

Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de *Cinchona officinalis* (L.) Ruiz y *Cinchona macrocalyx* Pav. ex DC en relictos boscosos al sur de Ecuador.

Physical properties and anatomical features of the wood of *Cinchona officinalis* (L.) Ruiz and *Cinchona macrocalyx* Pav. ex DC from forest relicts in southern Ecuador

Feijoó César ¹
Espinoza Francis ¹
Cueva Milena ¹
Hidalgo Fanny ¹
Ramón Danny ¹
Jumbo Jorge ¹
Moreno José ³
Yaguana Magaly ³
Eras-Guamán Víctor ^{1,3}
Pucha-Cofrep Darwin ^{1,2} 

¹Carrera de Ingeniería Forestal. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador.

²Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador.

³Laboratorio de Micropropagación Clonal. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador.

*Autor para correspondencia: fdespinozaa@unl.edu.ec

RECIBIDO: 31/03/2019

APROBADO: 27/05/2019

RESUMEN

La importancia *Cinchona officinalis* (cascarilla) por sus propiedades medicinales ha permitido desarrollar profundas investigaciones en el campo farmacéutico y social, sin embargo, se ha prescindido de estudios referentes a su madera. Por ello esta investigación se enfocó en determinar las propiedades físicas, organolépticas, y características microscópicas de la madera. Para ello muestras botánicas y de madera fueron colectadas en individuos provenientes de cuatro relictos boscosos al sur de Ecuador (Selva Alegre, Zamora Huayco, Uritusinga, y El Naque). Se identificó botánicamente las especies en el Herbario Loja, y probetas de madera (12 cm x 2 cm x 4,5 cm) fueron elaboradas para determinar las propiedades físicas y organolépticas. Para identificar las características anatómicas de la madera se realizaron cortes micrométricos en sus planos transversal, tangencial, y radial bajo la normativa IAWA en el Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja. Los resultados mostraron que el individuo del sitio Selva Alegre correspondió a *Cinchona macrocalyx* y de allí sus diferencias dasométricas respecto a los otros individuos. En cuanto a las propiedades físicas de la madera se evidenció una alta densidad básica entre 0,63–0,74 g/cm³ una baja contracción menor al 1,6%, y un contenido de humedad promedio de 57%. Referente a las propiedades organolépticas hubo una gran similitud entre los cuatro individuos. En conclusión, las propiedades físicas y organolépticas no presentaron mayores diferencias en relación al sitio, mientras que a nivel microscópico las características cuantitativas de vasos y punteaduras sí presentaron diferencias respecto al sitio de origen. Por ello, investigaciones más profundas son necesarias para determinar en qué medida las condiciones climáticas y biogeográficas influyen en el crecimiento de la cascarilla.

Palabras clave: anatomía de la madera, cascarilla, propiedades físicas, condiciones de sitio, IAWA.

Publicado por Editorial Universidad Nacional de Loja bajo licencia Creative Commons 4.0

ABSTRACT

The importance of the Cascarilla (*Cinchona officinalis*) for its medicinal properties has allowed developing deep investigations in the pharmaceutical and social field; however, studies regarding its wood have been dispensed with. Therefore, this research focused on determining the physical properties, organoleptic, and microscopic features of wood. For this, botanical and wood samples were collected from individuals from four forest relicts in southern Ecuador (Selva Alegre, Zamora Huayco, Uritusinga, and El Naque). It began with the botanical identification in the Loja Herbarium, and in turn small wooden test-pieces (12 cm x 2 cm x 4.5 cm) were elaborated to determine the physical and organoleptic properties. To identify the anatomical features of the wood micrometric cuts were made in the transversal, tangential, and radial planes under the IAWA regulations in the Laboratory of Tropical Wood Anatomy of the National University of Loja. The results showed that the individual of the Selva Alegre site corresponded to the *Cinchona macrocalyx* species and thence their differences in the dasometric values with respect to the other individuals. In terms of wood physical properties, a high basic density was found between 0,63-0,74 g/cm³, a low contraction of less than 1,6 %, and an average moisture content of 57 %. Regarding the organoleptic properties there was a great similarity between the four individuals. In conclusion, the physical and organoleptic properties did not show greater differences in relation to the site, while at the microscopic level, the quantitative features of vessels and pits showed differences with respect to the site of origin. Therefore, deeper investigations are necessary to determine the extent to which climatic and biogeographic conditions influence the growth of the cascarilla.

Key Word: wood anatomy, cascarilla, physical properties, site conditions, IAWA.

INTRODUCCIÓN

Cinchona es un género de plantas latifoliadas que pertenecen a la familia Rubiaceae y es nativo de los valles andinos de Sudamérica (Buitrón, 1999; Garmendia, 2005). Su distribución es a lo largo de la zona tropical y ecuatorial de la cordillera de los Andes desde 12° latitud norte hasta 20° latitud sur, encontrándose en alturas que van desde 700 hasta 2900 m s.n.m. (Garmendia, 2005). Se conocen 24 especies del género *Cinchona*, de las cuales más de la mitad se encuentran en Ecuador, principalmente en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Loja (Tapia, 2013). Dos de las especies más reconocidas comercialmente son *Cinchona officinalis* y *Cinchona pubescens*. El género *Cinchona* por sus características medicinales para combatir el paludismo y malaria, ha sido explotado a tal punto, que en Loja conocida como la patria de las cascarillas (Cuvi, 2009), actualmente es difícil encontrar individuos creciendo de manera natural en bosque nativo, y sólo se puede encontrar en relictos boscosos con poca accesibilidad. En los últimos años las actividades como la tala de bosques, la agricultura y la ganadería han tenido un impacto significativo en la destrucción de su hábitat (Madsen, 2012).

Al momento, estudios sobre *Cinchona officinalis* están más enfocados al campo de la química y farmacéutica. Respecto a propiedades físicas y características anatómicas de la madera la información es limitada para partir de una referencia. Sin embargo, León (2011) hizo un estudio en una especie similar como es *Cinchona pubescens* en el estado de Mérida - Venezuela, donde también analizó las

propiedades físicas y características microscópicas de la madera. León y Espinoza (2001) argumentan que un mejor conocimiento de las propiedades físicas y cualidades anatómicas de una especie ayudan a un uso y aprovechamiento más eficaz, lo cual permite también un manejo sostenible en el tiempo.

Bajo este contexto y con la finalidad de generar mayor información científica del género *Cinchona* en el Ecuador, esta investigación busca identificar si existen diferencias dentro de la misma especie, pero creciendo en diferentes sitios. Por ello, el objetivo de este estudio fue describir las diferencias de las propiedades físicas y características anatómicas de la madera en árboles provenientes de distintos relictos boscosos al sur de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y selección de individuos

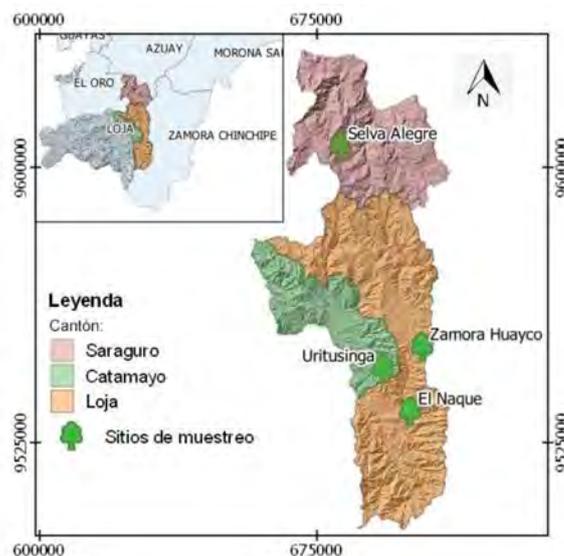


Figura 1. Mapa de ubicación de los cuatro sitios de muestreo en relictos boscosos en tres cantones de la provincia de Loja.

Para el presente estudio se tomaron muestras de madera de un individuo de *Cinchona* en cuatro relictos boscosos de la provincia de Loja. Los sitios de muestreo fueron Selva Alegre perteneciente al cantón Saraguro, Zamora Huayco y El Naque pertenecientes al cantón Loja y Uritusinga perteneciente al cantón Catamayo (Figura 1). Adicionalmente, se colectaron muestras botánicas fértiles por cada individuo para su posterior identificación taxonómica en el Herbario “Reinaldo Espinosa” de la Universidad Nacional de Loja. El criterio de selección de los individuos de la especie se basó en la accesibilidad al sitio y en individuos que posean características fenotípicas con un buen estado fisiológico y fitosanitario. En el campo se registró parámetros dasométricos como DAP y altura total, forma de vida, copa del árbol, vitalidad, posición geográfica, entre otros (Tabla 1).

El individuo de *C. officinalis* localizado en el sitio Zamora Huayco estuvo cercano al cauce de la quebrada San Simón. El individuo de Uritusinga (parroquia El Tambo, cantón Loja) estuvo cercano a una plantación forestal, con vegetación arbustiva y herbácea. Así mismo, el individuo

del sitio El Naque (parroquia Malacatos, cantón Loja) se encontró a 25m de la quebrada denominada Chorrera del Naque, dentro de un Bosque secundario con vegetación arbustiva y herbácea. Finalmente, el individuo de *C. macrocalyx* del sitio Selva alegre estuvo cercano a un mosaico agropecuario y vegetación arbustiva.

Análisis de laboratorio

Propiedades Físicas

Para determinar las propiedades físicas se elaboró pequeñas probetas de madera (12 cm x 2 cm x 4,5 cm), cada una fue lijada desde el grano 60 al 360 hasta tener una superficie lisa y óptima para identificar sus características, y cada probeta fue etiquetada. Las características macroscópicas, organolépticas y propiedades físicas se determinaron en el Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja, y fueron las siguientes: volumen, densidad, humedad, contracción, visibilidad de anillos de crecimiento, transición de duramen a albura, color, diámetro total, ancho de duramen, albura y corteza, sabor, olor, color, textura, brillo, peso, veteado o figura y grano.

Características Anatómicas de la Madera

Para el estudio anatómico se utilizaron de tres a cinco cubos de 1 cm y con la ayuda de un micrótopo de deslizamiento GSL1/WSL diseñado por Gärtner *et al.* (2014), se obtuvieron finas láminas de madera de 2-5 μm de grosor en sus tres planos anatómicos, tangencial, transversal, y radial. Este análisis se realizó también en el mismo laboratorio de Anatomía de Maderas tropicales, para lo cual, los cortes milimétricos de madera obtenidos con el micrótopo se colocaron en un porta-objetos. A cada corte se lo tinturó con Safranina (para teñir lignina) y Astrablue (para teñir tejido no lignificado como la celulosa), y se lo dejó reposar de 5 a 10 minutos para que se concentre el tinte en la madera. Posteriormente con ayuda de una pipeta se lavó las muestras con agua destilada para quitar el exceso de tinte, y con tres diferentes concentraciones de alcohol (50 %, 75 % y 95 %) para remover el agua contenida en la madera. Con la finalidad de sellar y almacenar la muestra permanentemente se colocó Bálsamo de Canadá sobre cada corte y sobre éste se colocó un cubre-objetos para luego secar en la estufa a 60°C por 48 horas. Luego, con la ayuda de un microscopio Olympus BX41 y a través del Software Infinity Analyze v5 se tomó varias fotografías digitales con su respectiva escala en sus tres planos anatómicos y con diferentes objetivos (de 4x a 100x) para almacenarlo en un disco duro y así proceder a la identificación de las principales características microscópicas de la madera basados en la nomenclatura de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera IAWA (Wheeler y Gasson, 1989).

En las fotografías digitales del plano transversal se contabilizaron el número de vasos por mm^2 con 10 repeticiones, y también se midió el largo de los vasos en 25 repeticiones. Para la visualización de punteaduras de acuerdo a la lista IAWA y realizar las mediciones se utilizaron los cortes tangenciales con el lente 20x. Finalmente, los datos tanto de propiedades físicas, organolépticas, y microscópicas obtenidos por cada sitio fueron organizados y procesados en una hoja de cálculo para el cálculo de estadísticos básicos.

RESULTADOS

Condiciones de Sitio

De los cuatro individuos colectados en este estudio sólo uno proveniente del sitio Selva Alegre (Saraguro) fue identificado como otra especie *Cinchona macrocalyx* y todos los demás fueron identificados como *Cinchona officinalis* en su mayoría con una copa dominante y una buena vitalidad. Por ello, un mayor DAP (15 cm) y altura total (10 m) fue evidenciado sólo en el individuo de Selva Alegre, donde también se registró una mayor altitud (2755 m s.n.m.) y precipitación (2500 mm), menor temperatura (7 °C) y una pendiente muy pronunciada (70°) a diferencia de los otros sitios (Tabla 1).

Tómese en cuenta que los individuos de *Cinchona* se encontraron en lugares montañosos sobre los 1900 m s.n.m. y tres de los cuatro individuos crecieron sobre los 2200 m s.n.m., desarrollándose principalmente en sitios de moderadas a fuertes pendientes hasta los 70° y siempre cercanos a fuentes de agua con una alta humedad relativa (Tabla 1).

Tabla 1. Características biogeográficas de los cuatro relictos boscosos al sur de Ecuador.

Parámetro	Selva Alegre	Zamora Huayco	Uritusinga	El Naque	
Especie colectada	<i>Cinchona macrocalyx</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	
Altitud (m s.n.m.)	2755	2200	2462	1933	
Precipitación (mm)	Mín.	500	700	400	600
	Máx.	2500	1700	900	1400
Temperatura (°C)	Mín.	7	9	14	11
	Máx.	18	19	21	20
Humedad Relativa (%)	Mín.	96	66	66	77
	Máx.	97	87	87	82
DAP (cm)	14,96	6,68	6,65	7,67	
HT (m)	10	6,90	6	5,90	
Copa del árbol	Dominante	Dominante	Intermedia	Dominante	
Vitalidad del árbol	Regular	Buena	Buena	Buena	
Coordenadas X (long)	681543	702462	692429	699622	
Coordenadas Y (lat)	9607725	9553316	9547293	9535407	
Pendiente (°)	70	35	10	65	

Propiedades físicas de la madera

Tabla 2. Corte tangencial y transversal de probetas de *Cinchona* de cuatro relictos boscosos al sur de Ecuador.

<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Zamora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
			
			

Respecto a las propiedades organolépticas de la madera se observó ligeras variaciones respecto a sabor, olor, color, textura peso, veteado y grano de las muestras. Dichas variaciones se evidencian entre probetas del mismo individuo y también entre los diferentes sitios tanto en estado verde, en equilibrio y en seco. *C. macrocalyx* (Selva Alegre) al ser otra especie mostró las mayores diferencias sobre todo con un brillo medio y mayor peso. En cuanto a las similitudes con *C. officinalis*, *C. macrocalyx* mostró iguales valores en lo que respecta a sabor amargo, olor aromático, y textura fina. Por otra parte, respecto al color tanto verde y seco, *C. macrocalyx* presentó tonos marrón pálidos frente a *C. officinalis* que presentó colores amarillos. El veteado de las probetas varió en los cuatro individuos yendo de arcos superpuestos en V en el corte tangencial a bandas paralelas en el corte radial, mientras que en el grano se observó una peculiar diferencia, siendo grano recto en *C. officinalis* (Uritusinga) y *C. macrocalyx* (Selva Alegre), y grano Inclinado en *C. officinalis* (Zamora Huayco, El Naque) (Tabla 2-3).

Tabla 3. Propiedades organolépticas de la madera de *Cinchona macrocalyx* y *Cinchona officinalis*.

Propiedad o característica	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Zamora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
1. Sabor	Amargo	Amargo	Amargo	Amargo
2. Olor	Aromático	Aromático	Aromático	Aromático
3. Color en verde (código nombre)	10.0YR-7/4 Marrón muy pálido	10.0YR-7/6 Amarillo	2.5Y-8/6 Amarillo	2.5Y-8/6 Amarillo
4. Color en seco (código nombre)	10.0YR-8/4 Marrón muy pálido	2.5GY-9/4 Palido, aceituna gris claro	2.5Y-8/4 Amarillo pálido	2.5Y-7/6 Amarillo
5. Textura	Fina	Fina	Fina	Fina
6. Brillo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
7. Peso	Pesado	Liviano	Liviano	Liviano
8. Veteado o figura	Arcos superpuestos en “v”	Bandas paralelas, leve- mente jaspeado	Arcos superpuestos en V en bandas pa- ralelas	Bandas paralelas
9. Grano	Recto	Inclinado	Recto	Inclinado

En las propiedades físicas de la madera se evidenció un mayor contenido de humedad con 81,24 % en *C. officinalis* recolectada en el sector Zamora Huayco, mientras que *C. macrocalyx* obtuvo el menor contenido de humedad equivalente a 43,63 %. El individuo con mayor densidad básica fue *C. officinalis* (El Naque) con 0,74 g/cm³ y el individuo de *C. officinalis* (Zamora Huayco) con 0,63 g/cm³ fue el de menor densidad básica. La mayor contracción volumétrica de madera lo registró *C. officinalis* (Zamora Huayco) y *C. macrocalyx* (Selva Alegre) con valores de 1,60 % y 1,20 % respectivamente, mientras que *C. officinalis* (El Naque, Uritusinga) mostraron los menores valores de contracción volumétrica con 1,00 % y 0,89 % respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades físicas de la madera de *Cinchona macrocalyx* y *Cinchona officinalis*

Propiedad o característica	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Zamora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
1. Contenido de humedad (%)	43,63	81,24	51,84	51,71
2. Densidad en verde (g/cm ³)	0,99	1,13	1,09	1,12
3. Densidad en equilibrio (g/cm ³)	0,81	0,79	0,80	0,84
4. Densidad anhidra (g/cm ³)	0,79	0,76	0,79	0,82
5. Densidad básica (g/cm ³)	0,65	0,63	0,72	0,74
6. Contracción longitudinal (%)	0,07	0,15	0,29	0,23
7. Contracción tangencial (%)	0,38	0,59	0,40	0,62
8. Contracción radial (%)	0,19	0,48	0,32	0,39
9. Contracción volumétrica (%)	1,20	1,60	0,89	1,00
10. Relación tangencial-radial	2	1,22	1,25	1,58

Relación de las condiciones de sitio con las propiedades físicas de la madera

En *C. macrocalyx* (Selva Alegre) se evidenció que existe una relación inversa del contenido de humedad y la densidad en verde con la altitud y la precipitación, ya que a 2755 m s.n.m. y 2500 mm que son los mayores datos de estas dos variables, esta especie posee los menores valores en las propiedades de humedad y densidad en verde con relación a los otros sitios. Estas dos propiedades y las contracciones longitudinal, tangencial y radial poseen una relación directa con la temperatura, mientras que *C. officinalis* (Zamora Huayco) posee una relación directa. *C. macrocalyx* (Selva Alegre) y *C. officinalis* (Uritusinga) comparten la misma densidad anhidra pero no poseen similitudes o diferencias significativas con respecto a variables como altitud, precipitación y temperatura.

Características microscópicas de la madera

Las dos especies del género *Cinchona* se caracterizaron por tener anillos de crecimiento poco visibles o ausentes y por tener una porosidad difusa. Todas presentaron vasos en patrones radiales o diagonales en grupos de 4 o más con la excepción de *C. officinalis* (Uritusinga) que presentó de 2-3. El parénquima en todas las especies se encontró como axial difuso. Los radios fueron desde uniseriados hasta multiseriados como en el caso de Zamora Huayco de 5 series y las células radiales fueron en su mayoría procumbentes con más de 4 filas de células verticales. Las placas de perforación fueron simples y las punteaduras intervasculares alternas en los cuatro sitios de estudio (ver Tabla 5 y Figuras 2-3).

Poros y Vasos

En lo que se refiere a la forma de poros y agrupación de vasos, en los cuatro individuos estudiados se observó porosidad difusa, así como vasos en patrones (radiales o diagonales), con agrupación radial de 4 o más vasos, con la particularidad del individuo de Uritusinga que presentó vasos en parte solitarios, en parte en grupos radiales de 2 a 4, o clúster muy pequeños (Figura 2); en cuanto al número de vasos por milímetro cuadrado en su mayoría fueron ≥ 100 vasos por milímetro cuadrado, con la diferencia del individuo de Uritusinga que posee 40–100 vasos por milímetro cuadrado (Media = 133, Desviación estándar = 19, Rango min = 58, y Rango max = 307, ver Tabla 5 y figura 2). La longitud media de vasos fue de $\leq 350 \mu\text{m}$ en todos los individuos muestreados (Media = 215, Desviación estándar = 74, Rango min = 93, y Rango max = 472, ver Tabla 5 y figura 2).

Fibras y parénquima

Se determinó que en todos los individuos muestreados el espesor de la pared de fibras va desde delgada a gruesa sin encontrar diferencias anatómicas en esta característica (Tabla 5 y figura 2). Así mismo en todos los individuos analizados se identificó parénquima axial de tipo apotraqueal difuso y parénquima en bandas de tipo axial escaliforme con ciertas particularidades en cada sitio (ver tabla 5). Además, se encontró en todos los individuos analizados más de ocho células por hebra de parénquima.

Radios

Con respecto al ancho de radio, tanto *C. macrocalyx* (Selva Alegre) como *C. officinalis* (Uritusinga y El Naque) presentaron radios con ancho de 1 a 3 series, con ciertas particularidades en el individuo de *C. officinalis* de Uritusinga y El Naque (ver tabla 5 y figura 2); por otro lado, el individuo de *C. officinalis* (Zamora Huayco) presentó radios comúnmente de 4 a 10 series, con la particularidad de que solo llegó a 5 series. En cuanto a la altura del radio, en todos los individuos se observó radios de altura mayor a 1 mm.

Las células observadas en los radios se caracterizaron por tener el cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales en todos los individuos estudiados, con una cierta peculiaridad en el individuo de *C. officinalis* (Zamora Huayco) (ver tabla 5 y figura 2).

Placas de perforación y punteaduras

En todos los individuos estudiados se observó placas de perforación simples, y se identificaron punteaduras intervasculares alternas (ver Tabla 5 y Figura 3). Con respecto al tamaño de las punteaduras intervasculares, tanto *C. macrocalyx* (Selva Alegre) como *C. officinalis* (Zamora Huayco, Uritusinga) presentaron punteaduras intervasculares diminutas $\leq 4 \mu\text{m}$, por otro lado, el individuo de *C. officinalis* (El Naque) presentó punteaduras intervasculares pequeñas de 4-7 μm (ver Tabla 5 y Figura 3).

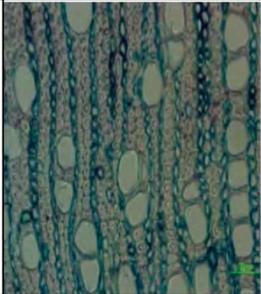
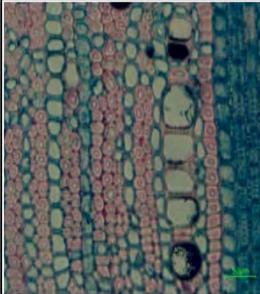
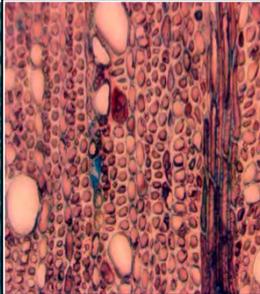
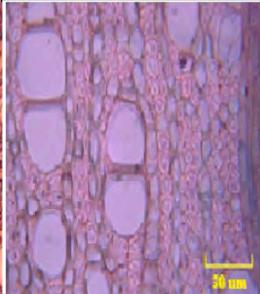
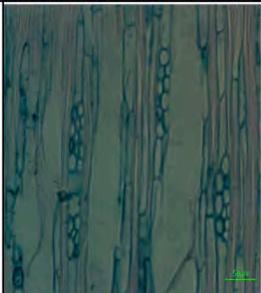
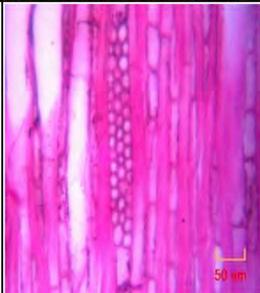
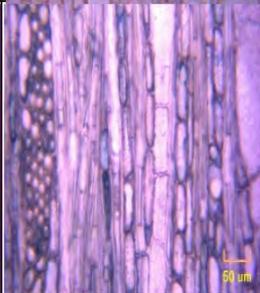
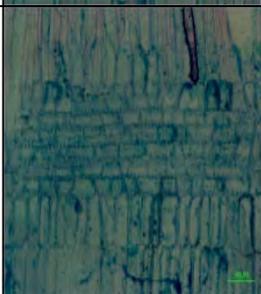
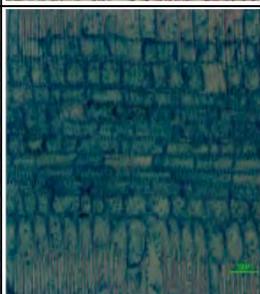
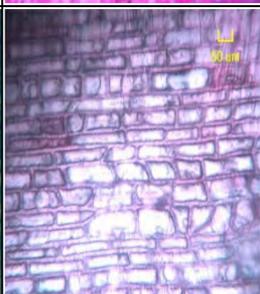
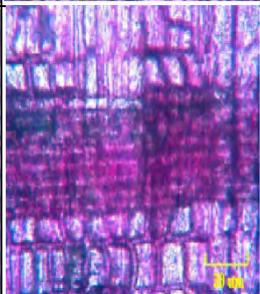
Sección	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Zamora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
Transversal				
Tangencial				
Radial				

Figura 2. Vista anatómica de la madera en un corte transversal, tangencial y radial con un lente 20x.

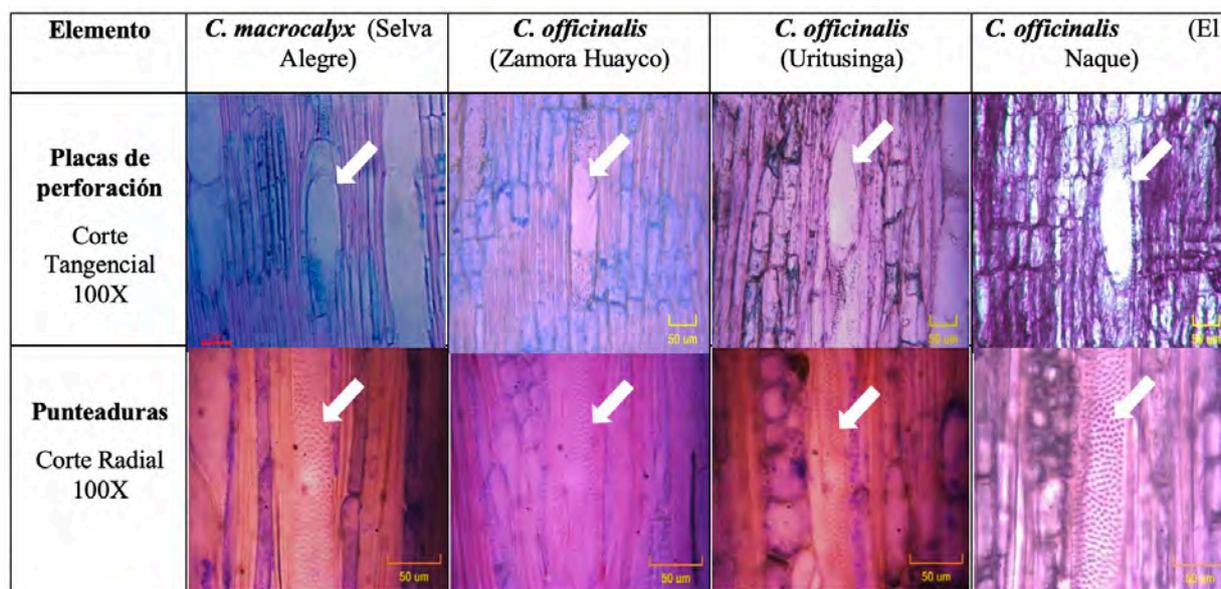


Figura 3. Vista anatómica de la madera donde se muestra placas de perforación (corte tangencial 100X) y punteaduras (corte radial 100X). Las flechas indican las placas de perforación y punteaduras.

Tabla 5. Características anatómicas y microscópicas de la madera de acuerdo a la Nomenclatura IAWA.

# IAWA	Característica	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Za- mora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
Anillos de crecimiento					
2	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes	X	X	X	X
Vasos					
Porosidad					
5	Anillos con poros difusos	X	X	X	X
Disposición de los vasos o poros					
7	Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	X	X	X	X
Agrupación de vasos					
10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más	X	X	X(2-3)	X
Placas de perforación					
13	Placas de perforación simples	X	X	X	X
Punteaduras intervasculares: disposición y tamaño					
22	Punteaduras intervasculares alternas	X	X	X	X

# IAWA	Característica	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Za- mora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
Tamaño de punteaduras intervasculares (alternas y opuestas)					
24	Diminutas - $\leq 4 \mu\text{m}$	2,98	3,43	3,90	
25	Pequeño - 4-7 μm				4,05
Vasos por milímetro cuadrado		A	A	A	D A
49	40-100 vasos por milímetro cuadrado			X	
50	≥ 100 vasos por milímetro cuadrado	X	X		X X
51	Media	243,58	102,08	70,63	148,43 102,32
	+/- Desviación estándar,	35,51	23,32	8,50	15,69 11,28
	Rango min, n = 10	200	75	58	123 85
	Rango max, n = 10	307	146	82	167 118
Longitud media de vasos		A	A	A	D A
52	$\leq 350 \mu\text{m}$	X	X	X	X X
55	Media	258,63	164,69	177,62	190,84 281,02
	+/- Desviación estándar,	91,71	59,03	64,96	68,87 83,67
	Rango min, n = 25	93,02	106,02	98,62	102,02 171,84
	Rango max, n = 25	401,05	33,07	338,43	327,07 472,77
Espesor de la pared de fibras					
69	Fibras de pared delgada a gruesa	X	X	X	X
Parénquima axial apotraqueal					
76	Parénquima axial difuso	X	X	X	X
Parénquima en bandas					
88	Parénquima axial escaliforme	X (muy indistinto)	X	X(indistinto)	X(líneas de una fila de células de ancho)
Parénquima axial por tipo de células / longitud de hebra					
94	Más de ocho células por hebra de parénquima	X	X	X	X
Radios					
Ancho de radio					
97	Radios con ancho de 1 a 3 series	X		X(3-4)	X (3)
98	Radios comúnmente de 4 a 10 series		X (hasta 5)		

# IAWA	Característica	<i>C. macrocalyx</i> (Selva Alegre)	<i>C. officinalis</i> (Za- mora Huayco)	<i>C. officinalis</i> (Uritusinga)	<i>C. officinalis</i> (El Naque)
Altura de radio					
102	Radio de altura mayor a 1mm	X	X	X	X
Radios: composición celular					
108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales	X	X (Células procumbentes, seguidas de cuadradas y verticales)	X	X

*La letra D representa el duramen, y la A representa la albura

Relación de las condiciones de sitio con las características microscópicas de la madera

En términos generales, la estructura anatómica de las dos especies del género *Cinchona* en los sitios de estudio fue similar en la mayoría de las características, sin embargo, se mostraron diferencias notables en las características cuantitativas de ambas especies tales como número, longitud, y tamaño de vasos, así como de punteaduras. En ese sentido, se observó que el tamaño de las punteaduras está influenciado por la altitud de manera directa, siendo así que *C. macrocalyx* (Selva Alegre) que es el sitio de mayor altitud (2755 m s.n.m.) registra las punteaduras más pequeñas de 2,98 μm , y *C. officinalis* (El Naque) que es el sitio de menor altitud (1933 m s.n.m.) posee las punteaduras más grandes de 4,05 μm . Es decir, existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de las punteaduras y la altitud, lo que significa que a menor altitud, mayor tamaño de las punteaduras y a mayor altitud, menor tamaño de las mismas.

De igual manera, se observó una influencia directamente proporcional de la precipitación sobre el número de vasos por milímetro cuadrado, ya que *C. macrocalyx* (Selva Alegre) que es el sitio con mayor precipitación máxima (2500 mm) tiene la mayor cantidad de vasos por milímetro cuadrado con una media de 243,58, y *C. officinalis* (Uritusinga) que es el sitio de menor precipitación máxima (900 mm) registra la menor cantidad de vasos por milímetro cuadrado con una media de 70,63. Lo que nos indica que a mayor precipitación máxima, mayor cantidad de vasos por milímetro cuadrado, y por el contrario, a menor precipitación máxima, menor cantidad de los mismos.

La longitud media de vasos igualmente está influenciada por las condiciones de sitio, puesto que se registraron diferencias en cada uno de los sitios de estudio, siendo así *C. officinalis* (El Naque) el sitio con la mayor longitud media de vasos con una media de 281,02 μm , y *C. officinalis* (Zamora Huayco) el sitio con menor longitud media de vasos con una media de 164,69 μm . Sin embargo, para esta característica anatómica cuantitativa no se pudo establecer una relación directa con ninguna de las condiciones de sitio descritas como son altitud, precipitación y temperatura.

DISCUSION

De manera general, y de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio entre todos los individuos analizados se encuentra que las dos especies de *Cinchona* presentan más similitudes que diferencias en las propiedades organolépticas y físicas de la madera. Sin embargo, una mayor diferencia se encontró en la madera de Selva Alegre identificada taxonómicamente en el Herbario Loja como *C. macrocalyx*, es decir se trata de otra especie, lo cual también es corroborado por los resultados tanto de propiedades físicas y características microscópicas de la madera en este estudio. Por su parte *C. officinalis* tiene una gran similitud entre individuos de los sitios Uritusinga y El Naque, y una leve diferencia en propiedades físicas y características microscópicas en *C. officinalis* del sitio Zamora Huayco. Cabe recalcar que la falta de estudios similares en otras regiones dificulta la comparación de los datos generados, sin embargo, los resultados son pioneros para describir la variabilidad de la madera de *Cinchona* en diferentes sitios al sur de Ecuador.

Propiedades organolépticas

Los colores de la madera de acuerdo al sistema de colores Munsell fueron en general claros tanto en madera verde como en madera seca, de amarillo a marrón muy pálido (2.5Y-8/6, 10.0YR-8/4), lo que se asemeja al estudio realizado por León (2011) en donde menciona que *Cinchona pubescens* presenta madera de color amarillo (10 YT 8/6) a marrón muy pálido (10YR 8/4). El olor presente es amargo lo que difiere con dicho autor que indica que no es distintivo, y puede estar relacionado a que es otra especie. En cuanto al grano va desde recto a inclinado lo que se asemeja a lo que encontró el autor antes mencionado, grano inclinado a entrecruzado, con textura fina. El brillo y peso fueron las características que más diferenciaron estas dos especies en estudio, teniendo mayor brillo y peso *C. macrocalyx*. Hay que recalcar que las características organolépticas en *C. officinalis* no se vieron afectadas por su procedencia, en los tres sitios estudiados mostraron una gran similitud (Tabla 2).

Propiedades físicas

Una de las principales propiedades físicas de la madera, según Ortiz (1998) es el alto contenido de humedad, donde sólo *C. officinalis* (Zamora Huayco) alcanzó un contenido de humedad con 81,24 % y una densidad básica de 0,63 g/cm³, valores que difieren con los resultados obtenidos por Ortiz (1998) en *C. micrantha*, cuya especie alcanzó 118,42 % de humedad y una densidad básica de 0,50 g/cm³. Otra particularidad en cuanto a las propiedades físicas son las diferencias en los porcentajes tanto de contracción radial y tangencial, en la contracción radial se obtuvo valores que van desde 0,19 % hasta 0,48 %, y en la contracción tangencial desde 0,38 % a 0,62 %, tomando en cuenta que estos valores en comparación con los obtenidos por Ortiz (1998) son notablemente inferiores, ya que este autor obtuvo una contracción radial de 6,47 % y contracción tangencial de 9,71 %. Por otro lado, *C. officinalis* (El Naque), registró un contenido de humedad de 51,71 % y densidad en verde, equilibrio, básica y anhidra de 1,12 g/cm³; 0,84 g/cm³; 0,74 g/cm³ y 0,82 g/cm³ respectivamente; valores parecidos a *C. officinalis* (Uritusinga), los mismos que resultaron afines a *Simira cordifolia*, especie similar de la misma familia RUBIACEAE, con un contenido de humedad de 51,47 %, densidad en verde de 0,93 g/cm³, en equilibrio de 0,74 g/cm³, básica de 0,61 g/cm³ y anhidra de 0,71 g/cm³ MAE y FAO (2014). Los resultados obtenidos se verifican con lo mencionado por Spavento *et al.* (2008) quienes mencionan que el contenido de humedad varía según la región de procedencia, como es el caso del individuo de

C. officinalis del sector Zamora Huayco con mayor contenido de humedad por encontrarse junto a una fuente hídrica (quebrada San Simón).

Características anatómicas

En lo referente a características anatómicas, todos los individuos estudiados presentaron anillos poco visibles, similar a lo observado por León (2011), quien manifiesta que *Cinchona pubescens* presenta anillos de crecimiento no definidos. De igual manera, Metcalfe y Chalk (1950) mencionan que *Cinchona ledgeriana* tiene sus anillos de crecimiento indistintos o ausentes. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la presencia o ausencia de anillos influye principalmente por la estacionalidad del sitio donde se crece un individuo, y en los cuatro sitios de este estudio no existe una estacionalidad bien definida ni de temperaturas, ni de precipitaciones.

Los anillos mostraron porosidad difusa, vasos parcialmente solitarios, así como, una agrupación radial de 2 a 4 o más vasos, similar a lo encontrado por León (2011) en *Cinchona pubescens* y en *Cinchona micrantha* (Ortiz, 1998).

El número de vasos por milímetro cuadrado fue ≥ 100 diferente a lo encontrado por Metcalfe y Chalk (1950), en *Cinchona ledgeriana*, donde se encontró de 20-40 vasos por milímetro cuadrado. Así mismo este autor menciona que en la longitud media de vasos va desde $\leq 350 \mu\text{m}$ hasta $\geq 800 \mu\text{m}$, que se asemeja a lo encontrado en nuestro estudio con $\leq 350 \mu\text{m}$. Por otro lado, Ortiz (1998) encontró en su estudio realizado en *Cinchona micrantha* 8 poros por milímetro cuadrado lo que difiere con nuestros resultados obtenidos.

En relación a las fibras encontramos que todos los individuos poseen fibras de tipo delgadas a gruesas lo que es similar a lo obtenido por León (2011) en *Cinchona pubescens* con paredes delgadas a medianas. De igual manera existe estrecha relación con estudios realizados por Metcalfe y Chalk (1950) en *Cinchona ledgeriana* que presenta fibras de paredes delgadas a gruesas.

Acorde a lo reportado por Metcalfe y Chalk (1950) se encontraron similitudes en cuanto al tipo de parénquima, altura de radio y composición celular de los radios, lo que supone un punto clave para identificar el género *Cinchona*. Por otra parte, lo mencionado por Metcalfe y Chalk (1950), en cuanto a la longitud de hebra del parénquima y el ancho de radio, en su estudio se mencionan desde (3-4) hasta (5-8) células por hebra de parénquima y radios comúnmente de 4 a 10 series, esto a diferencia de lo observado que fue más de 8 células por hebra de parénquima y radios con ancho de 1 a 3 series, cabe mencionar que solo *C. officinalis* (Zamora Huayco) presentó radios comúnmente de 4 a 10 series pero con la particularidad de que solo llegó a 5 series.

Ambas especies de *Cinchona* mostraron parénquima axial difuso, y parénquima axial escaliforme en bandas, diferente de *C. micrantha* reportado por Ortiz (1998) quién encontró parénquima paratraqueal vasicéntrico y parénquima apotraqueal difuso en agregados. Por otra parte, León (2011) menciona en *C. pubescens* parénquima apotraqueal difuso, paratraqueal escaso, en series de 2 - 6 células, algo similar a nuestras especies estudiadas puesto que también se encontró parénquima apotraqueal difuso, pero a la vez diferente porque se observó más de ocho células por hebra de parénquima y no se encontró parénquima paratraqueal.

En cuanto a los radios, ambas especies mostraron radios heterocelulares con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales, similar *C. pubescens* (León, 2011) pero a su vez diferentes por los radios de tipo homocelular.

La disposición y tamaño de punteaduras de ambas especies fue similar a *C. ledgeriana* descrito en Inside-Wood (Wheeler, 2011) y también por Metcalfe y Chalk 1950) encontrándose punteaduras intervasculares alternas con un tamaño de $\leq 4 \mu\text{m}$ es decir diminutas, lo cual solo difiere con *C. officinalis* (El Naque), el cual presenta punteaduras intervasculares pequeñas es decir de 4-7 μm . De igual manera, se encontraron similitudes con León (2011) que reporta punteaduras intervasculares alternas, diminutas a pequeñas en *C. pubescens*. Por otra parte, Ortiz (1998) reportó en *C. micrantha* punteaduras intervasculares escaliformes, lo que difiere con *C. Officinalis* y *C. macrocalyx*.

Finalmente, respecto a las placas de perforación todos los individuos mostraron placas de perforación simples siendo similar a *Cinchona pubescens* (León, 2011), con la única diferencia que ocasionalmente se encontró placas escaliformes de hasta 8 barras. Algo idéntico sucedió en el estudio realizado por Metcalfe y Chalk (1950) en *Cinchona ledgeriana* la cual tuvo placas de perforación simples, y en *Cinchona micrantha* (Ortiz, 1998) con placas de perforación muy inclinadas de tipo simple.

■ CONCLUSIONES

Las propiedades físicas, organolépticas, y características microscópicas de la madera tienen gran similitud entre las especies *Cinchona officinalis* y *Cinchona macrocalyx* incluso creciendo en sitios diferentes.

Las propiedades organolépticas de *C. officinalis* muestran una madera más liviana y con poco brillo, mientras que *C. macrocalyx* muestra una madera más pesada y con brillo medio.

La humedad y densidad de la madera en verde y su relación con la altitud y precipitación son inversamente relativos. *C. macrocalyx* (Selva Alegre) al estar expuesta a mayor precipitación y mayor altitud tiene valores de humedad y densidad en verde menores en comparación a los registros de las muestras colectadas en los otros sitios.

Ambas especies muestran similitud en sus características microscópicas y anatómicas de la madera, y lo único que las diferencia son las propiedades cuantitativas como tamaño, número, y longitud de vasos, así como las punteaduras intervasculares, lo cual está más relacionado al sitio que a la especie.

C. macrocalyx del sitio Selva Alegre que crece a mayor altitud, presenta las punteaduras más pequeñas. Por el contrario, *C. officinalis* del sitio El Naque, que crece a menor altitud registra las punteaduras más grandes. Esto determina que existe una relación inversamente proporcional, lo que significa que, a menor altitud, mayor tamaño de las punteaduras.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto «Mejoramiento genético de *Cinchona officinalis* L., proveniente de relictos boscosos de la provincia de Loja», por proporcionar el material biológico para este estudio. Al compañero Jimmy Zari por el apoyo en el trabajo de campo y laboratorio. De manera muy especial nuestro agradecimiento al proyecto “Determinación de los turnos biológicos de corta para el manejo forestal sostenible al sur del Ecuador” de la Universidad Nacional de Loja por la asesoría y por facilitarnos el uso de los laboratorios.

BIBLIOGRAFÍA

- Buitrón, X. (1999). Ecuador: uso y comercio de plantas medicinales situación actual y aspectos importantes para su conservación. Ecuador: *TRAFFIC International*.
- Chávez-Romero, D., Aguilar-Rodríguez, S., y Terrazas, T. (2010). Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). *Madera y bosques*, 16(2), 69-87.
- Cuvi, N. (2009). Ciencia e imperialismo en América Latina: La misión de *Cinchona* y las estaciones agrícolas cooperativas (1940 – 1945). (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Garmendia, A. (2005). El árbol de la quina (*Cinchona* spp.), Distribución, caracterización de su hábitat y arquitectura. Loja, Ecuador: Editorial Universidad Técnica Particular de Loja.
- Gärtner, H., Lucchinetti, S., & Schweingruber, F. (2014). New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: The GSL1-microtome. *Dendrochronologia* 32(1): 47-51.
- León, W. (2011). Anatomía de la Madera de 31 Especies de Rubiaceae en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*. 34(2): 347-379.
- León, W., y Espinoza, N. (2001). Anatomía de la madera. Primera edición. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela. 397 p.
- Madsen, J. (2002). Historia cultural de la cascarilla de Loja (pp. 385-399). En: Z. Aguirre, J. Madsen, E. Cotton, H. Balslev (eds.), *Botánica Austroecuatoriana: Estudio sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. Quito, Ecuador: Ediciones Abya Yala.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. Quito. 125p
- Metcalfe, C., & Chalk, L. (1950). *Anatomy of the dicotyledons*. 2 Vols. Clarendon Press, Oxford, U.K. 1500 pp.
- Noves, H. (1985). *Secado de la madera al aire*. Madrid: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.
- Ortiz, E. (1998). Influencia de las propiedades físicas y características anatómicas de los usos de *Apeiba membranacea* y *Cinchona micrantha*. Tingo María-Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Spavento, E., Keil, D., y Monteoliva, S. (2008). Propiedades Físicas de la madera. Curso de Xilotecnología.
- Tapia, J. (2013). Estudio de factibilidad para la producción orgánica y comercialización de Quina (*Cinchona officinalis*) en el cantón Loja. (Tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Wheeler, E., & Gasson, P. (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification: with an Appendix on non-anatomical information. Leiden: National Herbarium of the Netherlands. 10(3): 219–332.
- Wheeler, E. A. (2011). Inside Wood—A web resource for hardwood anatomy. *Iawa Journal*, 32(2), 199-211.