscopía en madera, Labbé et al. (2013) evaluaron el rendimiento y la densidad en el lado longitudinal del fuste en dos clones de *Eucalyptus globulus*, el cambio del volumen en cuatro clones de *E. globulus* representados en dos sitios de crecimiento, observando que la variabilidad del rendimiento y la densidad es mínima, a diferencia del volumen. Abasolo et al. (2013) examinaron el potencial y capacidad del análisis NIR en dos secciones del género *Corymbia*, comparando tres factores como la edad de la especie, la preparación del tejido estandarizado de híbridos y la influencia del rango de la longitud de onda del equipo NIR. Lazzarotto et al., (2016) estimaron la densidad básica de dos especies de Pino, *Pinus maximinoi* y *Pinus tecunumanii*. Asimismo, Pace et al. (2019) desarrollaron modelos de clasificación e identificación de madera basados en la firma espectral utilizando análisis de componentes principales y análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales, a fin de ampliar la información espectral de especies y crear soluciones rápidas para la identificación de madera.

En base a lo antes expuesto, el objetivo general de este estudio es evaluar las propiedades espectrales y de color de la madera de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* provenientes del bosque húmedo pre-montano a fin de explorar sus usos potenciales en la industria maderera. Los objetivos específicos son: a) realizar la caracterización espectroscópica y colorimétrica de la madera de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*, b) establecer las diferencias y similitudes espectrales y de color entre la madera de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*, c)

determinar la relación entre las características espectrales y los valores de color a fin de facilitar la identificación y caracterización de las propiedades de madera y apariencia visual de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* y d) proponer las posibles aplicaciones de la madera de las especies en estudio, en base a las propiedades de colorimetría que presentan.

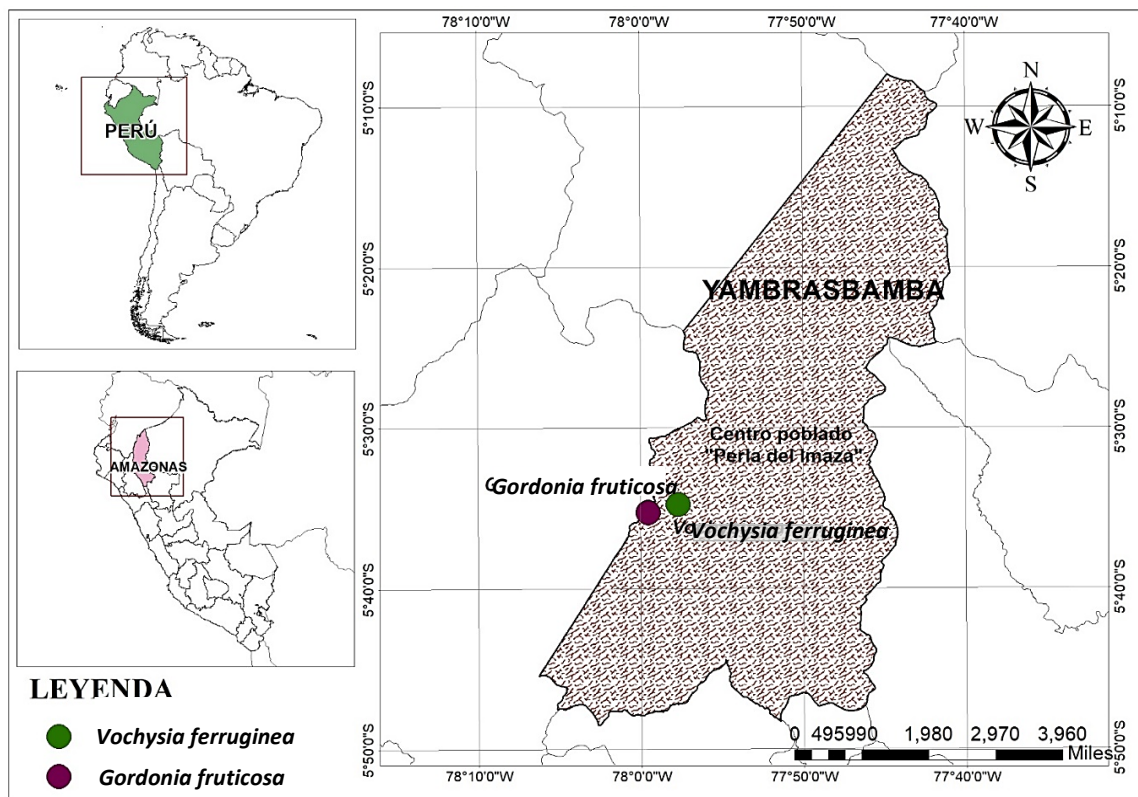
## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

Las muestras utilizadas en el presente estudio fueron provenientes del Centro Poblado Perla del Imaza, distrito de Yambrasbamba, provincia de Bongará, departamento de Amazonas (Figura 1). El área se ubica en las coordenadas geográficas: Latitud 5° 36' 13.7" S y Longitud 77° 59' 26.7" W, a una altitud de 1689 m.s.n.m. (Intranet, 2023).

**Figura 1**

*Mapa de ubicación del área de estudio*



Fuente: Elaboración propia (2024)

### 2.2. Lugar de ejecución

La ejecución del proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Xiloteca “Gocta” de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.

### 2.3. Especies estudiadas

Las especies forestales que fueron estudiadas se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1***Nombre y código de depósito de las especies estudiadas*

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Familia</b>	<b>Código de depósito en la Xiloteca Gocta</b>
<i>Vochysia ferruginea</i>	Bella María	Vochysiaceae	VOCF29
<i>Gordonia fruticosa</i>	Chilca brava	Theaceae	GORF14

**2.4. Materiales y equipos****Tabla 2***Lista de materiales, equipos y software utilizados en el estudio*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
<b>Equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colorímetro Konica Minolta CR-400 para la lectura de datos colorimétricos</li> <li>• Equipo NIR Unity Scientific (SpectraStar 2500XL, EE. UU.) para la lectura de los datos espectrales</li> </ul>
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuaderno de apuntes</li> <li>• Lapicero</li> <li>• Borrador</li> <li>• Cuchilla</li> <li>• Lijas</li> <li>• Regla</li> </ul>
<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa R para procesamiento de datos estadísticos</li> <li>• Easy RGB</li> <li>• Encycolorpedia</li> </ul>

**2.5. Muestra**

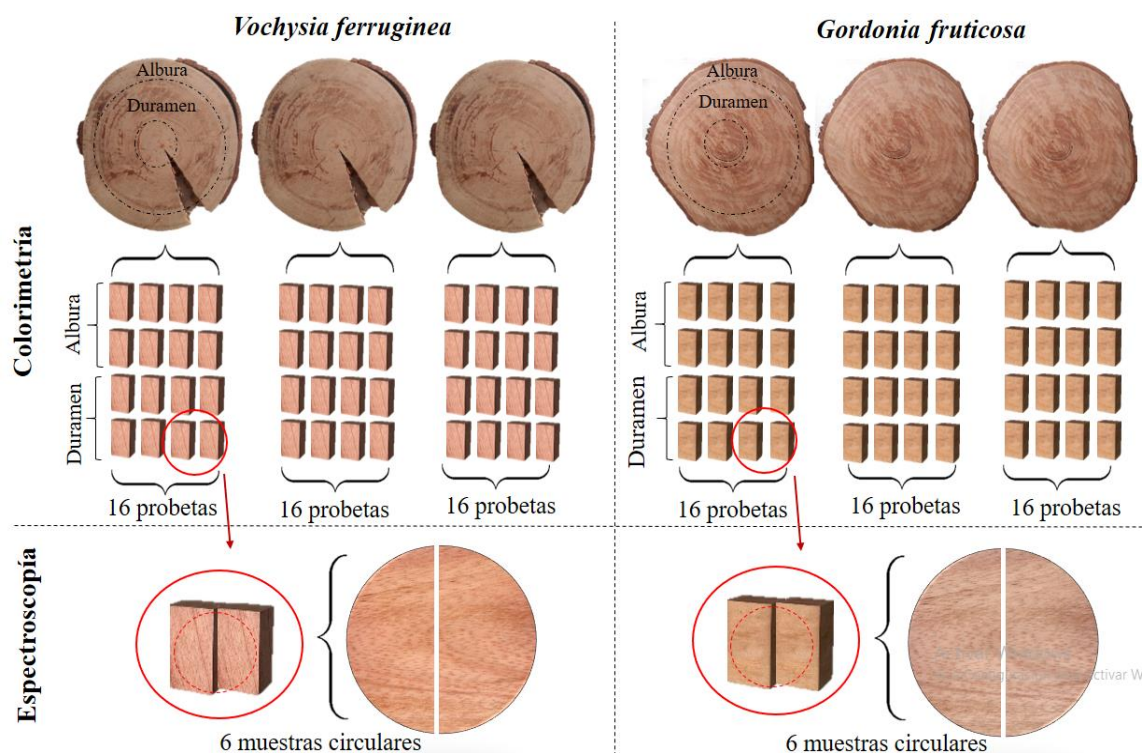
Según la Norma Técnica Peruana de la madera N° 251:008 se requiere al menos tres repeticiones de muestras para obtener un valor promedio de estudios. Por consiguiente, para colorimetría, la muestra consistió en 3 rodajas de madera por cada especie a partir



de las cuales se obtuvo 16 probetas por rodaja (Figura 2). Las rodajas adquiridas pertenecían a la parte basal del fuste. Para espectroscopía, se extrajo pequeñas muestras circulares de las probetas utilizadas para colorimetría, obteniendo un total de 12 muestra circulares, 6 por especie (Figura 2). El tipo de muestreo fue por conveniencia, lo que quiere decir se escogieron las probetas más convenientes para la investigación (Nádas & Rakovics, 2017), en este caso, se escogió las que se encontraban en buen estado sin ningún daño provocados por hongo e insectos.

**Figura 2**

*Representación gráfica de las muestras de Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa*



Fuente: Elaboración propia

## 2.6. Diseño del estudio

El diseño de la investigación es no experimental-descriptiva. Según Sousa et al. (2017), este tipo de diseño sirve para observar, describir y fundamentar aspectos de cualquier fenómeno, sin la manipulación de variables. Este diseño permitió determinar los parámetros colorimétricos y las propiedades espectrales de muestras de maderas de dos especies forestales de un bosque pre-montano.

## 2.7. Metodología

### 2.7.1. Trabajo de Gabinete

#### 2.7.1.1. Obtención de las rodajas de madera

Las rodajas fueron proporcionadas por el responsable de la Xiloteca “Gocta” (Anexo 14), este material provino de una colecta previa. Las muestras fueron colectadas el 13 de enero del 2023 y en el momento de corte contaba con aproximadamente 40 años.

#### 2.7.1.2. Transformación y codificación de las probetas para colorimetría

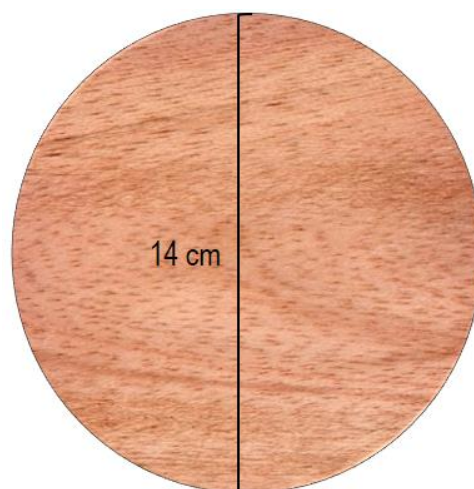
De las rodajas obtenidas, utilizando una sierra cinta, se procedió a dividir las en probetas con las siguientes dimensiones: 2.5 cm de espesor \* 10 cm de ancho \* 15 cm de largo. Este procedimiento se realizó considerando la orientación de sus cortes radiales y tangenciales. Cada rodaja proporcionó 16 probetas: ocho de la parte del duramen y ocho de la parte de la albura por cada especie. Considerando que por cada especie se tomaron muestras por triplicado, se obtuvo un total de 96 probetas entre ambas especies (Figura 2).

#### 2.7.1.3. Obtención de la muestra para determinación de las propiedades espectrales

Se seleccionaron 6 muestras circulares de madera de 14 cm de diámetro \* 1 cm de ancho, de *Vochysia ferruginea* y de *Gordonia fruticosa*.

### Figura 3

*Muestra circular de madera para Espectroscopía NIR*



### 2.7.2. Trabajo de laboratorio

La lectura de los datos colorimétricos se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias (FICA) y la toma de datos espectrales en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

#### 2.7.2.1. Obtención de datos colorimétricos

La determinación de color se realizó en probetas secas y saturadas de agua. Por especie, 24 probetas fueron saturadas en un recipiente de agua durante 30 días, cambiando el agua diariamente. Transcurrido este lapso de tiempo, las probetas secas y saturadas, fueron codificadas (Anexo 1) y llevadas al laboratorio de Biotecnología de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias (FICA). Haciendo uso del colorímetro Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta, Tokio, Japón) se procedió a tomar lectura de los parámetros colorimétrico por los cortes radiales y tangenciales, proporcionando valores de Luminosidad ( $L^*$ ), Coordenadas del eje verde-rojo ( $a^*$ ) y Coordenadas del eje azul-amarillo ( $b^*$ ). Se calculó también el valor de saturación ( $C$ ) y el ángulo de matiz ( $h^*$ ) utilizando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Los datos obtenidos fueron recopilados en una base de datos en Microsoft Excel para posteriormente ser analizados.

$$(1) \quad C = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}}$$

$$(2) \quad h^* = \text{tang}^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

Donde:

C: Saturación de la muestra

h: Ángulo de matiz

$a^*$ : Coordenadas del eje verde-rojo

$b^*$ : Coordenadas del eje azul-amarillo

El rango de valores para el ángulo de matiz ( $h^*$ ) es de 0 a 360 grados, donde 0 grados corresponde al rojo, 120 grados al verde y 240 grados al azul, y los valores intermedios representan colores intermedios (Ferrer, 2004)

La saturación del color se determinó de acuerdo al rango de clasificación propuesto por Gareca (2011) (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Rango de clasificación de la saturación de la madera*

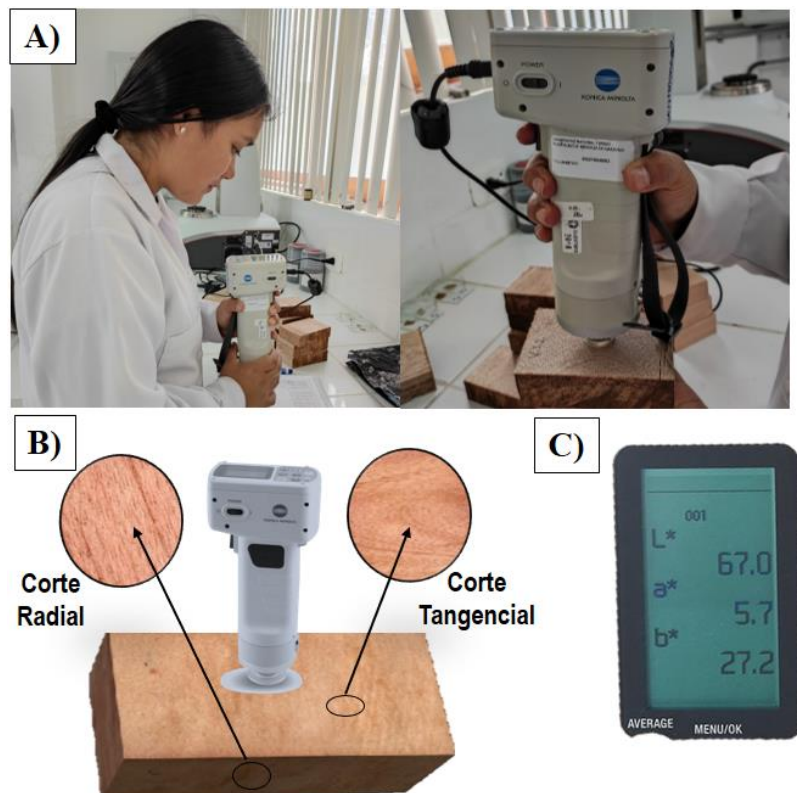
Condición	Determinación	Porcentaje
Muy saturado	Color vivo o intenso	50%– 100%
Poco saturado	Color descolorido o gris	0% - 50%

El proceso metodológico para la obtención de los parámetros colorimétricos de las probetas se muestra en la Figura 4.

**Figura**

**4**

*Medición de los parámetros colorimétricos de la madera de Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa. Donde: A) Calibración del colorímetro; B) Mediciones de la muestra en las secciones radiales y tangenciales; y C) Lectura de los datos colorimétricos*



Elaboración propia, adaptado de Sousa et al (2019)

### 2.7.2.2. Convertidor de datos colorimétricos

Luego del proceso de obtención de datos colorimétricos (Anexo 12), para convertir los datos se utilizó el software Easy RGB (Tabla 4). Se convirtieron los datos obtenidos del

colorímetro, del sistema CIELab a valores de RGB (rojo, verde y azul), dando como resultado a un cubo en un sistema de coordenadas cartesiano tridimensional con el eje “x”, “y” y “z” para los colores rojo (R), verde (G) y azul (B), respectivamente. Asimismo, al convertir estos datos, se obtuvo un código de color que al ser ingresado en Encycolorpedia arrojó la tonalidad de las especies.

**Tabla 4**

*Softwares utilizados para la determinación colorimétrica*

Software	Descripción	Fuente
<b>Easy RGB</b>	Convertidor de datos de color en diferentes estándares y espacios de color.	<a href="https://www.easyrgb.com/en/convert.php#inputFORM">https://www.easyrgb.com/en/convert.php#inputFORM</a>
<b>RGB El modelo de color RGB</b>	Es un cubo en un sistema de coordenadas cartesiano tridimensional con un eje para los canales rojo, verde y azul cada uno	<a href="https://web.cs.uni-paderborn.de/cgvb/colormaster/web/color-systems/rgb.html">https://web.cs.uni-paderborn.de/cgvb/colormaster/web/color-systems/rgb.html</a>
<b>Encycolorpedia</b>	Esquemas de colores, combinaciones, gradientes y conversiones de espacio de color.	<a href="https://encycolorpedia.com">https://encycolorpedia.com</a>

### 2.7.2.3. Obtención de datos espectrales en el equipo NIR

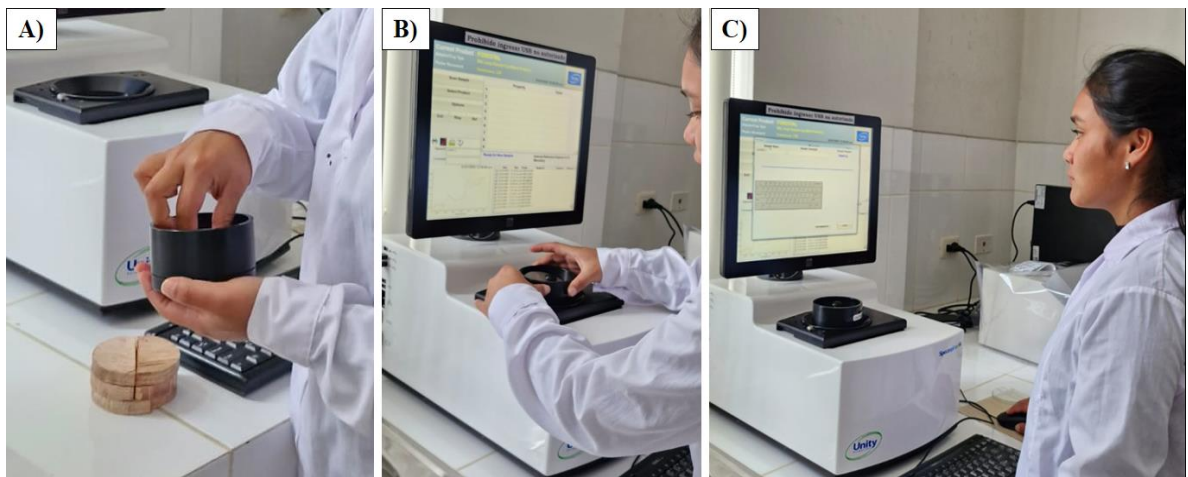
Los datos espectrales son las mediciones que se realiza a la madera a partir de un espectrómetro de infrarrojo cercano (NIR), midiendo la interacción de la luz infrarroja cercana entre 700 - 2500 nm, proporcionando información sobre la composición química y molecular de la madera.

Se utilizó un espectrómetro de Infrarrojo Cercano (NIR) Unity Scientific (SpectraStar 2500XL, EE. UU.) equipado con una Lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (indio-galio-arsénico) en un rango de longitud de onda de 1.100 a 2.500 nanómetros. Según Zossi et al. (2010) este equipo estudia la interacción de la radiación infrarroja con la materia.

Se inició con la calibración del equipo NIR, luego se creó una carpeta en el equipo donde fueron almacenados los datos. La muestra circular de madera se depositó en el lente del equipo asegurando que esté correctamente colocada y alineada para obtener lecturas precisas. La luz NIR penetra e interactúa con la muestra circular de madera y los datos espectrales fueron recopilados y almacenados en el mismo equipo. Se realizaron las lecturas correspondientes de las regiones transversales de las muestras circulares, obteniendo un total de 12 lecturas, 6 de *Vochysia ferruginea* y 6 de *Gordonia fruticosa*. El proceso descrito se ilustra en la Figura 5.

### Figura 5

Obtención de los datos espectrales en el equipo NIR. Donde: A) Preparación de la muestra; B) Colocación de la muestra en el lente del equipo; y C) Lectura de los datos espectrales.



#### 2.7.3. Correlación de datos espectrales con los datos colorimétricos y propiedades físicas de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*

Posterior al proceso de recopilación de datos espectrales en el equipo NIR (Anexo 13), se analizó la relación entre los datos espectrales y colorimétricos. Asimismo, tomamos los datos de las propiedades físicas de ambas especies, *Gordonia fruticosa* y *Vochysia ferruginea*, a partir de los datos publicados por Arellanos (2023) (Tabla 5), los datos de las propiedades físicas fueron comparadas con los datos espectrales, a fin de evaluar las posibles diferencias de los resultados utilizando métodos tradicionales y métodos modernos mediante equipo NIR.

Para correlacionar los valores colorimétricos con los datos espectrales de NIR se utilizó el modelo de regresión PLS (Partial Least Squares), un método de análisis multivariante

que determina la relación entre un grupo de variables y muy utilizado en estadística, quimiometría y otros ámbitos para la modelación de relaciones complejas entre variables (Ruiz, 2017).

**Tabla 5**

*Propiedades físicas de Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa*

<b>ESPECIE</b>	<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Contracción volumétrica (%)</b>
<i>Gordonia fruticosa</i>	92.9	0.55	10.6
<i>Vochysia ferruginea</i>	118.65	0.42	11.66

Fuente: Arellanos (2023).

#### **2.7.4. Identificación de usos de la madera de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa***

Para conocer los usos industriales de cada especie en estudio se realizó una exploración bibliográfica teniendo en cuenta los resultados colorimétricos encontrados de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*.

#### **2.7.5. Tratamiento de datos**

El análisis e interpretación de los datos se llevó a cabo utilizando estadística descriptiva. Los datos fueron ingresados y organizados en el software Excel, lo que permitió realizar cálculos básicos y elementales de la base de datos. Esto facilitó determinar el promedio de los parámetros colorimétricos y de las unidades de absorbancia medidos mediante Espectroscopía.

Se utilizó el software R para efectuar el análisis estadístico de los datos y establecer las diferencias significativas de *V. ferruginea* y *G. fruticosa* en colorimetría y espectroscopía. Asimismo, se generó un PCA de las dos especies que indica cómo se agrupan y diferencian en función a las características espectrales medidas.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros colorimétricos

En relación a la colorimetría, se pueden ver diferencias notables en los valores de los parámetros entre las dos especies. Por ejemplo, la madera de *Vochysia ferruginea* tiene a ser más clara (mayor L\*) y con tonos más amarillentos (mayor b\*) que la madera de *Gordonia fruticosa*. Ambas especies presentan valores de la cromática a\* positivos, indicando tonos con predominancia rojiza. Los valores de la cromática b\* también son positivos para ambas especies indicando predominancia de tonos amarillentos. En cuanto a Saturación (C), la madera de *Vochysia ferruginea* tiene colores más intensos y vívidos cuando se encuentra en estado saturado, en comparación con la madera de *Gordonia fruticosa*. Sin embargo, al secarse, la diferencia de saturación entre ambas especies se reduce.

Los promedios colorimétricos según corte, sección y condición de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* se muestran en la Tabla 6. Estos promedios se obtuvieron de los valores colorimétricos de cada probeta de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* que se muestran en el Anexo 2, 3, 4 y 5.



**Tabla 6**

*Promedio de los parámetros colorimétricos de Vochysia ferruginea y Gordonia fruticosa*

ESPECIE	CORTE	SECCIÓN	CONDICIÓN	L*	a*	b*	C	h*
<i>Gordonia fruticosa</i>	Radial	Albura	Saturado	30.0	12.4	2.24	12.9	46.9
			Seco	63.3	16.9	17.4	24.2	45.9
		Duramen	Saturado	33.1	12.7	2.79	13.4	8.93
			Seco	63.4	16.3	17.8	24.1	47.5
	Tangencial	Albura	Saturado	34.7	14.8	6.71	16.6	21.5
			Seco	61.5	16.7	16.6	23.6	44.8
		Duramen	Saturado	35.2	14.1	5.17	15.5	15.8
			Seco	62.5	16.5	17.9	24.3	47.1
<i>Vochysia ferruginea</i>	Radial	Albura	Saturado	43.9	21.5	14.2	25.8	33.1
			Seco	68.5	12.6	12.9	18.0	45.3
		Duramen	Saturado	46.8	22.0	16.8	27.8	36.8
			Seco	68.1	12.3	13.2	18.1	46.9
	Tangencial	Albura	Saturado	44.3	21.1	16.6	26.9	38.0
			Seco	65.1	13.4	12.6	18.4	43.0
		Duramen	Saturado	43.0	20.9	15.1	26.1	34.4
			Seco	67.3	12.3	12.8	17.8	46.2

Donde: L\* (Luminosidad), a\* (Cromátida verde – rojo), b\* (Cromátida azul – amarillo), C (Saturación) y h\* (ángulo de matiz).

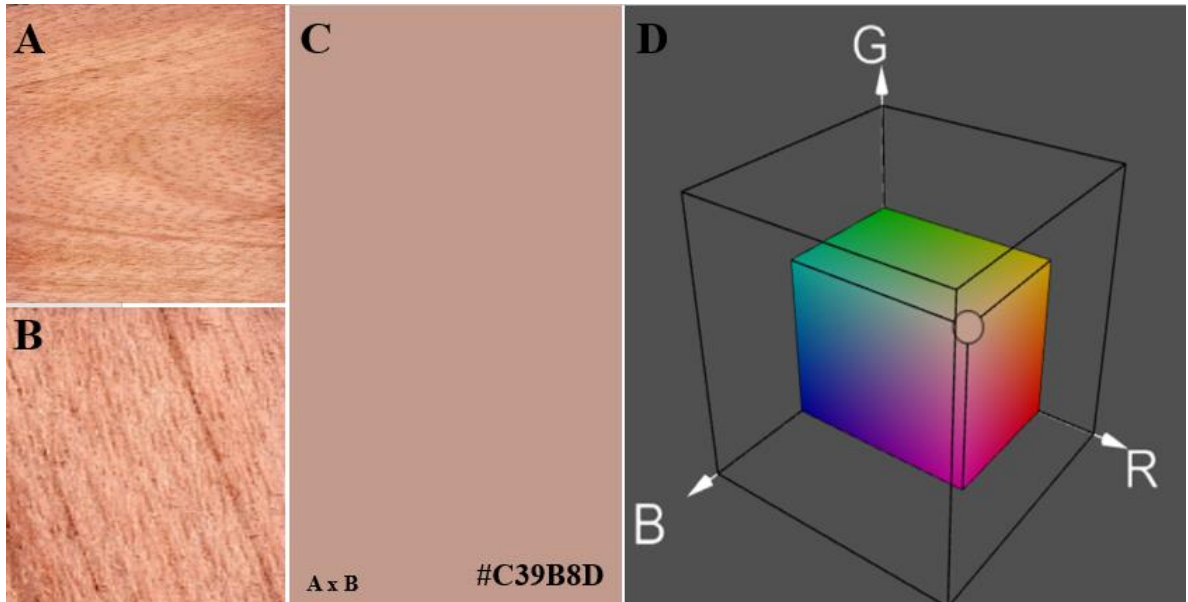
### 3.2. Colorimetría de *Vochysia ferruginea*

#### 3.2.1. Colorimetría de *Vochysia ferruginea* - Seco

El código de color hexadecimal #C39B8D es tono claro medio de rojo anaranjado. En el modelo de color RGB dicho color se compone de 76.47% de rojo, 60.78% de verde y 55.29% de azul (Figura 6).

**Figura 6**

*Color de la madera seca de Vochysia ferruginea. Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB*

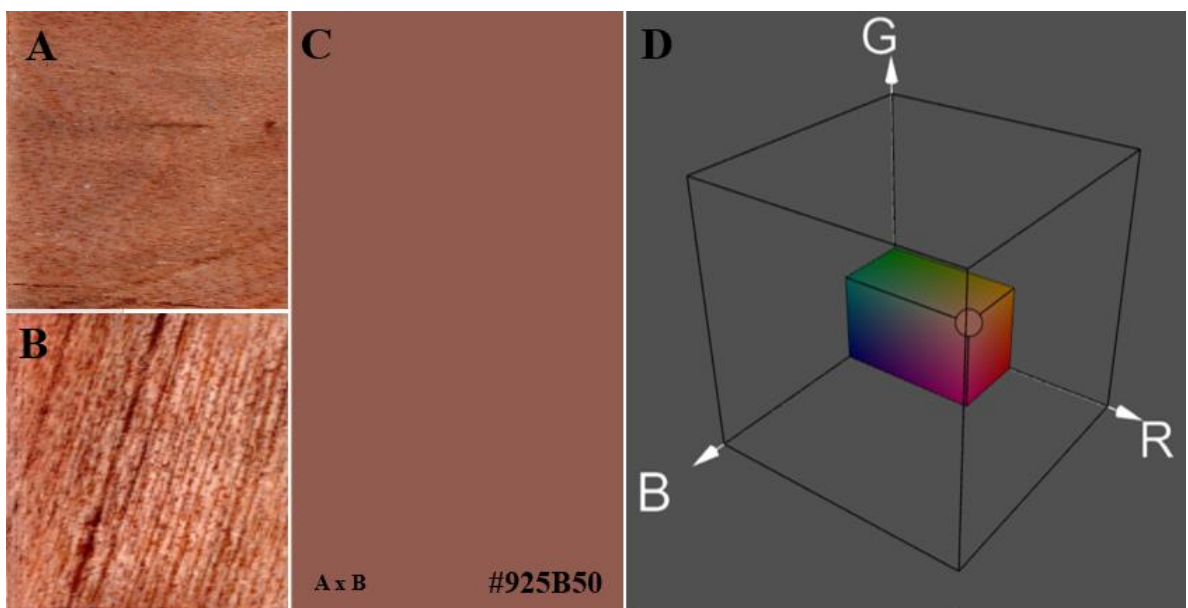


### 3.2.2. Colorimetría de *Vochysia ferruginea* – Saturado

El código de color hexadecimal #925B50 es tono de rojo. En el modelo de color RGB dicho color se compone de 57.25% de rojo, 35.69% de verde y 31.37% de azul (Figura 7).

#### Figura 7

Color de la madera saturada de *Vochysia ferruginea*. Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



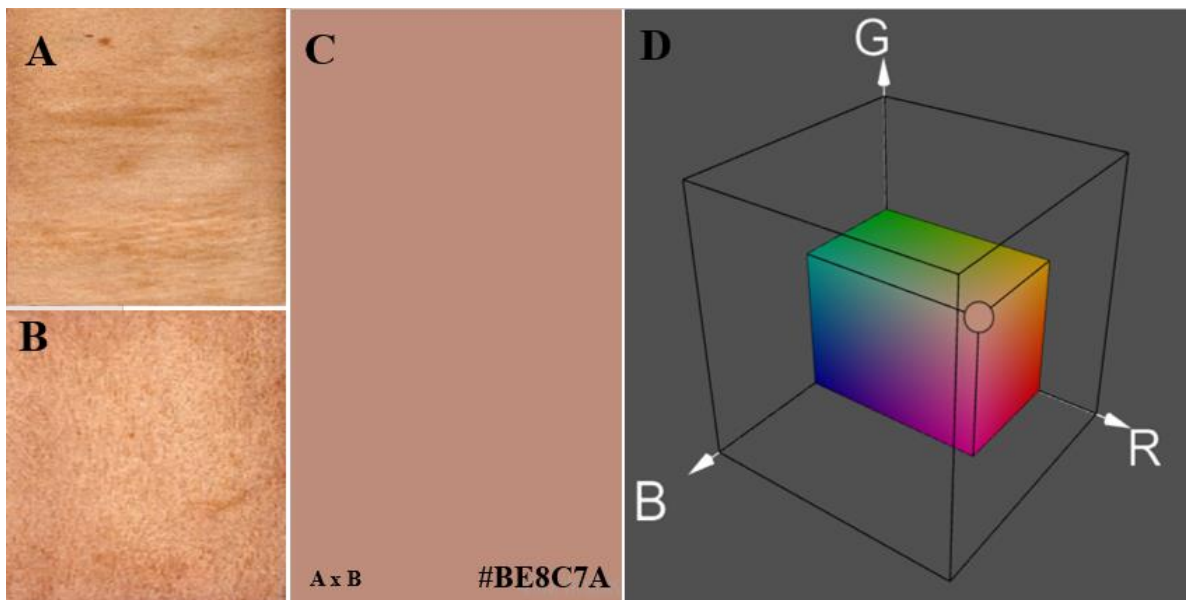
### 3.3. Colorimetría de *Gordonia fruticosa*

#### 3.3.1. Colorimetría de *Gordonia fruticosa* – Seco

El código de color hexadecimal #BE8C7A es un tono claro medio de rojo anaranjado. En el modelo de color RGB el color se compone de 74.51% de rojo, 54.9% de verde y 47.84% de azul (Figura 8).

#### Figura 8

Color de la madera seca de *Gordonia fruticosa*. Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB

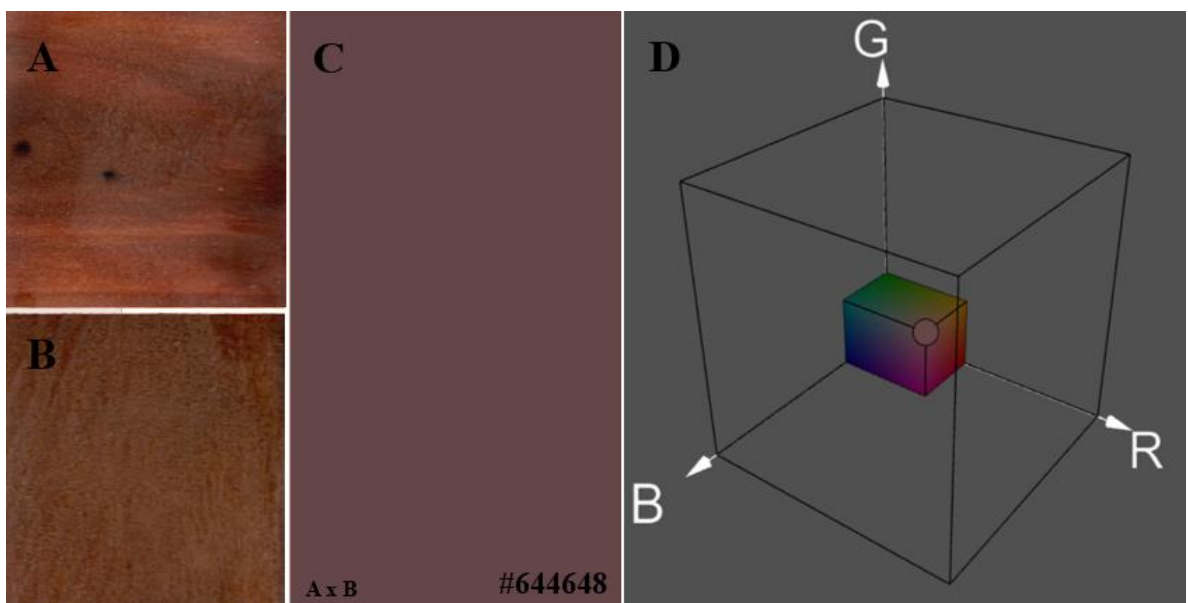


### 3.3.2. Colorimetría de *Gordonia fruticosa* – Saturado

El código de color hexadecimal #654648 es un tono oscuro de rosa - rojo. En el modelo de color RGB dicho color se compone de 39.61% de rojo, 27.45% de verde y 28.24% de azul (Figura 9).

#### Figura 9

Color de la madera saturada de *Gordonia fruticosa*. Donde: A) Cara tangencial de la muestra; B) Cara radial de la muestra; C) Color promedio de cara tangencial y radial de la muestra obtenido de Encycolorpedia; y D) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



Los resultados detallados obtenidos de la colorimetría de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* según su corte, sección y condición se presentan en el Anexo 6.

### 3.4. Matriz de correlación de los parámetros colorimétricos

En la Tabla 7 se muestra la matriz de correlación de los coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  y  $h^*$ ).

**Tabla 7***Matriz de correlación de los parámetros colorimétricos*

		<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C</b>	<b>h*</b>
<b>L*</b>	R de Pearson	----				
	gl	----				
	valor p	----				
<b>a*</b>	R de Pearson	-0.193	----			
	gl	14	----			
	valor p	0.473	----			
<b>b*</b>	R de Pearson	0.676**		----		
	gl	14	14	----		
	valor p	0.004	0.021	----		
<b>C</b>	R de Pearson	0.257	0.889***	0.881***	----	
	gl	14	14	14	----	
	valor p	0.337	< 0.001	< 0.001	----	
<b>h*</b>	R de Pearson	0.919***	0.180	0.896***	0.592*	----
	gl	14	14	14	14	----
	valor p	< 0.001	0.505	< 0.001	0.016	----

Nota. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001

El coeficiente de correlación entre L\* y a\* es -0.193, lo cual es estadísticamente significativo (p < 0.05), lo que indica una relación lineal negativa moderadamente fuerte entre estos dos parámetros. A medida que aumenta el valor de L\* (mayor luminosidad), el valor de a\* (coordenada rojo-verde) tiende a disminuir. La correlación de -0.193 entre L\* y a\* muestra que estos parámetros tienen una diferencia moderada en sus valores, puesto que, el coeficiente de correlación es cercano a 0 lo que indica que no hay una relación significativa entre estos parámetros.

La correlación de 0.592 entre h\* y C muestra que estos dos parámetros tienen una moderada similitud en sus valores, puesto que los coeficientes de correlación cercanos a 1 (positivos o negativos) indican una relación lineal fuerte entre dos parámetros. Esto significa que dichos parámetros varían de manera similar. Cuando h\* (Ángulo de tono) aumenta, C (Saturación) también aumenta. Y cuando h\* disminuye, C también disminuye. Están cambiando en la misma dirección, no en direcciones opuestas.

Todos los coeficientes de correlación mostrados son estadísticamente significativos, con algunos siendo significativos a nivel de  $p < 0.05$ , otros a nivel de  $p < 0.01$  y algunos más a nivel de  $p < 0.00$ , lo que significa que la probabilidad de que esas correlaciones entre los parámetros colorimétricos son reales y no se deben al azar. Cuanto más bajo es el valor de  $p$ , más confianza podemos tener en que la relación observada entre los parámetros es real y no es simplemente producto del azar.

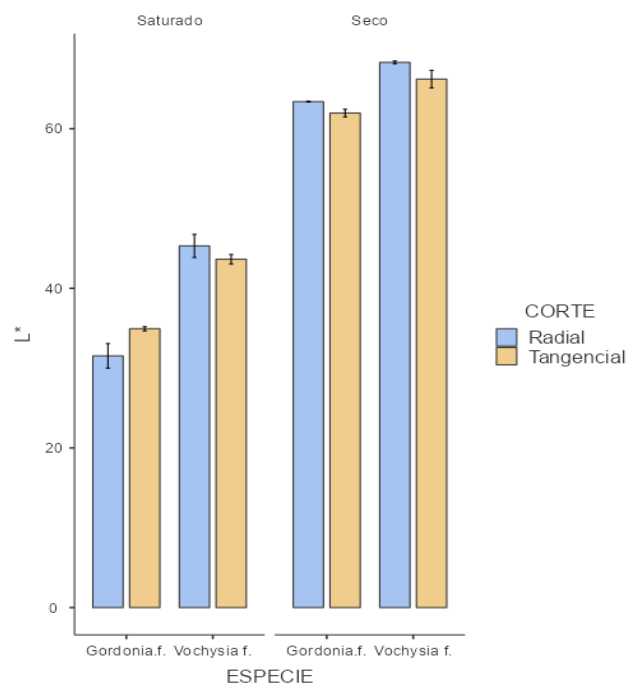
### 3.5. Diferencias y similitudes de los parámetros colorimétricos por especie

#### 3.5.1. Luminosidad ( $L^*$ )

Los valores de Luminosidad se muestran en la Figura 10. La luminosidad de las muestras de madera en estado saturado presenta menor valor que en estado seco, este resultado se da tanto en *Vochysia ferruginea* como en *Gordonia fruticosa*. ( $p < 0.001$ ) (Anexo 7A).

**Figura 10**

Valores medios de la Luminosidad ( $L^*$ ).

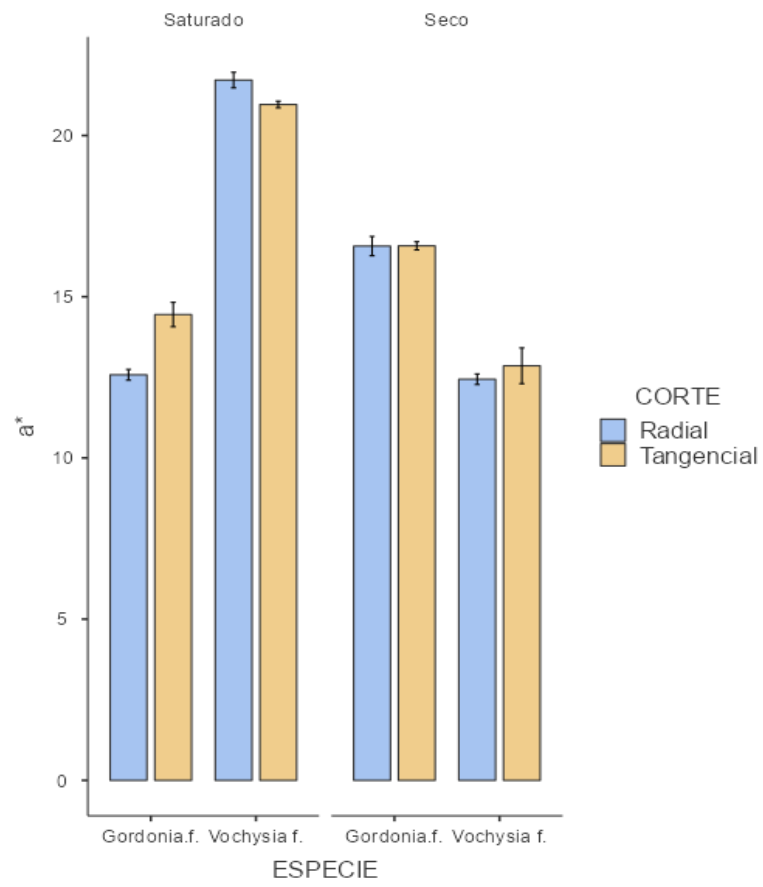


#### 3.5.2. Cromática $a^*$ (verde – rojo)

La Figura 11 muestra que la especie de *Vochysia ferruginea* en muestras saturadas obtuvo los valores de la cromática verde-rojo ( $a^*$ ) más altos, esto quiere decir presenta tonalidades rojizas en el color en comparación con *Gordonia fruticosa* ( $p < 0.001$ ) (Anexo 7B).

**Figura 11**

*Valores medios de la cromática a\* (verde – rojo)*



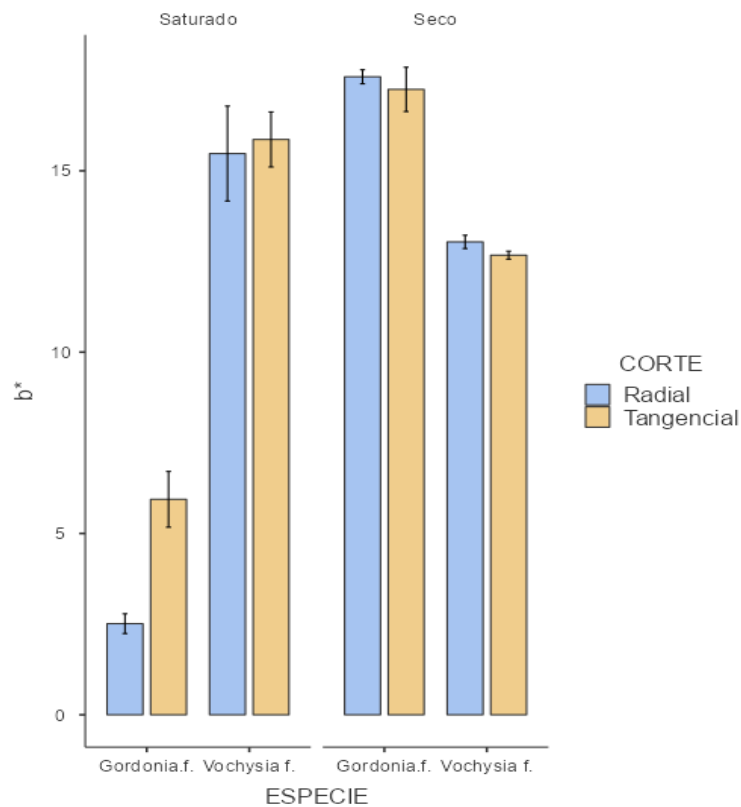


### 3.5.3. Cromática b\* (amarillo – azul)

En la Figura 12 se observa que *Gordonia fruticosa* en estado seco presenta el más alto valor de la coordenada amarillo-azul (b\*), lo que quiere decir que el color tiene un componente amarillo relativamente alto en comparación con su componente azul. Es decir, el color tiende a ser más amarillo que azul. *Vochysia ferruginea* presentó mayor cromaticidad b\* en estado saturado que en estado seco ( $p < 0.01$ ) (Anexo 7C).

**Figura 12**

Valores medios de la cromática b\* (amarillo – azul)

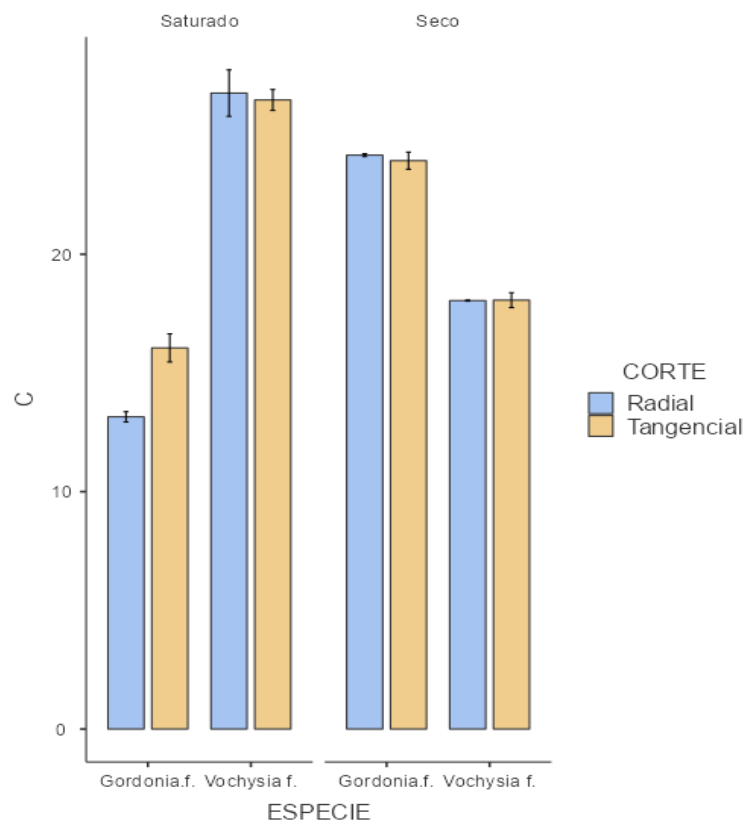


### 3.5.4. Saturación (C)

El parámetro colorimétrico C se refiere a la saturación cromática del color. Se observa valores inferiores al 50 % en ambas especies. El mayor y menor valor de saturación la tiene *Vochysia ferruginea* en su condición saturado y seco respectivamente ( $p < 0.001$ ) (Anexo 7D). Cuanto mayor sea el valor de  $C^*$ , mayor será la saturación del color. No está completamente saturado, pero tampoco es extremadamente desaturado. Es un término medio en cuanto a la intensidad del color (Figura 13).

**Figura 13**

*Valores medios del parámetro colorimétrico  $C^*$  (Saturación)*

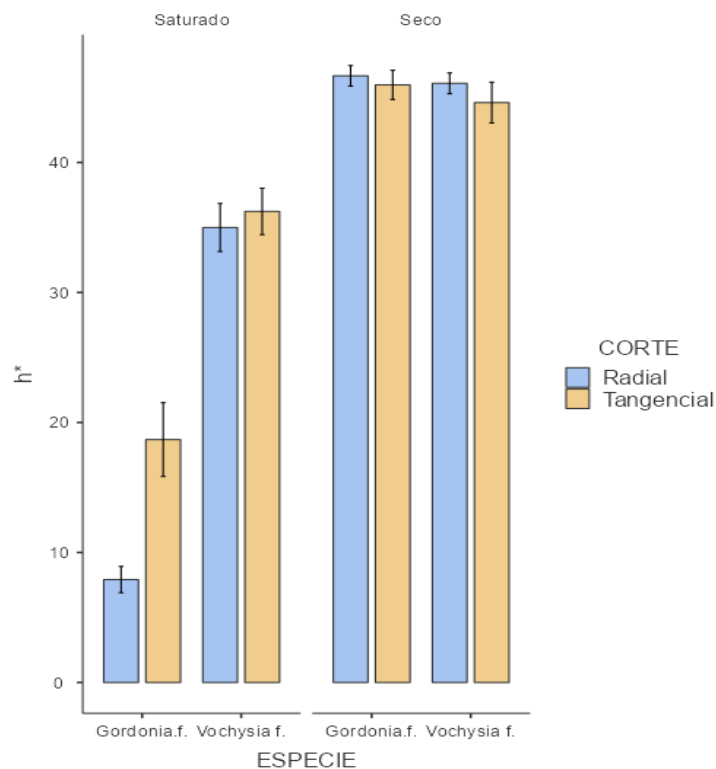


### 3.5.5. Ángulo de matiz (h\*)

El ángulo de matiz de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* en estado seco presentan una mínima diferencia significativa ( $p < 0.001$ ) (Anexo 7E) en sus valores con un máximo de  $47.5^\circ$ , lo que indica que el color está en una posición específica en la escala circular, lo que sugiere una dirección particular del matiz. En términos más prácticos, un valor de 47 grados indica que el color tiende hacia tonos de rojo-amarillo (Figura 14).

**Figura 14**

Valores medios del parámetro colorimétrico  $h^*$

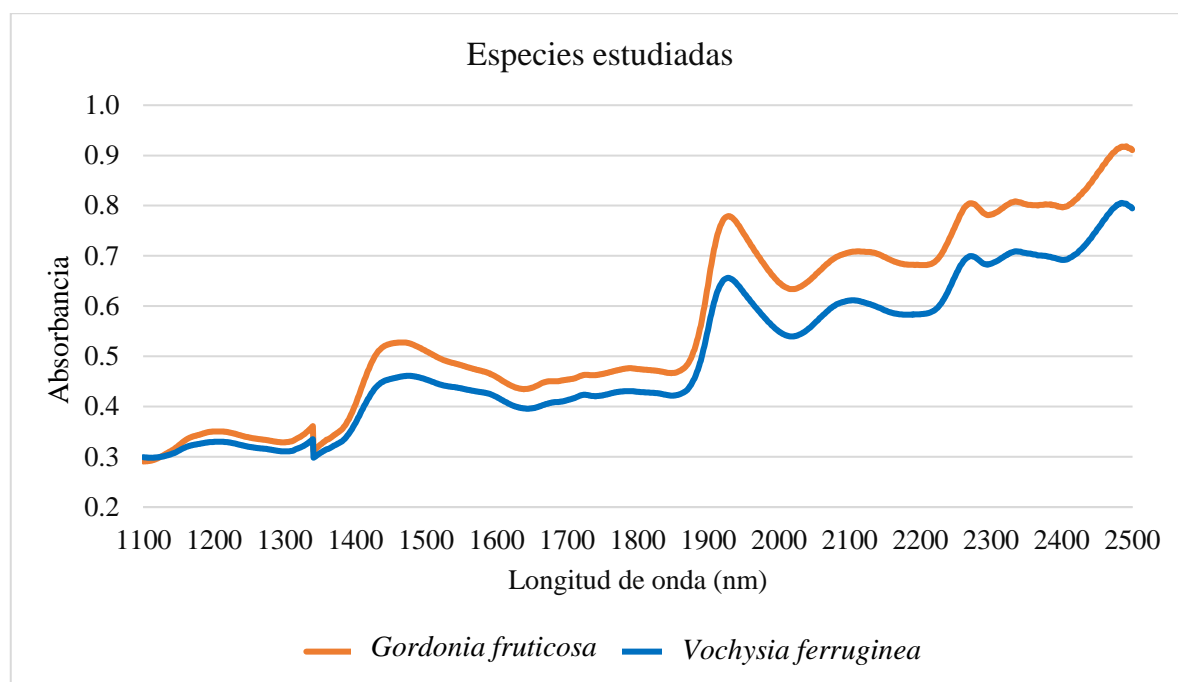


### 3.6. Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR)

La variación espectral analizada estuvo comprendida entre 1100 nm y 2500 nm. El eje “x” representa la longitud de onda en nanómetros y el eje “y” representa la absorbancia, que es la intensidad de la luz en cada longitud de onda. Para el análisis de los datos se recolectaron un total de 12 espectros, 6 por especie (Anexo 8), y los resultados espectrales promedio de cada especie se muestra en la Figura 15.

**Figura 15**

Media de los espectros NIR de *V. ferruginea* y *G. fruticosa*



Las dos líneas coloridas representan el comportamiento de cada una de las especies a lo largo del espectro NIR. La línea anaranjada corresponde a *G. fruticosa*, mientras que la línea azul representa a *V. ferruginea*. Podemos observar que el comportamiento espectral de ambas especies es muy similar, con picos y valles que se alinean a lo largo del rango de longitudes de onda. Se indica que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ) (Tabla 8). Los valores de absorbancia se muestran en el Anexo 9 que constata la semejanza del comportamiento espectral de las ondas espectrales de *V. ferruginea* y *G. fruticosa*. En el rango de 1900 a 2050 nm, se observa picos en los espectros de ambas especies; estos picos indican que las especies tienen una mayor reflectancia o absorción en el espectro infrarrojo cercano, lo cual está relacionado con características específicas de su composición o estructura.

**Tabla 8**

Matriz de correlación de los valores de los espectros NIR

		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	----
	gl	----	----
	valor p	----	----

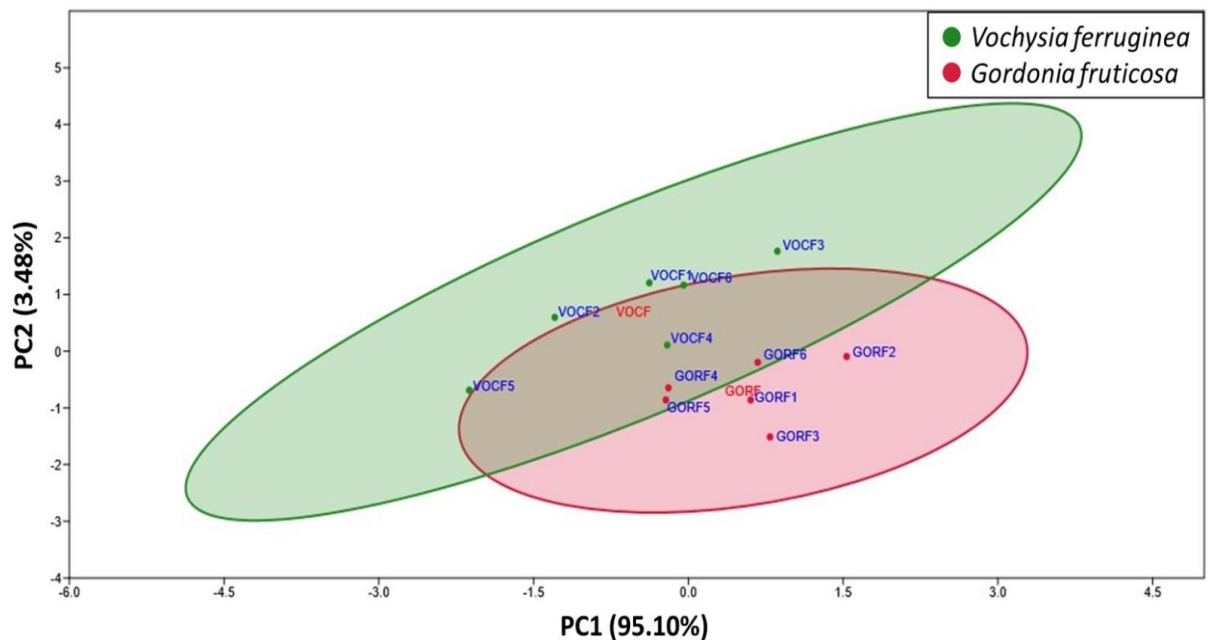
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	0.998***	----
	gl	6	----
	valor p	< 0.001	----

Nota. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001

Mediante la utilización de los datos específicos obtenidos a través de la Espectroscopía NIR, se logró generar un gráfico de puntuaciones de las dos especies forestales: *V. ferruginea* y *G. fruticosa* (Figura 16). Cada punto en el gráfico representa una muestra o individuo de estas especies, y la posición del punto en los ejes PC1 y PC2 indica cómo se agrupan y diferencian estas especies en función de las características espectrales medidas. Las muestras de *V. ferruginea* (puntos verdes) se agrupan en un conjunto más compacto, lo que indica mayor similitud entre sus muestras, mientras que las muestras de *G. fruticosa* (puntos rojos) muestra una mayor dispersión de sus muestras y se distribuyen más ampliamente en el espacio PCA. Las muestras que están en la zona intermedia entre las dos especies, indica proximidad o superposición entre ellas.

### Figura 16

Análisis de Componentes Principales con datos espectrales NIR de *V. ferruginea* y *G. fruticosa*



#### 3.6.1. Correlación de los parámetros colorimétricos con los datos NIR

La Tabla 8 presenta los parámetros estadísticos de un modelo de calibración para el tipo de ecuación (PLS - Partial Least Squares) aplicado a un conjunto de datos, en este caso a los parámetros colorimétricos L\*, a\*, b\*, C y h\*.

**Tabla 9**

*Valores de parámetros utilizados en espectroscopía con los parámetros colorimétricos de *Vochsya ferruginea* y *Gordonia fruticosa**

<b>Parámetro</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C</b>	<b>h*</b>
<b>Tipo de ecuación</b>	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS
<b>SEC</b>	0.583	0.498	0.579	0.762	0.123
<b>RSQ</b>	0.941	0.941	0.941	0.941	0.941
<b>SECV</b>	0.619	0.569	0.615	0.810	0.131
<b>RSQV</b>	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425

Error estándar de calibración (SEC), Coeficiente de determinación (RSQ), Error estándar de validación cruzada (SECV), Coeficiente de determinación de validación cruzada.

En el parámetro h\* (Ángulo de matiz) se encuentra el menor valor del SEC con un 0.123, lo cual indica que el modelo de calibración (PLS - Partial Least Squares) desarrollado para predecir este parámetro colorimétrico tiene un mejor ajuste a los datos referenciales utilizados, ya que un valor de SEC más bajo significa que las predicciones del equipo NIR se acercan más a los valores de referencia medidos.

El parámetro C (Saturación del color) presenta el SEC más alto y más cercano a 1 con un valor de 0.762, lo que indica que el modelo de calibración utilizado (PLS - Partial Least Squares) desarrollado a partir de los datos espectrales NIR tiene una precisión relativamente baja para predecir los valores de referencia.

En la Tabla 8 se puede observar que los valores de RSQ son iguales a 0.941 para todos los parámetros evaluados (L\*, a\*, b\*, C y h\*) lo que indica que el modelo de calibración (PLS - Partial Least Squares) desarrollado a partir de los datos espectrales NIR contienen información suficiente y relevante para predecir de manera confiable los parámetros colorimétricos de las muestras.

Los gráficos de dispersión que muestran la relación entre los valores de referencia y los valores predichos en espectroscopía NIR (Near-Infrared Spectroscopy) de los parámetros colorimétricos estudiados (L\*, a\*, b\*, C y h\*) se observa en el Anexo 10.

### **3.6.2. Correlación de las propiedades físicas con los datos NIR**

La Tabla 9 presenta los parámetros estadísticos de un modelo de calibración para el tipo de ecuación (PLS - Partial Least Squares) aplicado a un conjunto de datos, en este caso a

las propiedades físicas de *V. ferruginea* y *G. fruticosa* encontrados en la investigación de Arellanos (2023).

**Tabla 10**

*Valores de parámetros utilizados en espectroscopía con las propiedades físicas de V. ferruginea y G. fruticosa*

<b>Parámetro</b>	<b>Humedad</b>	<b>Densidad básica</b>	<b>Contracción volumétrica</b>
<b>Tipo de ecuación</b>	PLS	PLS	PLS
<b>SEC</b>	3.272	0.017	0.135
<b>RSQ</b>	0.941	0.941	0.941
<b>SECV</b>	3.474	0.018	0.143
<b>RSQV</b>	0.425	0.425	0.424

Error estándar de calibración (SEC), Coeficiente de determinación (RSQ), Error estándar de validación cruzada (SECV), Coeficiente de determinación de validación cruzada.

El error estándar de calibración (SEC) en los valores de la densidad básica y contracción volumétrica equivalen a 0.017 y 1.135 respectivamente, lo que indica que el modelo de calibración (PLS - Partial Least Squares) desarrollado para predecir esta propiedad física tiene un mejor ajuste a los datos referenciales utilizados. Si el valor de SEC (Error estándar de calibración) es mayor a 1, como se observa en el caso de la Humedad con un SEC de 3.272, esto indica que el modelo de calibración (PLS - Partial Least Squares) desarrollado a partir de los datos espectrales NIR tiene una precisión relativamente baja para predecir esta propiedad física.

Se observa que los valores de RSQ (Coeficiente de determinación) para las propiedades físicas (Humedad, densidad básica y contracción volumétrica) también son iguales como con los parámetros colorimétricos con un 0.941 lo que indica que el modelo de calibración (PLS - Partial Least Squares) desarrollado a partir de los datos espectrales NIR contienen información suficiente y relevante para predecir de manera confiable los parámetros colorimétricos de las muestras.

Los gráficos de dispersión que muestran la relación entre los valores de referencia y los valores predichos en espectroscopía NIR (Near-Infrared Spectroscopy) de las

propiedades físicas de humedad, densidad básica y contracción volumétrica se observa en el Anexo 11.

### **3.7. Usos industriales de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa***

Teniendo en cuenta que la investigación determina que la madera de las especies *V. ferruginea* y *G. fruticosa* presentan un "tono claro medio de rojo anaranjado", se pueden considerar los siguientes posibles usos industriales:

Este tono cálido y claro de la madera podría ser adecuado para la fabricación de muebles de interior, como sillas, mesas, armarios y cómodas; asimismo, en la fabricación de puertas, ventanas, revestimientos de paredes y techos. La madera podría resaltar bien en diseños de estilo rústico, contemporáneo o de inspiración natural.

En la industria de la artesanía, este tono de color de la madera permitiría su uso en la creación de artículos artesanales, como cajas, figuras, utensilios de cocina, entre otros.

Es importante destacar que la determinación final de los usos industriales dependerá también de otras características de la madera, como su resistencia, densidad, textura, facilidad de mecanizado, entre otros. Un análisis más detallado de las propiedades mecánicas sería necesario para confirmar su viabilidad en los diferentes sectores.



#### IV. DISCUSIÓN

Las dos especies estudiadas provienen de familias diferentes, Vochysiaceae en el caso de *Vochysia ferruginea* y Theaceae en el caso de *Gordonia fruticosa*. Las propiedades espectrales y de color se vinculan con la reflexión de la luz de la superficie. La superficie del material refleja luz con una cierta intensidad para una longitud de onda dada, esto es, la curva de reflectancia (Ananias et al., 2021).

Con respecto a colorimetría, la madera en estado seco de *Vochysia ferruginea* y de *Gordonia fruticosa* presentaron un tono claro medio de rojo anaranjado, resultado que no coincide con la investigación de Arellanos (2023), que determinó color de la madera de *Vochysia ferruginea* es más claro que la de *Gordonia fruticosa* con el uso de la tabla Munsell. Villegas (2009) indica que la tabla Munsell es un método más subjetivo y descriptivo, mientras que el colorímetro proporciona una medición instrumental más precisa y objetiva del color de la madera. La Tabla 6 presenta los promedios de los parámetros colorimétricos correspondientes a cada especie, con el propósito de resaltar las discrepancias entre ellas. Estos valores mostraron variaciones tales como: L\* (luminosidad) en el rango de 30.00 a 68.50; a\* (tonalidad de verde a rojo) entre 12.3 y 22.0; b\* (tonalidad de azul a amarillo) entre 2.24 y 17.9; C\* (saturación de color) oscilando entre 12.9 y 27.8; y h\* (ángulo de tono) situándose entre 8.93 y 46.9.

En el parámetro L\*, la sección duramen presentó valores superiores a la sección albura, según Oliveira (2013) esto se debe a que la albura está compuesta principalmente por células jóvenes y activas, mientras que el duramen contiene células más maduras y menos activas. La actividad de las células en la madera está relacionada a la capacidad que tienen éstas de participar en las funciones vitales del árbol, como el transporte de agua y nutrientes (Cisneros et al, 2019). Las cromáticas a\* y b\* presentaron valores similares en los cortes radiales y tangenciales, resultado que coincide con el estudio de Vieira et al. (2019) donde indica que esta semejanza se debe a la homogeneidad de la estructura y composición de la madera a nivel microscópico en estas dos direcciones. Los valores bajo de saturación (C\*) se asemejan al estudio de Chavesta et al., (2022) los cuales indican que si la saturación es baja es por la presencia de lignina en la composición química de la madera que influyen en su capacidad para absorber y retener el color. En ciertas especies de madera, la proporción elevada de lignina puede obstaculizar la penetración uniforme del color en la superficie. Las muestras saturadas en agua presentan un color más intenso, en el caso de *Vochysia ferruginea* presenta un tono de rojo, y en *Gordonia fruticosa* un

tono oscuro de rosa – rojo, según Silva (2014), esto es debido a la cantidad de agua que existe en una pieza de madera, haciendo referencia al contenido de humedad.

Con respecto a Espectroscopía NIR muestra el promedio de los espectros NIR de *Gordonia fruticosa* y *Vochysia fruticosa*. Las ondas espectrales estuvieron comprendidas entre 1000 a 2500 nm, al igual que la investigación realizada por Bastidas-Obando & Carbonell (2010) que utilizó las longitudes de onda entre los 1.000 y 2.500 nm para una mejor observación de los perfiles espectrales. Las diferencias espectrales observadas en el rango de longitudes de onda entre 1000 y 2500 nanómetros pueden ser útiles para explicar algunas de las variaciones entre diferentes tipos de madera. Esto se debe a la fuerte correlación que existe entre estas variaciones espectrales y los principales componentes químicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) que conforman la estructura de la madera así como lo indica Tsuchikawa & Kobori (2015).

La relación de los datos predichos por Espectroscopía NIR con los parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  y  $h^*$ ) y las propiedades físicas (Humedad, densidad básica y contracción volumétrica) de las especies *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*, se establece mediante la evaluación de parámetros como el Error Cuadrático de Calibración (SEC) y el Coeficiente de Determinación (RSQ), Zossi et al. (2010) indica que estos parámetros permiten comprender cómo los resultados de color estudiadas con un colorímetro se relacionan con los resultados obtenidos de una técnica rápida no destructiva como la Espectroscopía de Infrarrojo Cercano. Al tener el mismo RSQ (0.941) para los parámetros colorimétricos y para las propiedades físicas, indica que el modelo de calibración desarrollado para el tipo de ecuación (PLS - Partial Least Squares) tiene un nivel de ajuste y capacidad predictiva similar a través de estas diferentes propiedades (Pace et al., 2019).

El color encontrado de la madera de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa* es un “tono claro medio de rojo anaranjado” que podría ser adecuado para la fabricación de muebles de interior, como sillas, mesas, armarios y cómodas (Santiago et al., 2022); sin embargo, para obtener un resultado más preciso se requiere de estudios de las propiedades mecánicas de las especies y así confirmar su uso industrial más adecuado (Cisneros et al., 2019). CITE Madera (2009) menciona que, para asegurar un acabado de alta calidad y evitar retrasos en la unificación de colores, es esencial que las piezas de madera tengan un color uniforme y homogéneo.

## V. CONCLUSIONES

- El estudio de Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR) mostró una tendencia similar en cuanto a los perfiles espectrales de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*, pero ayuda a diferenciarlas. La madera de *V. ferruginea* presentó el código de color #C39B8D y *G. fruticosa* el código de color #BE8C7A, sin embargo, ambos códigos reciben el mismo nombre de color con un “tono claro medio de rojo anaranjado”.
- Con respecto a los datos espectrales, las muestras de *V. ferruginea* se agruparon en un conjunto más compacto, lo que indicó mayor similitud entre sus muestras, mientras que, las muestras de *G. fruticosa* muestra una mayor dispersión de sus muestras. En colorimetría, los valores de Luminosidad ( $L^*$ ) posee altos valores a comparación de las cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ , esto aplica en ambas especies. Los valores de saturación fueron de mayor valor en las muestras saturadas de agua, debido al contenido de humedad presente; a pesar de ello, la saturación no clasifica alta ya que el valor que presenta es menor al 50%.
- La relación de espectroscopía con los datos colorimétricos mostraron similitud y buen ajuste ( $<1$ ) de los datos predecidos por NIR, colorimetría y los datos de referencia de las propiedades físicas que ayudan a la diferenciación de las especies.
- La colorimetría y la Espectroscopía NIR son técnicas analíticas importantes utilizadas para evaluar la calidad de la madera de especies como *V. ferruginea* y *G. fruticosa*.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las especies forestales de Amazonas a nivel de colorimetría y Espectroscopía NIR en futuras investigaciones, para aportar el conocimiento de estas técnicas y aplicarlas en la identificación y caracterización de especies forestales.
- Vincular los estudios colorimétricos y espectroscópicos para ayudar a combatir la tala ilegal.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abasolo, M., Lee, D. J., Raymond, C., Mederd, R., & Mervyn, P. (2013). *Los espectros desviados del infrarrojo cercano identifican los híbridos de Corymbia*. 10–15.
- Ananias, R., Sarzosa, R., Janin, G., Bluskova, G., & Gocalez, J. (2021). *Maderas . Ciencia y tecnología AESTHETICS APPRECIATION OF WOOD COLOUR AND*. 2–6.
- Arellanos, R. del C. (2023). *CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA MACROSCÓPICA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE Gordonia fruticosa Y Vochysia ferruginea DE LA PERLA DEL IMAZA-AMAZONAS*.
- Bastidas-Obando, E., & Carbonell, J. A. (2010). Caracterización espectral y mineralógica de los suelos del valle del río Cauca por espectroscopía visible e infrarroja (400 - 2,500 nm). *Agronomía Colombiana*, 28(2), 291–301.
- CATIE. (1995). *Vochysia ferruginea Mart. (Vochysiaceae): especie de abol de uso multiple en America Central* (p. 30).
- Chavesta, M., Montenegro, R., Romero, J., Tomazello-Filho, M., Carneiro, M., & Nisgoski, S. (2022). COLORIMETRÍA Y DENSITOMETRÍA EN MADERA DE Guazuma crinita COLORIMETRY AND DENSITOMETRY OF Guazuma crinita WOOD. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 24(24), 1–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-221x2022000100432>
- Cisneros, A. B., Nisgoski, S., Moglia, J. G., & Córdoba, M. (2019). Colorimetry of wood from Prosopis Alba. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 21(3), 393–404. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000311>
- de Avila Delucis, R., Herrera Diaz, R., Labidi, J., & Gatto, D. A. (2016). Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 18(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2016005000014>
- De oliveira Griebeler, C. (2013). *COLORIMETRIA DA MADEIRA DE Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden MODIFICADA TERMICAMENTE*.
- Ferreira, C. A., Inga, J. G. G., Buendia, R. H., Vidal, O. D. A., Reyes, D. C. A., Centeno, W. G., Ascue, B. S. M., Moya, S. M. M., Centeno, T. U., Echeverry, A. V., & Filho,

- M. T. (2023). Identification of 20 species from the Peruvian Amazon tropical forest by the wood macroscopic features. *Cerne*, 29(1). <https://doi.org/10.1590/01047760202329013134>
- Ferrer, V. (2004). *Calibración de una cámara por seguimiento de características en una secuencia de imágenes*. 100.
- Garcia, R. A., & Marinonio, G. B. (2016). Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos. *Floresta e Ambiente*, 23(1), 124–134. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.035313>
- Gareca, F. (2011). *Percepción del color. Teoría del color*. 7823–7830. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/1473/17.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Gutiérrez, L. A. B., & Ramos, G. M. V. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la selva central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1025–1037. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i3.11778>
- Labbé, R., Droppelmann, F., Balocchi, C., & Peredo, M. (2013). Variación de la densidad de la madera y rendimiento pulvable en clones de eucalyptus globulus evaluado con espectroscopía de infrarrojo cercano. *Bosque*, 34(3), 263–272. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000300002>
- Lazzarotto, M., Netipanyj, R. R., Magalhães, W. L. E., & Aguiar, A. V. (2016). Espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa da densidade básica de madeiras de Pinus. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 7(3), 119–126. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v7n3p119-126>
- López, S. H., Vargas, A. Á., Sánchez, F. J. Z., Gutiérrez, G. O., & de la Rosa, A. M. B. (2021). COLORIMETRÍA DE LOS TALLOS DEL BAMBÚ (*Guadua angustifolia*) EN TRES ESTADOS DE MADUREZ. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 23(23), 1–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2021000100408>
- Mauri, R., & Oliveira, J. T. da S. (2011). Anatomia Comparada de Três Espécies do Gênero *Vochysia*. *Floresta e Ambiente*, 18(1), 69–79. <https://doi.org/10.4322/floram.2011.024>

- Moya, R., Leandro, L., & Murillo, O. (2009). Características de la madera de Terminalia amazonia, Vochysia guatemalensis y Hyeronima alchorneoides plantadas en Costa Rica. *Bosque*, 30(2), 78–87. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002009000200003>
- Nádas, J., & Rakovics, V. (2017). High intensity broad spectrum LEDs in the near infrared range. *Materials Science Forum*, 885, 141–146. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.885.141>
- Oliva, M., Pérez, D., & Vela, S. (2011). *Priorización de especies forestales nativas como fuentes Semilleros del Proyecto PD 622/11 en Molinopampa, Amazonas, Perú.*
- Pace, J. H. C., Latorraca, J. V. F., Hein, P. R. G., Castro, J. P., Carvalho, A. M., & Silva, C. E. S. (2019). Wood species identification from atlantic forest by near infrared spectroscopy. *Forest Systems*, 28(3). <https://doi.org/10.5424/fs/2019283-14558>
- Pérez, D., Vacalla, F., Oliva, M., & Tucto, A. (2012). *Estudio de la propagación vegetativa de la chilca brava (Gordonia fruticosa) mediante enraizamiento de estaquillas en cámaras de subirrigación, Molinopampa, Amazonas - Perú. 1, 12.*
- Pérez, P., Zárate, R., & Mejía, K. (2017). *Biodiversidad en la Concesión de Conservación Alto Huayabamba, Perú.* (Issue April 2018).
- Ruiz, C. M. (2017). Modelo de Regresión PLS. *Universidad de Sevilla*, 95. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/63208/Márquez Ruiz Cristina TFG.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/63208/Márquez_Ruiz_Cristina_TFG.PDF?sequence=1&isAllowed=y)
- Santiago, P., Guevara, C., & Espinoza, M. (2022). Manual de transformación de la madera. *Noyabr'*, 140–143. <https://doi.org/10.1515/9783112622766-014>
- Silva, C. (2014). Evaluación de los ensayos de Introducción de especies forestales y de Mejoramiento genético en el Departamento de Cajamarca. [Tesis de Pregrado, *Universidad Nacional Agraria La Molina*]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1686/F30.S55-T.pdf?sequence=1>
- Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. (2017). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte1: Diseño de investigación cuantitativa. *Revista Latinoamericana Enfermagem*, 15(3), 6. [http://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es\\_v15n3a22.pdf%0Ahttps://www.scielo.br/j/r](http://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es_v15n3a22.pdf%0Ahttps://www.scielo.br/j/r)

lae/a/7zMf8XypC67vGPrXVrVFGdx/?format=pdf&lang=es

- Suarez, T., & Berger, G. (2009). DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA. (Vol. 2, Issue 1).
- Tsuchikawa, S., & Kobori, H. (2015). A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science*, 61(3), 213–220. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1467-x>
- Vieira, H. C., da Silva, E. L., dos Santos, J. X., Bolzon de Muñiz, G. I., Morrone, S. R., & Nisgoski, S. (2019). Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from a Araucaria Forest. *Floresta*, 49(2), 353–362. <https://doi.org/10.5380/rf.v49i2.58236>
- Villegas, M. S. (2009). Colorimetría y blancura en madera de Salix. *In II Congreso Internacional de Salicáceas En Argentina" Los Álamos y Mendoza: 200 Años de Historia En Común"-Jornadas de Salicáceas 2009 ., 1900, 1–10.* <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/123215>
- Zossi, S., Ruiz, R. M., Sorol, N., & Sastre, M. (2010). Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS). Su aplicación en análisis. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, 1(1), 1–6. <http://ref.scielo.org/72pc6g>
- Zucaro Z, Y. L., Compagnone, R. S., Hess, S. C., & Delle Monache, F. (2000). 6 $\beta$ -Hydroxymaslinic Acid, a Triterpene from *Vochysia ferruginea*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 11(3), 241–244. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532000000300007>



## ANEXOS

### Anexo 1. Codificación de las probetas seleccionadas

		<i>Gordonia fruticosa</i>			<i>Vochysia ferruginea</i>			
		Rodaja	Rodaja	Rodaja	Rodaja	Rodaja	Rodaja	
		1	2	3	1	2	3	
<b>Seco</b>	Albura	G.1.1	G.2.1	G.3.1	V.1.1	V.2.1	V.3.1	
		G.1.2	G.2.2	G.3.2	V.1.2	V.2.2	V.3.2	
		G.1.3	G.2.3	G.3.3	V.1.3	V.2.3	V.3.3	
	Duramen	G.1.4	G.2.4	G.3.4	V.1.4	V.2.4	V.3.4	
		G.1.5	G.2.5	G.3.5	V.1.5	V.2.5	V.3.5	
		G.1.6	G.2.6	G.3.6	V.1.6	V.2.6	V.3.6	
	<b>Saturado</b>	Albura	G.1.7	G.2.7	G.3.7	V.1.7	V.2.7	V.3.7
			G.1.8	G.2.8	G.3.8	V.1.8	V.2.8	V.3.8
			G.1.9	G.2.9	G.3.9	V.1.9	V.2.9	V.3.9
Duramen		G.1.10	G.2.10	G.3.10	V.1.10	V.2.10	V.3.10	
		G.1.11	G.2.11	G.3.11	V.1.11	V.2.11	V.3.11	
		G.1.12	G.2.12	G.3.12	V.1.12	V.2.12	V.3.12	
		G.1.13	G.2.13	G.3.13	V.1.13	V.2.13	V.3.13	
		G.1.14	G.2.14	G.3.14	V.1.14	V.2.14	V.3.14	
		G.1.15	G.2.15	G.3.15	V.1.15	V.2.15	V.3.15	
		G.1.16	G.2.16	G.3.16	V.1.16	V.2.16	V.3.16	

Anexo 2. Valores colorimétricos de *Vochysia ferruginea* en condición seco

SECCIÓN	Código	Radial					Tangencial					
		L*	a*	b*	C	h*	L*	a*	b*	C	h*	
Rodaja 1	Albura	V.1.1	64.56	12.60	13.80	18.69	47.60	69.21	12.06	10.77	16.17	41.77
		V.1.2	72.62	11.06	9.14	14.35	39.57	67.14	12.43	11.10	16.66	41.76
		V.1.3	66.56	12.11	11.75	16.87	44.14	60.29	16.46	15.53	22.63	43.33
		V.1.4	71.32	13.53	15.02	20.22	47.99	67.17	13.08	12.57	18.14	43.86
	Duramen	V.1.5	70.94	13.98	15.35	20.76	47.67	66.15	14.72	13.20	19.77	41.88
		V.1.6	71.22	11.02	10.53	15.24	43.70	62.21	12.25	12.37	17.41	45.28
		V.1.7	68.86	11.65	14.80	18.84	51.79	65.47	12.07	14.08	18.55	49.40
		V.1.8	68.92	12.26	12.87	17.77	46.39	67.27	12.18	12.30	17.31	45.28
Rodaja 2	Albura	V.2.1	67.64	12.26	14.20	18.76	49.19	68.45	12.35	11.06	16.58	41.85
		V.2.2	72.32	11.65	10.31	15.56	41.51	44.39	12.56	11.38	16.95	42.18
		V.2.3	66.29	11.87	11.29	16.38	43.57	66.60	13.94	13.43	19.36	43.93
		V.2.4	71.95	13.42	14.69	19.90	47.59	67.71	13.79	12.86	18.86	43.00
	Duramen	V.2.5	69.74	13.65	14.90	20.21	47.51	66.73	14.14	13.75	19.72	44.20
		V.2.6	64.76	11.35	9.94	15.09	41.21	68.63	11.37	12.67	17.02	48.10
		V.2.7	62.23	11.68	14.18	18.37	50.52	69.48	10.80	11.29	15.62	46.27
		V.2.8	69.10	11.73	11.70	16.57	44.93	69.92	11.63	12.46	17.04	46.97
Rodaja 3	Albura	V.3.1	66.95	12.88	14.68	19.53	48.74	67.34	13.11	12.81	18.33	44.34
		V.3.2	67.28	12.03	11.01	16.31	42.47	67.96	12.26	10.79	16.33	41.35
		V.3.3	63.40	14.75	14.43	20.63	44.37	66.37	15.33	15.18	21.57	44.72
	Duramen	V.3.4	71.00	13.10	13.95	19.14	46.80	68.75	13.58	13.28	18.99	44.36
		V.3.5	69.80	14.01	15.13	20.62	47.20	66.27	14.15	13.61	19.63	43.89
		V.3.6	65.64	11.53	11.24	16.10	44.27	66.71	11.93	13.56	18.06	48.66
		V.3.7	67.34	12.25	15.44	19.71	51.57	68.23	10.78	11.68	15.89	47.29

Donde: L\* (Luminosidad), a\* (Cromátida verde – rojo), b\* (Cromátida azul – amarillo), C (Saturación) y h\* (ángulo de matiz).

**Anexo 3.** Valores colorimétricos de *Vochysia ferruginea* en condición saturado

SECCIÓN	Código	Radial					Tangencial					
		L*	a*	b*	C	h*	L*	a*	b*	C	h*	
Rodaja 1	Albura	V.1.9	48.26	21.98	17.28	27.96	38.17	52.74	21.28	22.95	31.30	47.16
		V.1.10	34.64	19.76	7.62	21.18	21.09	41.62	16.64	13.92	21.69	39.91
		V.1.11	45.59	21.91	14.22	26.12	32.98	46.78	20.80	15.58	25.99	36.83
		V.1.12	47.81	23.24	16.35	28.42	35.13	47.29	21.54	17.83	27.96	39.62
	Duramen	V.1.13	55.59	22.05	21.36	30.70	44.09	49.24	21.54	21.65	30.54	45.15
		V.1.14	49.22	24.23	18.55	30.52	37.44	45.11	24.54	18.57	30.77	37.12
		V.1.15	41.00	21.64	11.42	24.47	27.82	38.61	21.62	11.52	24.50	28.05
		V.1.16	42.60	19.71	12.50	23.34	32.38	36.68	17.16	9.23	19.48	28.27
Rodaja 2	Albura	V.2.9	44.30	22.88	16.12	27.99	35.17	49.20	21.34	21.64	30.39	45.40
		V.2.10	37.29	19.91	10.51	22.51	27.83	33.88	20.89	10.62	23.43	26.95
		V.2.11	43.62	22.83	13.72	26.64	31.00	47.26	21.43	16.46	27.02	37.53
		V.2.12	45.63	23.15	15.52	27.87	33.84	44.84	23.67	16.42	28.81	34.75
	Duramen	V.2.13	51.68	21.44	20.88	29.93	44.24	52.73	20.56	22.20	30.26	47.20
		V.2.14	49.77	22.91	18.01	29.14	38.17	49.44	23.77	21.69	32.18	42.38
		V.2.15	43.87	22.21	13.64	26.06	31.56	41.01	19.78	10.46	22.38	27.87
		V.2.16	39.81	17.99	9.86	20.51	28.73	36.34	17.94	9.07	20.10	26.82
Rodaja 3	Albura	V.3.9	51.56	21.83	17.82	28.18	39.23	45.94	23.76	19.33	30.63	39.13
		V.3.10	37.29	13.91	10.59	17.48	37.28	31.52	16.34	13.54	21.22	39.65
		V.3.11	43.18	22.79	13.40	26.44	30.45	46.91	22.04	16.30	27.41	36.49
		V.3.12	47.28	23.54	16.84	28.94	35.58	43.05	23.05	14.88	27.44	32.84
	Duramen	V.3.13	50.10	22.73	21.28	31.14	43.11	52.86	20.72	22.56	30.63	47.43
		V.3.14	50.24	24.20	18.87	30.69	37.95	44.14	24.02	17.53	29.74	36.12
		V.3.15	45.56	23.91	16.18	28.87	34.09	36.39	20.91	9.05	22.78	23.40
		V.3.16	41.77	20.51	18.87	27.87	42.62	34.03	17.75	7.74	19.36	23.56

Donde: L\* (Luminosidad), a\* (Cromátida verde – rojo), b\* (Cromátida azul – amarillo), C (Saturación) y h\* (ángulo de matiz).

**Anexo 4.** Valores colorimétricos de *Gordonia fruticosa* en condición seco

SECCIÓN	Código	Radial					Tangencial					
		L*	a*	b*	C	h*	L*	a*	b*	C	h*	
Rodaja 1	Albura	V.1.1	61.74	16.69	16.57	23.52	44.79	60.72	15.34	14.31	20.98	43.01
		V.1.2	62.43	17.10	16.71	23.91	44.34	60.20	16.02	15.71	22.44	44.44
		V.1.3	64.54	16.52	17.15	23.81	46.07	59.27	17.89	16.59	24.40	42.84
		V.1.4	64.38	16.89	18.08	24.74	46.95	63.03	17.37	18.72	25.54	47.14
	Duramen	V.1.5	66.25	16.06	19.67	25.39	50.77	65.06	16.87	20.27	26.37	50.23
		V.1.6	61.93	15.19	15.66	21.82	45.87	59.42	13.46	14.17	19.54	46.47
		V.1.7	63.30	17.09	18.43	25.13	47.16	63.87	17.26	18.34	25.18	46.74
		V.1.8	64.87	17.04	18.4	25.08	47.20	64.06	17.1	18.47	25.17	47.21
Rodaja 2	Albura	V.2.1	62.59	16.74	16.78	23.70	45.07	61.57	15.30	15.31	21.64	45.02
		V.2.2	61.87	17.15	17.17	24.27	45.03	61.52	15.86	16.66	23.00	46.41
		V.2.3	64.33	16.62	17.48	24.12	46.44	60.82	17.70	16.60	24.27	43.16
		V.2.4	64.03	17.25	18.25	25.11	46.61	62.83	17.27	17.93	24.89	46.07
	Duramen	V.2.5	65.75	16.13	19.31	25.16	50.13	66.51	16.38	19.35	25.35	49.75
		V.2.6	60.96	15.17	15.37	21.60	45.38	55.31	14.14	13.43	19.50	43.52
		V.2.7	63.26	17.05	18.92	25.47	47.98	62.28	17.57	18.56	25.56	46.57
		V.2.8	64.70	16.96	18.29	24.94	47.16	63.78	17.63	18.89	25.84	46.98
Rodaja 3	Albura	V.3.1	62.08	16.83	17.64	24.38	46.35	60.60	16.02	15.71	22.44	44.44
		V.3.2	62.46	17.20	17.37	24.44	45.28	63.40	16.83	17.55	24.32	46.20
		V.3.3	65.28	16.26	16.99	23.52	46.26	60.22	17.91	16.83	24.58	43.22
		V.3.4	64.40	17.18	18.60	25.32	47.27	63.61	16.95	17.69	24.50	46.22
	Duramen	V.3.5	64.75	16.42	19.08	25.17	49.29	65.57	17.16	20.76	26.93	50.42
		V.3.6	61.61	15.45	15.09	21.60	44.32	54.51	15.02	12.81	19.74	40.46
		V.3.7	59.38	15.92	17.09	23.36	47.03	64.21	17.43	19.06	25.83	47.56
		V.3.8	64.61	16.77	18.12	24.69	47.22	64.83	17.40	20.16	26.63	49.20

Donde: L\* (Luminosidad), a\* (Cromátida verde – rojo), b\* (Cromátida azul – amarillo), C (Saturación) y h\* (ángulo de matiz).

**Anexo 5.** Valores colorimétricos de *Gordonia fruticosa* en condición saturado

SECCIÓN	Código	Radial					Tangencial					
		L*	a*	b*	C	h*	L*	a*	b*	C	h*	
Rodaja 1	Albura	V.1.9	32.95	10.80	0.14	10.80	0.74	38.33	14.61	7.01	16.20	25.63
		V.1.10	27.42	13.99	3.65	14.46	14.62	31.21	14.23	3.88	14.75	15.25
		V.1.11	29.65	13.73	2.27	13.92	9.39	32.60	15.08	6.21	16.31	22.38
		V.1.12	35.36	15.04	8.21	17.13	28.63	38.04	20.96	13.86	25.13	33.48
	Duramen	V.1.13	33.45	12.95	2.14	13.13	9.38	34.07	12.22	2.01	12.38	9.34
		V.1.14	25.48	8.22	-1.48	8.35	-10.21	28.10	12.23	1.60	12.33	7.45
		V.1.15	36.78	13.78	6.21	15.11	24.26	42.15	18.87	12.00	22.36	32.45
		V.1.16	36.55	17.58	5.54	18.43	17.49	38.31	14.81	7.76	16.72	27.65
Rodaja 2	Albura	V.2.9	30.51	10.42	-0.89	10.46	-4.88	37.67	14.03	6.33	15.39	24.28
		V.2.10	29.07	14.72	3.06	15.03	11.74	28.95	12.64	1.39	12.72	6.28
		V.2.11	25.68	8.26	-1.69	8.43	-11.56	31.01	13.84	3.96	14.40	15.97
		V.2.12	34.04	14.61	7.18	16.28	26.17	40.32	13.91	13.17	19.16	43.43
	Duramen	V.2.13	29.13	7.83	-2.66	8.27	-18.76	30.79	10.41	-1.50	10.52	-8.20
		V.2.14	26.68	9.30	-0.79	9.33	-4.86	24.93	9.74	-1.14	9.81	-6.68
		V.2.15	38.23	13.92	6.91	15.54	26.40	40.80	17.39	9.68	19.90	29.10
		V.2.16	37.99	17.59	6.00	18.59	18.83	39.95	16.55	8.85	18.77	28.14
Rodaja 3	Albura	V.3.9	32.56	11.63	1.36	11.71	6.67	38.89	14.20	6.88	15.78	25.85
		V.3.10	28.54	13.94	2.95	14.25	11.95	29.06	12.83	1.68	12.94	7.46
		V.3.11	25.36	6.52	-2.82	7.10	-23.39	28.44	10.75	0.14	10.75	0.75
		V.3.12	28.82	15.28	3.46	15.67	12.76	41.52	20.83	16.01	26.27	37.55
	Duramen	V.3.13	33.03	12.31	1.45	12.40	6.72	33.26	11.51	1.17	11.57	5.80
		V.3.14	26.00	10.32	-0.26	10.32	-1.44	27.45	11.01	0.82	11.04	4.26
		V.3.15	36.10	13.92	5.52	14.97	21.63	44.48	19.06	13.91	23.60	36.12
		V.3.16	37.61	15.23	4.85	15.98	17.66	38.28	15.04	6.91	16.55	24.68

Donde: L\* (Luminosidad), a\* (Cromátida verde – rojo), b\* (Cromátida azul – amarillo), C (Saturación) y h\* (ángulo de matiz).

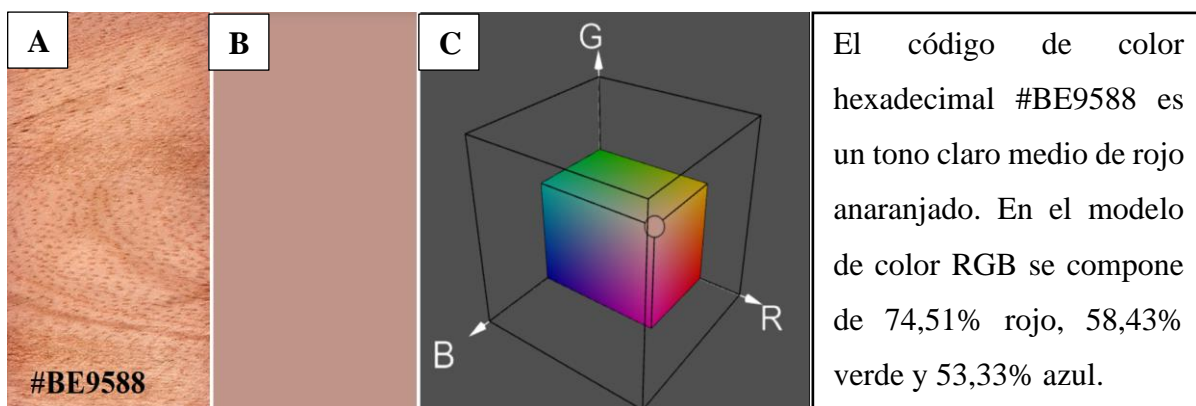
**Anexo 6.** Tonalidades de la madera según especie, condición, sección y corte.

			<b>R (%)</b>	<b>G (%)</b>	<b>B (%)</b>	<b>Color</b>	
<i>Vochysia ferruginea</i>	Seco	Albura	Tang.	74.51	58.43	53.33	Tono claro medio de rojo anarajando
			Rad.	77.65	61.96	56.47	Tono claro medio de rojo anarajando
		Duramen	Tang.	76.08	61.18	55.69	Tono claro medio de rojo anarajando
			Rad.	77.25	61.96	56.08	Tono claro medio de rojo anarajando
	Saturado	Albura	Tang.	56.86	35.69	30.59	Tono rojo anarajando
			Rad.	56.47	34.9	31.76	Tono de rojo
		Duramen	Tang.	55.29	34.51	30.59	Tono de rojo
			Rad.	60.39	37.65	32.94	Tono de rojo
<i>Gordonia fruticosa</i>	Seco	Albura	Tang.	73.33	53.73	47.73	Tono claro medio de rojo anarajando
			Rad.	75.69	55.69	48.24	Tono claro medio de rojo anarajando
		Duramen	Tang.	74.51	54.9	47.06	Tono claro medio de rojo anarajando
			Rad.	75.29	55.69	48.24	Tono claro medio de rojo anarajando
	Saturado	Albura	Tang.	42.35	28.63	27.84	Tono de rojo medio oscuro
			Rad.	35.69	25.1	26.67	Tono medio oscuro de rojo rosado
		Duramen	Tang.	41.96	29.02	29.41	Tono medio oscuro de rojo rosado
			Rad.	38.82	27.45	29.02	Tono medio oscuro de rojo rosado

Donde: R (Intensidad de luz roja), G\* (Intensidad de luz verde), B\* (Intensidad de luz azul).

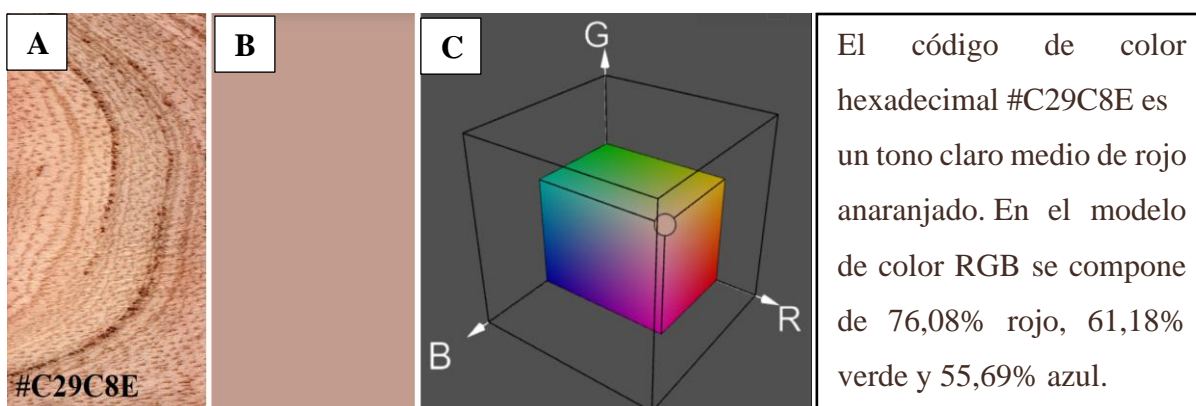
### Figura 17

Color de muestras secas corte tangencial – albura de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.



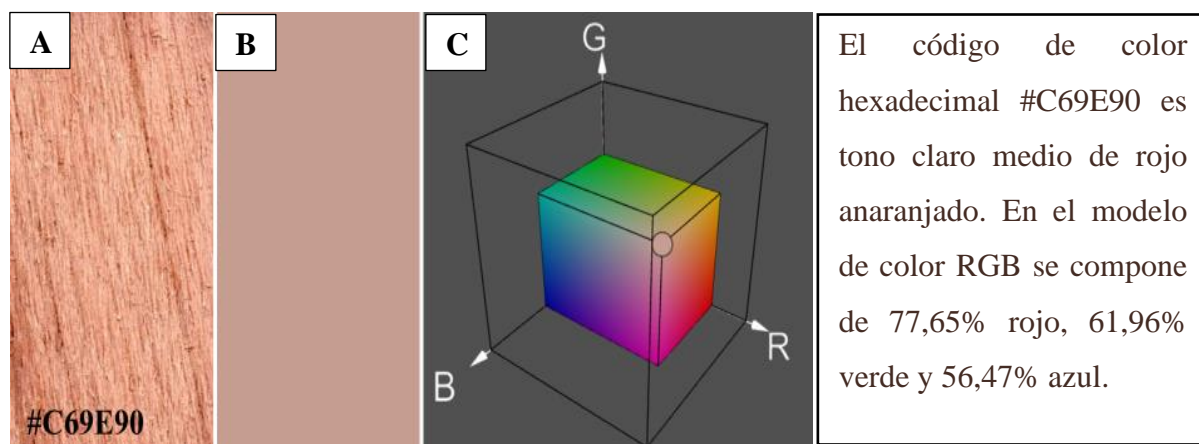
### Figura 18

Color de muestras secas corte tangencial – duramen de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



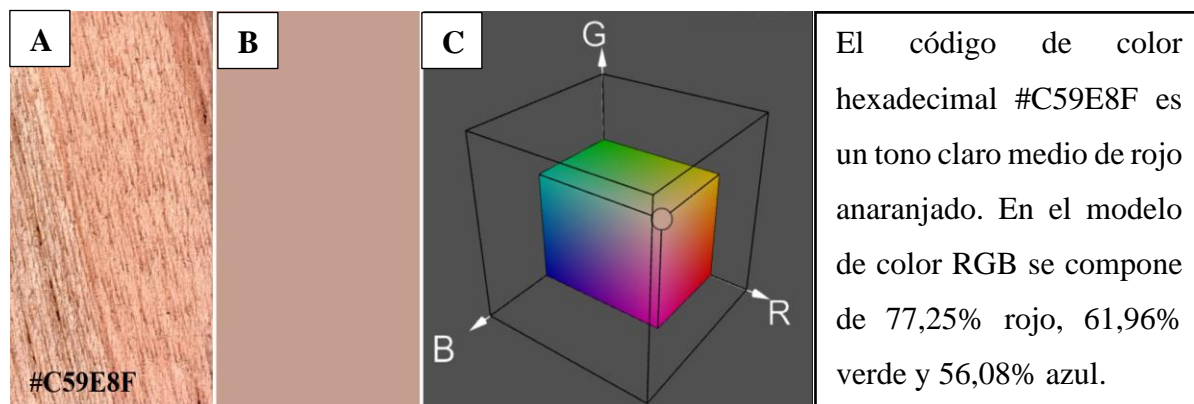
### Figura 19

Color de muestras secas corte radial – albura de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.



### Figura 20

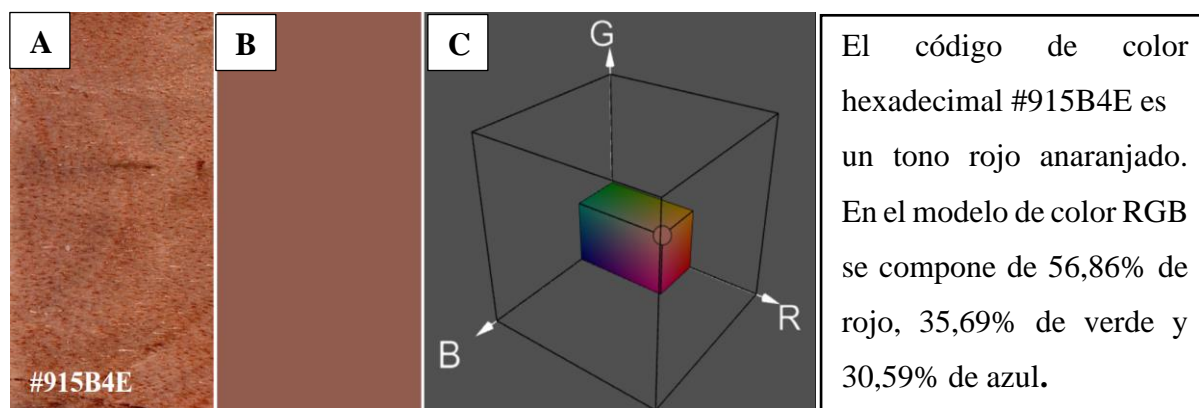
Color de muestras secas corte radial – duramen de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB





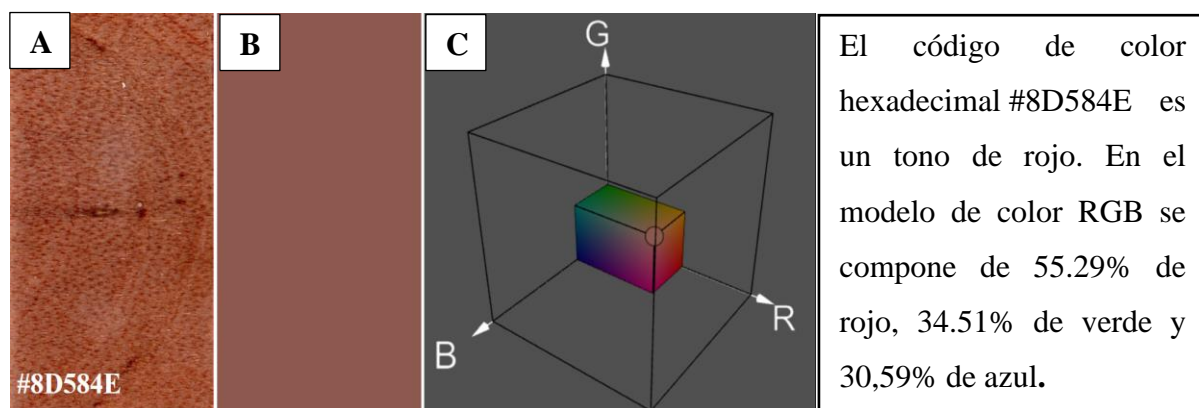
### Figura 21

Color de muestras saturadas corte tangencial – albura de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.



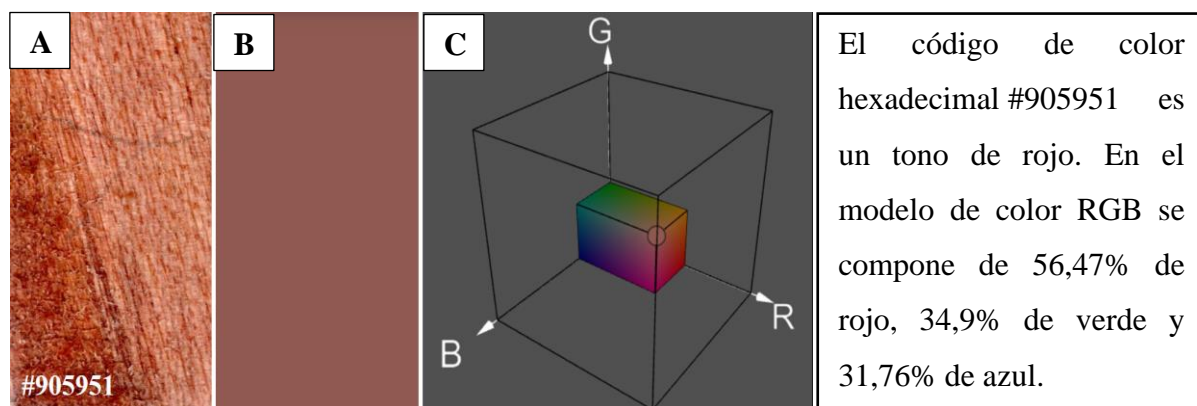
### Figura 22

Color de muestras saturadas corte tangencial – duramen de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



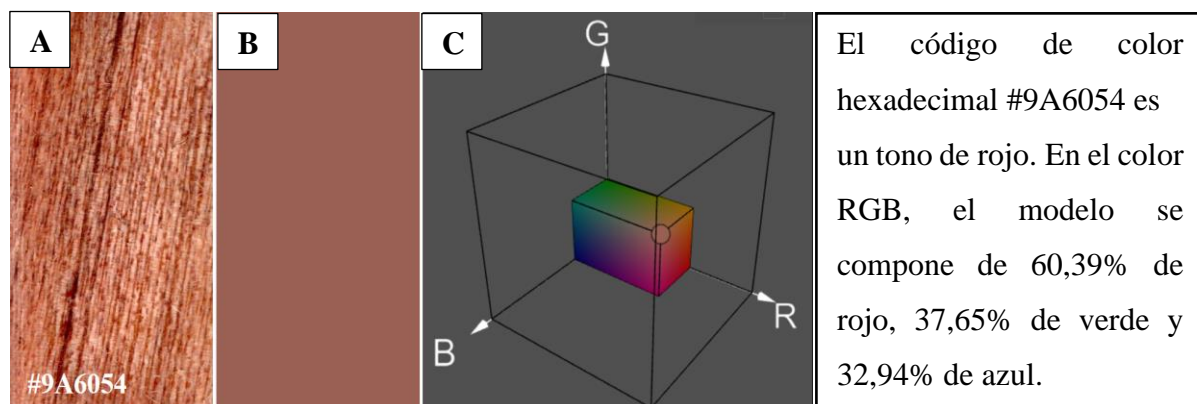
### Figura 23

Color de muestras saturadas corte radial – albura de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



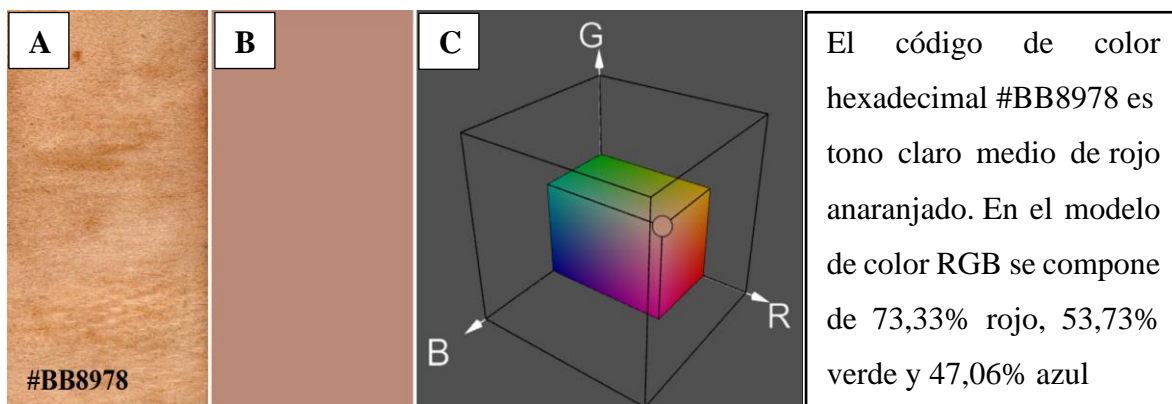
### Figura 24

Color de muestras saturadas corte radial – duramen de *Vochysia ferruginea*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



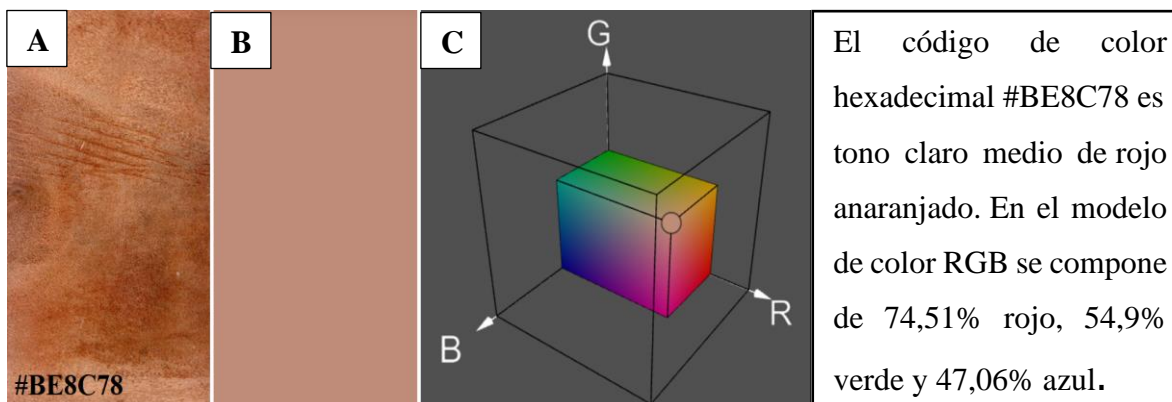
### Figura 25

Color de muestras secas corte tangencial – albura de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.



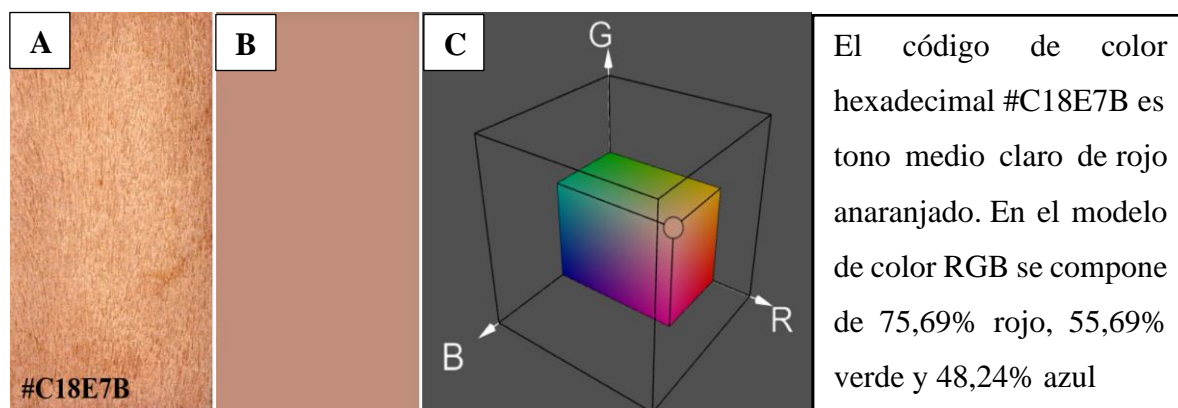
### Figura 26

Color de muestras secas corte tangencial – duramen de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



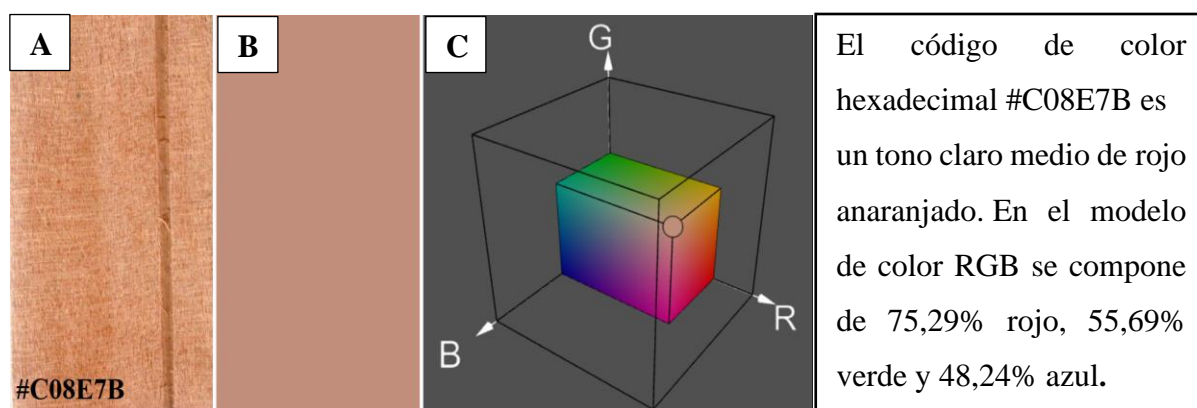
### Figura 27

Color de muestras secas corte radial – albura de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB.



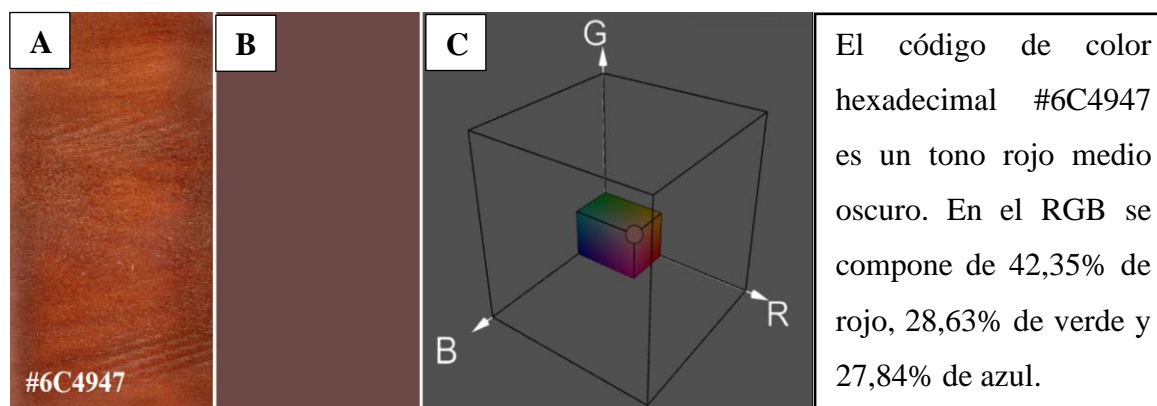
### Figura 28

Color de muestras secas corte radial – duramen de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



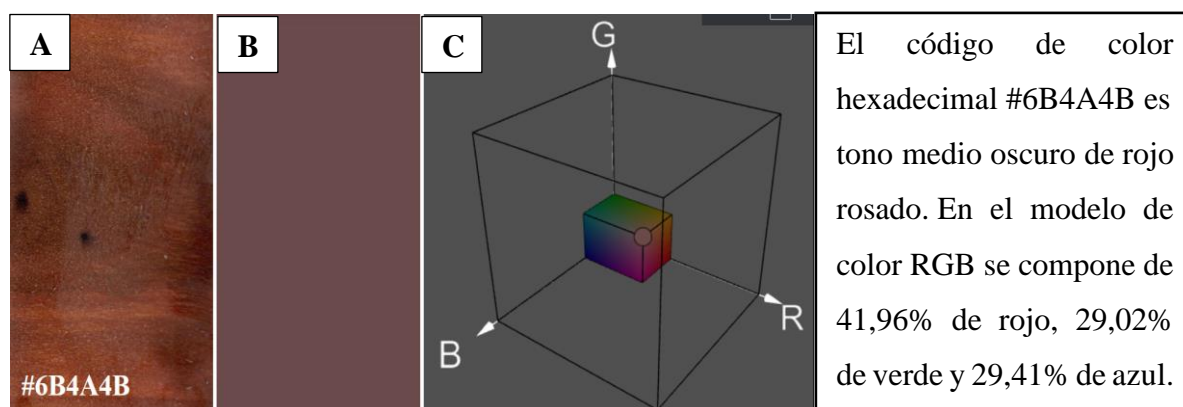
### Figura 29

Color de muestras saturadas corte tangencial – albura de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



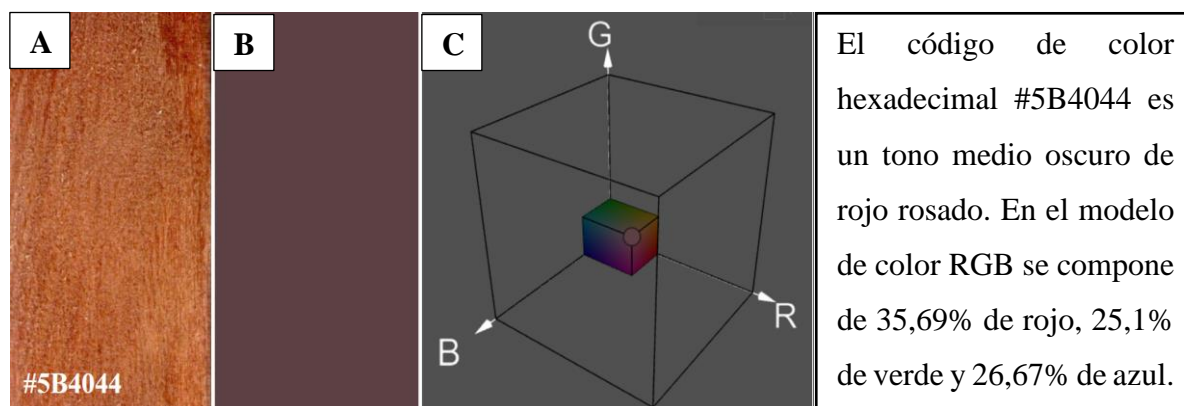
### Figura 30

Color de muestras saturadas corte tangencial – duramen de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



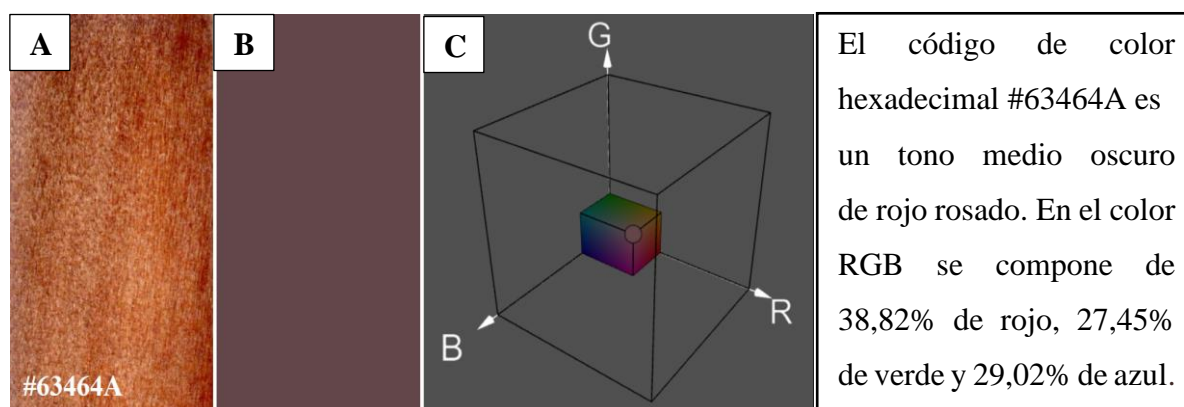
### Figura 31

Color de muestras saturadas corte radial – albura de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



### Figura 32

Color de muestras saturadas corte radial – duramen de *Gordonia fruticosa*. Donde A) Cara tangencial de la muestra, B) Color obtenido de Encycolorpedia, C) Sistema de coordenadas tridimensional RGB



Anexo 7. Matrices de correlación de los parámetros colorimétricos L\*, a\*, b\*, C y h\*

		L*	
		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	
	gl	----	
	valor p	----	
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	0.989***	----
	gl	6	----
	valor p	< 0.001	----

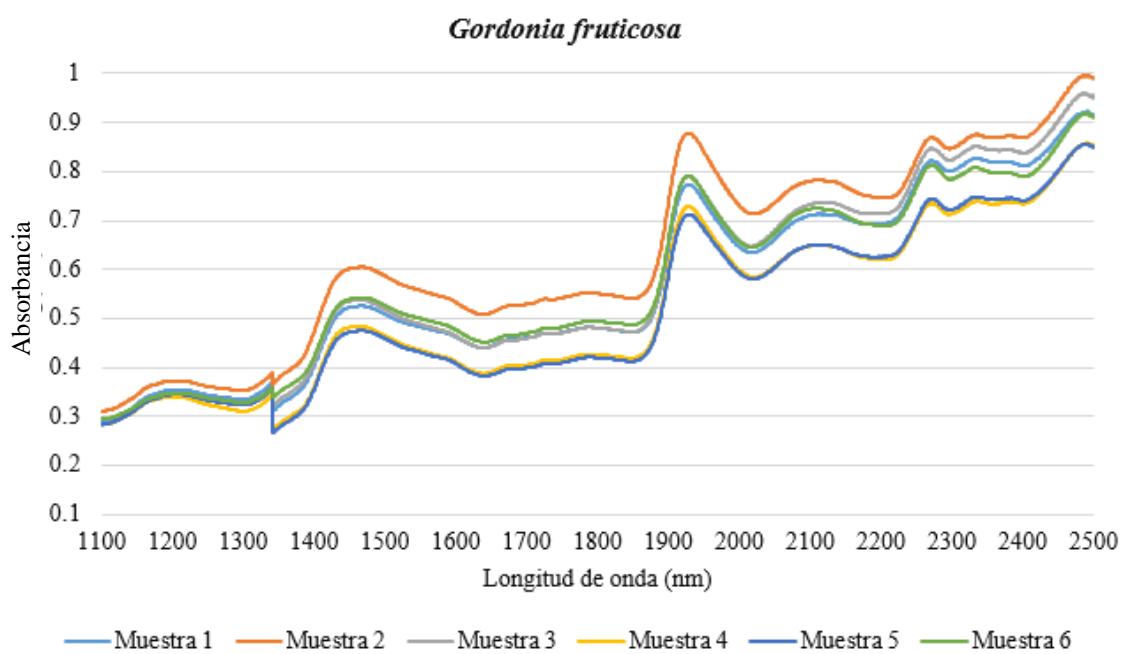
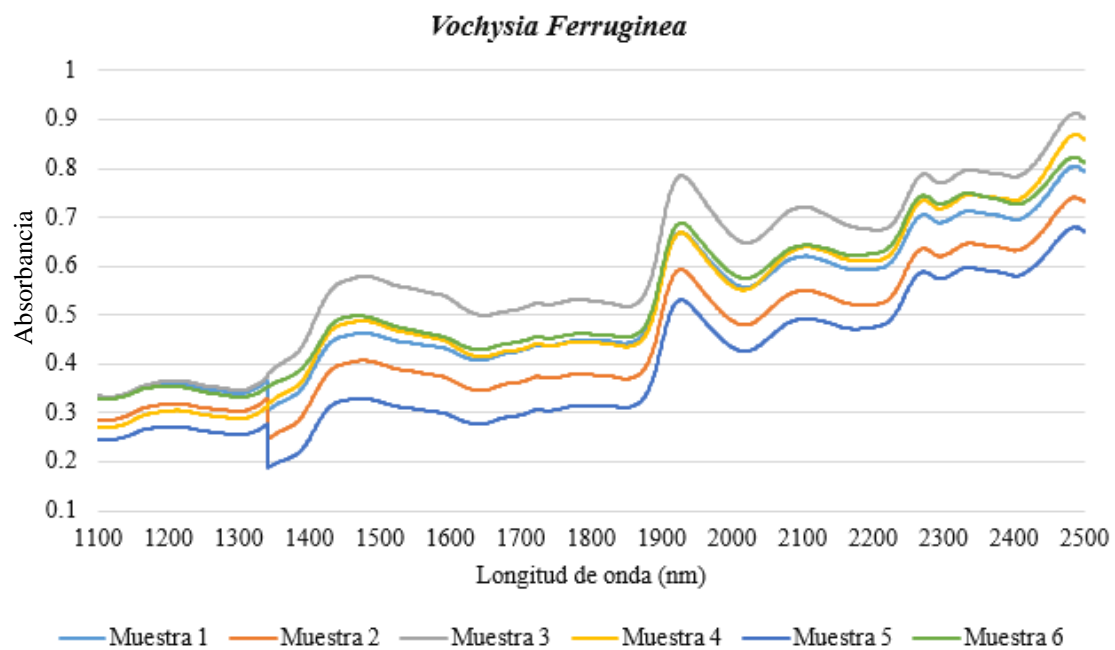
		a*	
		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	
	gl	----	
	valor p	----	
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	-0.919***	----
	gl	6	----
	valor p	< 0.001	----

		b*	
		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	
	gl	----	
	valor p	----	
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	-0.815**	----
	gl	6	----
	valor p	0.014	----

		C	
		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	
	gl	----	
	valor p	----	
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	-0.967***	----
	gl	6	----
	valor p	< 0.001	----

		h*	
		<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Gordonia fruticosa</i>
<i>Vochysia ferruginea</i>	R de Pearson	----	
	gl	----	
	valor p	----	
<i>Gordonia fruticosa</i>	R de Pearson	0.962***	----
	gl	6	----
	valor p	< 0.001	----

## Anexo 8. Espectros NIR de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*



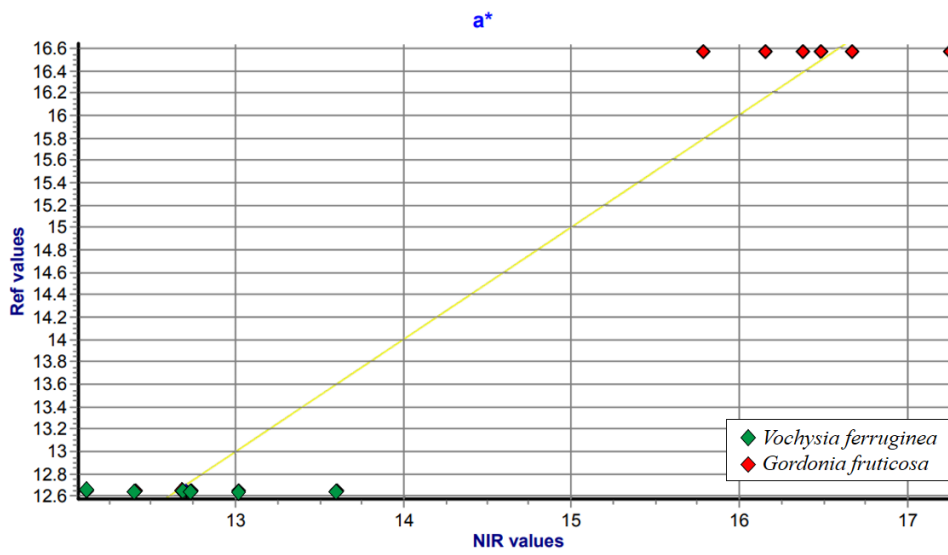
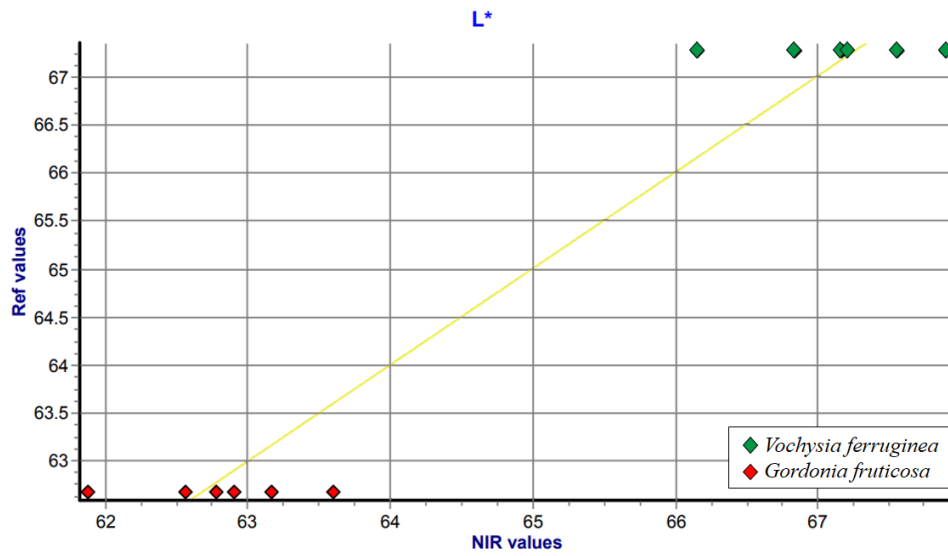


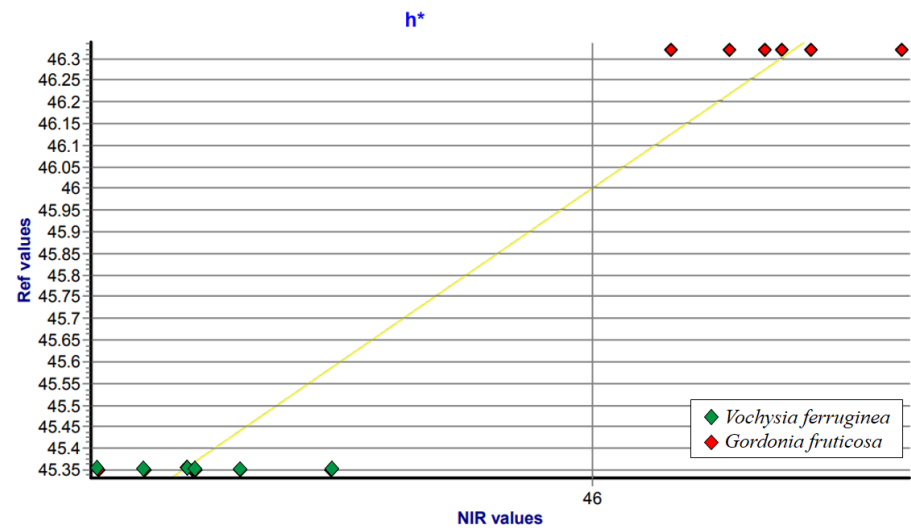
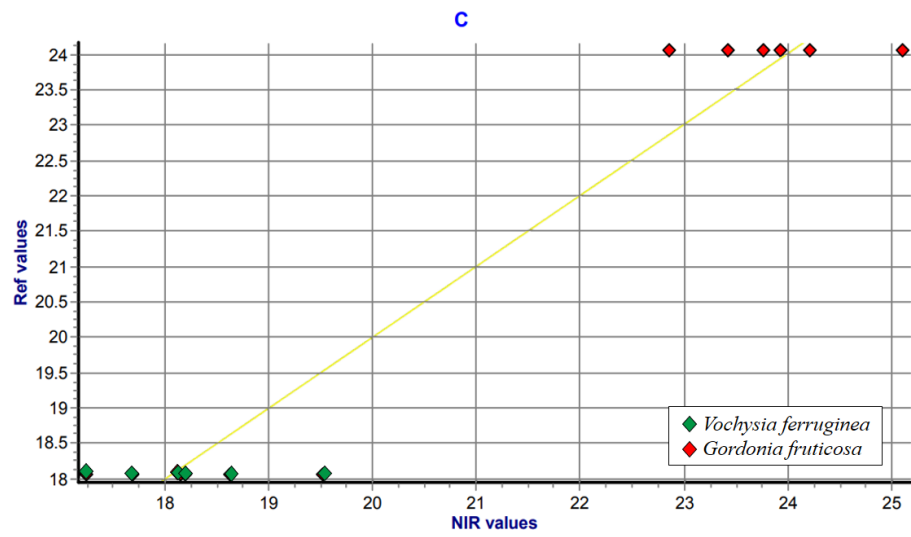
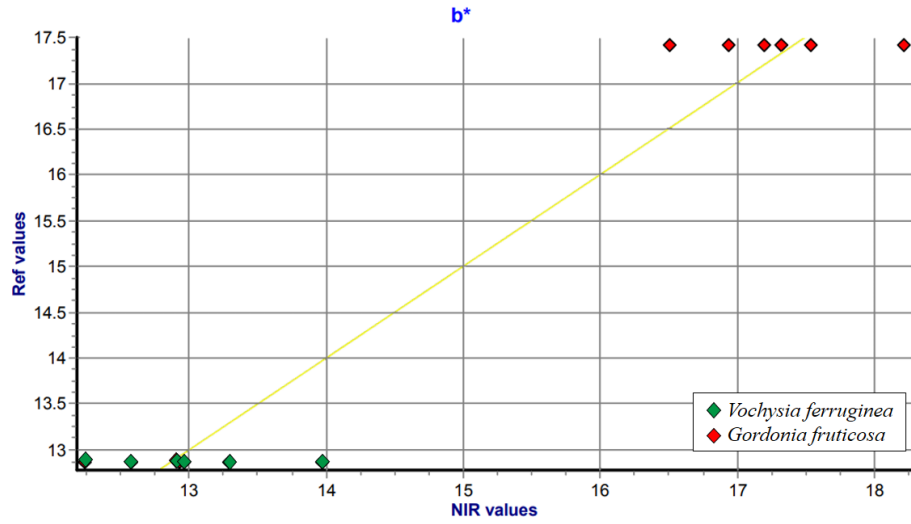
**Anexo 9. Valores de absorbanza según la longitud de onda de los espectros NIR de *Vochysia ferruginea* y *Gordonia fruticosa*.**

Longitud de onda	1100 nm	1200 nm	1300 nm	1400 nm	1500 nm	1600 nm	1700 nm	1800 nm	1900 nm	2000 nm	2100 nm	2200 nm	2300 nm	2400 nm	2500 nm
<i>Gordonia fruticosa</i>	0.2886	0.354	0.3349	0.4024	0.5087	0.4618	0.4607	0.4802	0.6462	0.6454	0.7104	0.6938	0.8012	0.8116	0.9129
	0.311	0.3729	0.3531	0.4726	0.5866	0.5325	0.5289	0.5507	0.7369	0.7297	0.7804	0.7465	0.8475	0.8684	0.9895
	0.2825	0.3445	0.3236	0.4113	0.5183	0.4636	0.4594	0.4801	0.6562	0.6585	0.7324	0.7134	0.8247	0.8374	0.9502
	0.284	0.3401	0.3109	0.3593	0.4644	0.4108	0.405	0.4254	0.6004	0.5983	0.6476	0.6209	0.7134	0.7339	0.8517
	0.2842	0.3444	0.3231	0.3549	0.4589	0.4071	0.3988	0.4191	0.5887	0.5927	0.6485	0.6258	0.722	0.7406	0.8473
	0.2947	0.3473	0.3284	0.4215	0.5269	0.4766	0.4699	0.4932	0.6608	0.6562	0.7233	0.6897	0.785	0.7892	0.9114
	0.3305	0.3616	0.3406	0.3739	0.4574	0.4277	0.4274	0.4484	0.5757	0.5672	0.6207	0.5942	0.6906	0.6955	0.7928
<i>Vochysia ferruginea</i>	0.2848	0.3185	0.3035	0.3178	0.4009	0.3682	0.3634	0.3781	0.5005	0.4884	0.5508	0.5221	0.6223	0.6319	0.7315
	0.3351	0.366	0.3459	0.4648	0.5731	0.5325	0.5135	0.5291	0.674	0.6623	0.7209	0.6747	0.7715	0.7829	0.9022
	0.2708	0.3047	0.2879	0.389	0.4813	0.4418	0.4303	0.4444	0.5695	0.5597	0.639	0.6113	0.7192	0.7348	0.8594
	0.2444	0.2725	0.2551	0.247	0.3231	0.2947	0.296	0.3154	0.4386	0.4341	0.4929	0.4754	0.5757	0.5806	0.6714
	0.3295	0.3553	0.3319	0.4092	0.4887	0.45	0.4462	0.461	0.5893	0.5848	0.6427	0.626	0.7285	0.7265	0.8108

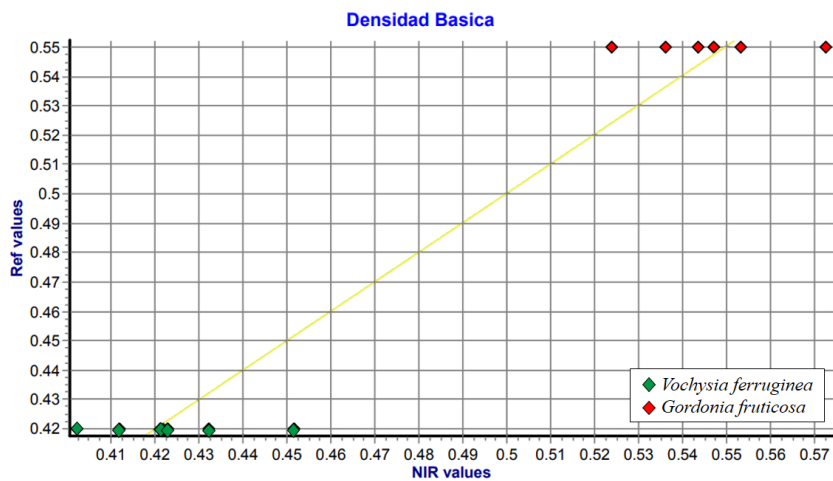
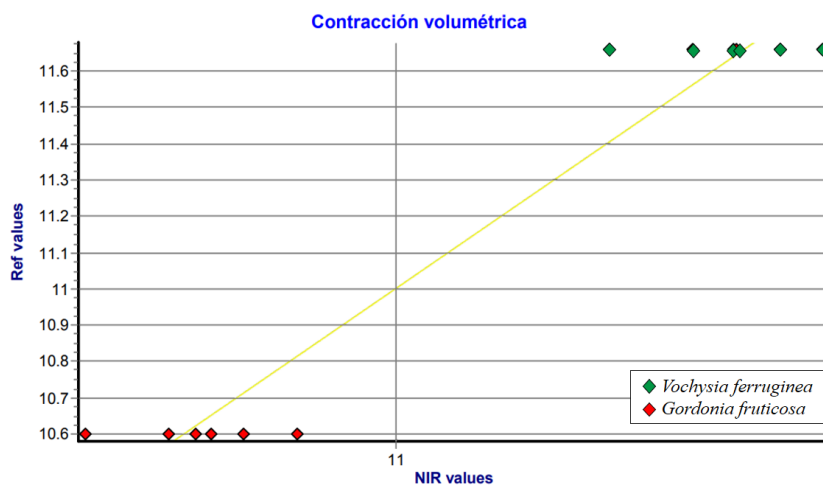
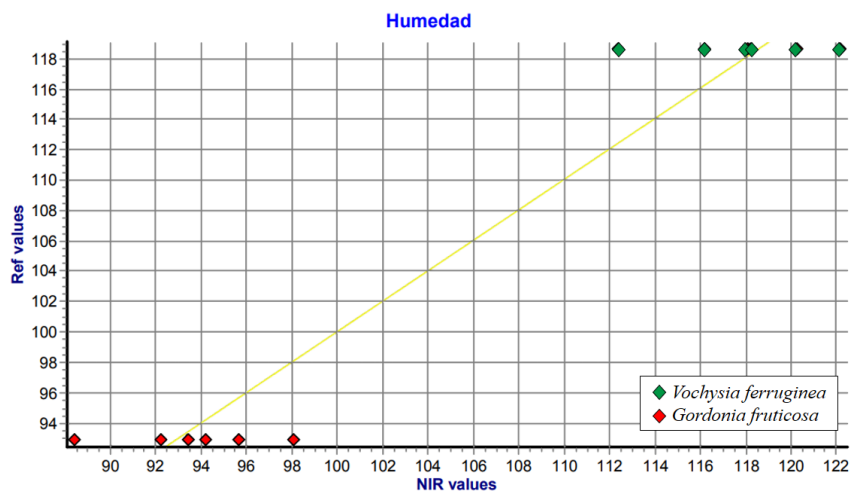
La absorbanza no tiene ninguna unidad de medida, es un valor adimensional y se conoce como “UA” (unidades de absorbanza).

**Anexo 10. Gráficos de dispersión que muestra la relación entre valores de referencia y los valores predichos por NIR de los parámetros colorimétricos L\*, a\*, b\*, C y h\***





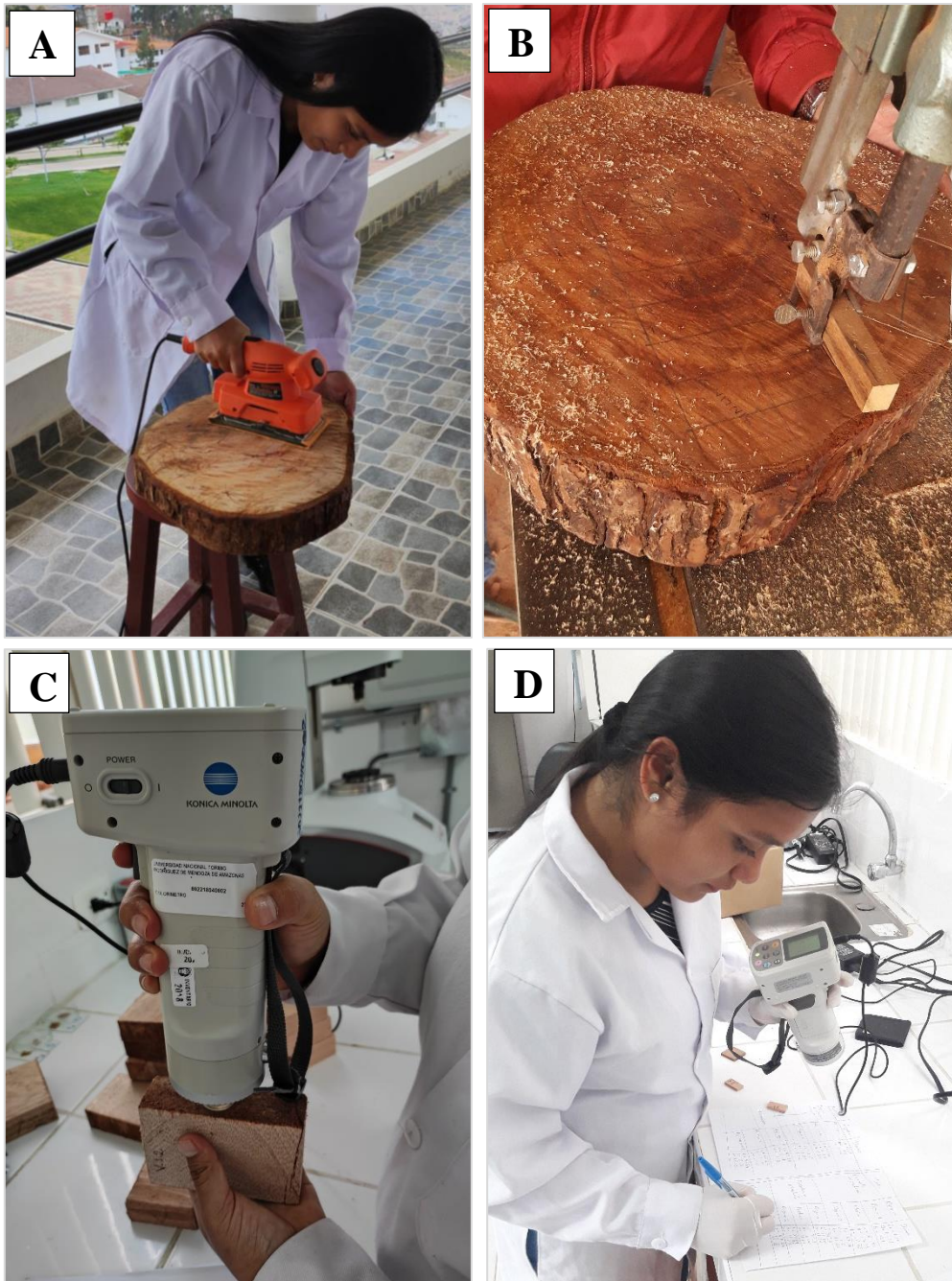
**Anexo 11. Gráficos de dispersión que muestra la relación entre valores de referencia y los valores predichos por NIR de las propiedades físicas.**



**Anexo 12. Panel fotográfico del proceso para caracterización colorimétrica de la madera de *V. ferruginea* y *G. fruticosa***

**Figura 33**

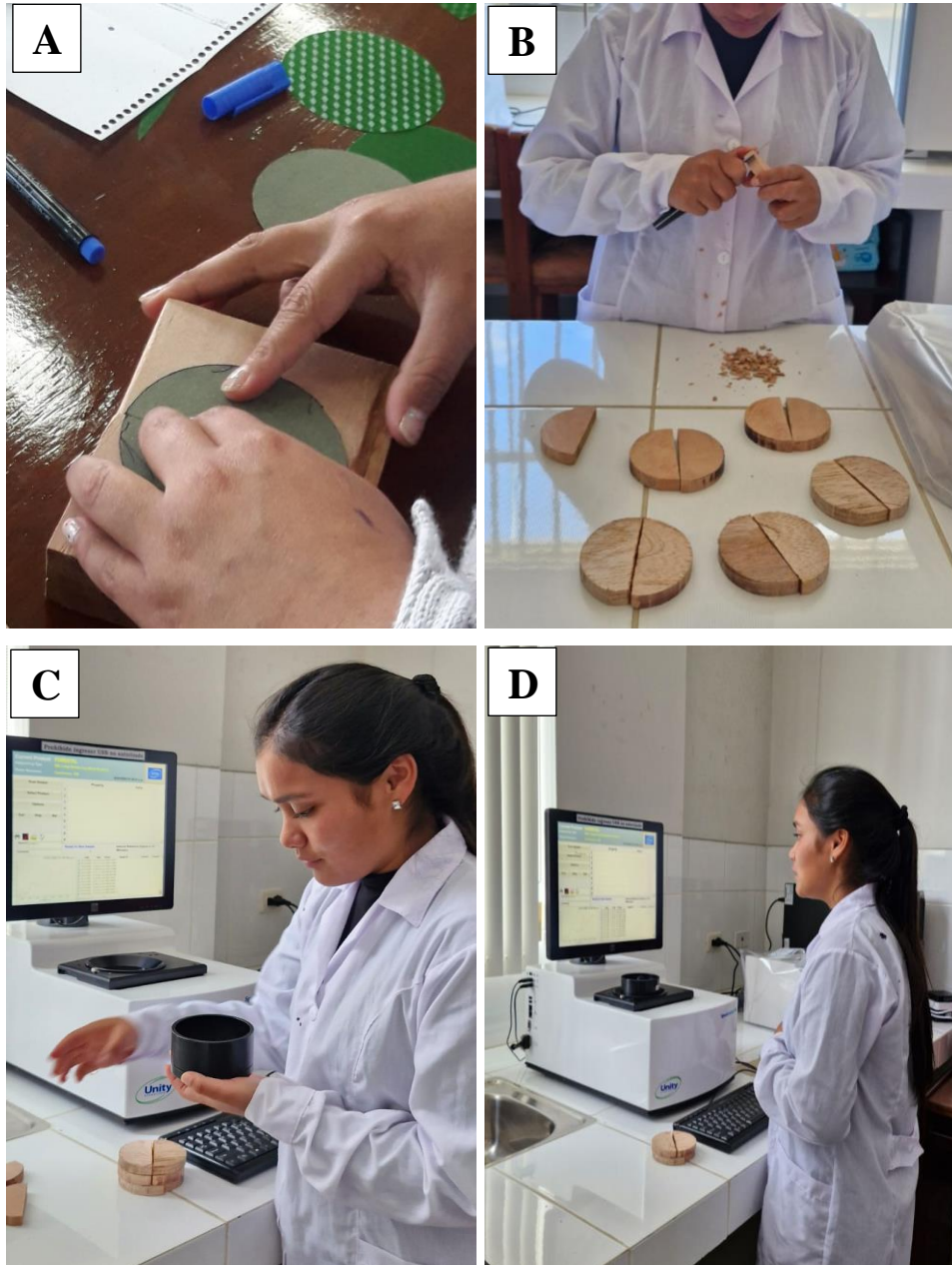
*Proceso de colorimetría de la madera. Donde A) Preparación de las rodajas, B) Obtención de las probetas, C) Calibración del colorímetro y D) Obtención de los datos colorimétricos*



**Anexo 13. Panel fotográfico de la obtención de los datos espectrales en el equipo NIR de la madera de *V. ferruginea* y *G. fruticosa***

**Figura 34**

*Proceso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIR. Donde A) Y B) Preparación de la muestra para espectroscopía, C) Colocación de la muestra en el lente del equipo NIR y D) Toma de lecturas espectrales*



## Anexo 14. Certificado de identificación de las especies *V. ferruginea* y *G. fruticosa*



Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias  
Xiloteca Gocta



### CERTIFICADO DE IDENTIFICACIÓN DE MADERA

Mediante el presente documento se certifica que las muestras de madera (tres muestras de *Vochysia ferruginea* y tres muestras de *Gordonia fruticosa*) que se encuentran en la Xiloteca Gocta han pasado por un proceso de identificación anatómica macroscópico y microscópica de sus características más resaltantes; y analizadas en sus 03 planos de corte (Transversal, tangencial y radial). Asimismo, analizado con el microscopio trinocular marca: Motic y modelo: SM7.

Después de verificar los diferentes cortes de las maderas y analizarlos con el microscopio con cámara incorporada, se llega a la conclusión que las seis muestras de madera estudiadas por la Bach. Jhosymar Bacalla Tenorio, corresponden a la especie de:

Número de muestras	Código	Nombre científico	Familia
3	VOCF29	<i>Vochysia ferruginea</i>	Vochysiaceae
3	GORF14	<i>Gordonia fruticosa</i>	Theaceae

Se menciona que una sub muestra de madera está siendo guardada como aval del proceso de identificación en la Xiloteca Gocta. Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que considere conveniente.

Chachapoyas 27 de Junio del 2024

M.Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huamán  
Encargada de la Xiloteca Gocta