

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



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS QUINAS
(*Cinchona*, Rubiaceae) USANDO DNA BARCODING PARA
SU CONSERVACIÓN EN AMAZONAS**

Autor: Bach. Jhordy Perez Ocampo

Asesores: Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos

Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo

Registro(.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2021

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



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS QUINAS
(*Cinchona*, Rubiaceae) USANDO DNA BARCODING PARA
SU CONSERVACIÓN EN AMAZONAS**

Autor: Bach. Jhordy Perez Ocampo

**Asesores: Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos
Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo**

Registro(.....)

CHCHAPOYAS – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme con la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres Wilder F. Perez Cachay y Norma I. Ocampo Barrera por sus consejos, apoyo incondicional y paciencia en todo momento.

A mi hermano Franz Y. Perez Ocampo por enseñarme que hay que sonreír hasta en los tiempos más difíciles y por su amor incondicional.

Jhordy Perez Ocampo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme compartir estos años con excelentes personas de calidad, tanto en amistad, compañerismo y profesionalmente, son mi inspiración para seguir formándome como profesional y buena persona.

A mis asesores Ph.D. Danilo E. Bustamante Mostajo y Ph.D. Martha E. Calderón Ríos quienes más que docentes han demostrado ser amigos en cada paso, por su dedicación, tiempo, paciencia y sobre todo consejos para que el proyecto de investigación se desarrolle de la mejor manera.

Al director del INDES-CES Dr. Manuel Oliva Cruz por las facilidades correspondientes para realizar el proyecto de investigación

A los profesionales miembros del jurado Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz, Mg. Erick Stevinson Arellanos Carrión y M.Sc. Jesús Rascón Barrios por sus aportes y recomendaciones con el fin de mejorar el desarrollo del proyecto.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron con sus aportes en esta investigación, en especial al Ing. Jhonsy Omar Silva López.

Jhordy Perez Ocampo

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

Dr. Policarpio Chauca Valqui
RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Lic. José Luis Quispe Osorio
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DE LA ASESORA DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



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

ANEXO 3-K

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 Diversidad y distribución de las Quinas (Cinchona, Rubiaceae) usando DNA barcoding para su conservación en Amazonas: del egresado Jhordy Pérez Ocampo de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental 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, 04 de febrero de 2021

Firma y nombre completo del Asesor
Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos



Firmado digitalmente por:
CALDERON RIOS MARTHA
STEFFANY FIR: 44890400 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 25/05/2021 20:06:27-0500

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



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

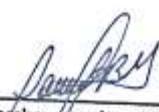
ANEXO 3-K

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 "Diversidad y distribución de las Quinas (Cinchona, Rubiaceae) usando DNA barcoding para su conservación en Amazonas" del egresado Jhordy Pérez Orcampo de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental 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, 01 de febrero de 2021


Firma y nombre completo del Asesor
Dr. Danilo E. Bustamante Mostajo
Ph.D. in Life Science



Firmado digitalmente por:
BUSTAMANTE MOSTAJO DANILÓ
EDISON FIR 43466105 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26/05/2021 17:48:21-0500

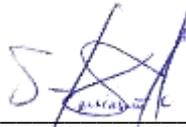
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz
DNI 05374749
Reg. CIP: 65361

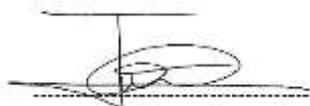
Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz

PRESIDENTE



Mg. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión

SECRETARIO



M. Sc. Jesús Rascón Barrios
CE: 001483863

M. Sc. Jesús Rascón Barrios

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL



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

ANEXO 3-0

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

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

Diversidad y distribución de las Quinas (Cinchona Rubiacae)
usando DNA barcoding para su conservación en Amazonas
presentada por el estudiante () Vegresado (x) Jhonny Pérez Ocampo
de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
con correo electrónico institucional jhonny.perezocampo@untrm.edu.pe
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 13 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor () / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) 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, 13 de abril del 2021

Mg. Erick Stevinson Arellanos Carrión

SECRETARIO

M. Sc. Jesús Rascón Barrios
CE: 001483863

VOCAL

M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz
DNI 05374749

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



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

ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 14 de mayo del año 2024, siendo las 17:20 horas, el aspirante: Doct. Jhosdy Pérez Orango defiende en sesión pública presencial () / a distancia (x) la Tesis titulada: Diversidad y distribución de las Ranas (Cinchona Rubricaeae) usando DNA barcoding para su conservación en Amazonas. teniendo como asesor a Ph.D. Martha Calderón R. y Ph.D. Danilo Rubenau para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: H. S. C. Segundo Manuel Oliva Cruz

Secretario: Hg. Erick S. Amalvas Cerón

Vocal: Blgo. Jesús Rascón Barrios

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 (x)

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 18:50 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Firma]
SECRETARIO

[Firma]
VOCAL

[Firma]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DE ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL.....	vi
VISTO BUENO DE ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL.....	x
INDICE O CONTENIDO GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1.Revisión de material	21
2.2.Análisis molecular	25
a) Preparación de la muestra	25
b) Extracción de ADN.....	27
c) Amplificación de ADN.....	29
d) Purificación de ADN	30
2.2.1 Secuenciamiento de ADN.....	31
2.2.2 Análisis filogenético	32
III. RESULTADOS	33
3.1.Diversidad de especies de <i>Cinchona</i>	33
3.1.1. Análisis filogenético	33
3.1.2. Análisis morfológico	36
a) <i>Ladenbergia oblongifolia</i> (Humb. Ex Mutis) L. Andersson	36

b) <i>Cinchona pubescens</i> Vahl. (SP1)	38
c) <i>Cinchona officinalis</i> L. (SP2)	40
d) <i>Cinchona macrocalyx</i> Pav. Ex DC. (SP3)	42
e) <i>Cinchona pitayensis</i> Wedd. (SP4)	44
f) <i>Condaminea</i> sp.	46
g) <i>Elaeagia</i> sp.	48
3.2. Distribución de <i>Cinchona</i>	51
IV. DISCUSIÓN	56
V. CONCLUSIONES	60
VI. RECOMENDACIONES	61
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información y datos de colecta de los especímenes de <i>Cinchona</i> y grupos cercanos usados en este estudio	23
Tabla 2. Protocolos de PCR para los genes plastidiales <i>rbcL</i> y <i>matK</i>	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa que muestra las provincias de procedencia del material de estudio.....	22
Figura 2. Protocolo de limpieza y preparación de las muestras de <i>Cinchona</i>	26
Figura 3. Proceso de extracción de ADN de muestras de <i>Cinchona</i>	28
Figura 4. Proceso de amplificación de ADN extraído de muestras de <i>Cinchona</i>	30
Figura 5. Proceso de purificación de ADN amplificado de muestras de <i>Cinchona</i>	31
Figura 6. Árbol filogenético concatenado de los genes <i>matK</i> y <i>rbcL</i> de la subfamilia Cinchonoideae (Clado 1) basado en la inferencia de máxima verosimilitud	34
Figura 7. Árbol filogenético concatenado de los genes <i>matK</i> y <i>rbcL</i> de la subfamilia Ixoroideae (Clado 2) basado en inferencia de máxima verosimilitud	35
Figura 8. Morfología de <i>Ladenbergia oblongifolia</i> (IC-8)	37
Figura 9. Especímenes <i>L. oblongifolia</i> . A) Espécimen de <i>L. oblongifolia</i> colectado en Huánuco-Perú (MO-1628088) y depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium; B) Hojas y flores <i>L. oblongifolia</i> Oxapampa-Pasco (Rocío Rojas – 5721).....	38
Figura 10. Morfología de <i>C. pubescens</i> (IC-48)	39
Figura 11. Especímenes <i>C. pubescens</i> . A) Espécimen de <i>C. pubescens</i> colectado en Chota-Cajamarca, Perú (N° 2205227), depositado en la Universidad Nacional de Cajamarca, (CPUN). B) Hojas y flores <i>C. pubescens</i> Perú (Vásquez Martínez – 33876).	40
Figura 12. Morfología de <i>C. officinalis</i> (IC-22)	41
Figura 13. Especímenes <i>C. officinalis</i> . A) Espécimen de <i>C. officinalis</i> colectado en Loja-Ecuador (MO-1509581), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. B) Hojas <i>C. officinalis</i>	42
Figura 14. Morfología de <i>C. macrocalyx</i> (IC-43)	43
Figura 15. Especímenes <i>C. macrocalyx</i> . A) Espécimen de <i>C. macrocalyx</i> Leimebamba-Amazonas-Perú (4473-AD), depositado en el Herbario Forestal Universidad Agraria la Molina (MOL). B) Espécimen de <i>C. macrocalyx</i> San Martín-Perú (MO-1508548), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium.....	44

Figura 16. Morfología de <i>C. pitayensis</i> (IC-3)	45
Figura 17. Especímenes de <i>C. pitayensis</i> . A) Espécimen de <i>C. pitayensis</i> colectado en Ecuador (MO-1509605), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. B) Espécimen de <i>C. pitayensis</i> colectado en Ecuador (Barcode 02364581), depositado en Herbario Nacional de EE. UU., Departamento de Botánica, NMNH, Institución Smithsonian	46
Figura 18. Morfología de <i>Condaminea sp.</i> (IC-9)	47
Figura 19. Especímenes de <i>Condaminea sp.</i> A) Espécimen de <i>Condaminea corymbosa</i> colectado en Oxapampa-Pasco-Perú (MO-1103130), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. B) Hojas y flor de <i>Condaminea</i> Perú (Vásquez Martínez – 34450)	48
Figura 20. Morfología de <i>Elaeagia sp.</i> (IC-7).....	49
Figura 21. Especímenes de <i>Elaeagia sp.</i> A) Espécimen de <i>Elaeagia sp.</i> colectado en Ecuador (Quizhpe, Wilson - 1697), depositado en el herbario de la Universidad Nacional de Loja. B) Espécimen de <i>Elaeagia obovata</i> La Paz-Bolivia (MO-716680-Isotipo) (Missouri Botanical Garden Herbarium)	51
Figura 22. Distribución de especies del género <i>Cinchona</i> en las provincias de Bongará, Luya, Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza, región de Amazonas.....	53
Figura 23. Distribución de especies de los géneros <i>Ladenbergia</i> , <i>Condaminea</i> y <i>Elaeagia</i> identificados en la provincia de Bongará, región de Amazonas.....	54

RESUMEN

Las especies del género *Cinchona* son reconocidas como recursos vegetales emblemáticos de la flora peruana, debido a su aporte global contra la malaria y las enfermedades palúdicas. Perú es uno de los países con mayor diversidad de *Cinchona*, reportando 18 especies de las 25 descritas a nivel mundial. Estas especies tienen como hábitats lugares escarpados y de fuerte pendiente en las cordilleras peruanas, consideradas centros de alta diversidad y endemismos. En ese sentido, la presente investigación busca determinar la diversidad y distribución de especies del género *Cinchona* en la región Amazonas. Las muestras de tejido vegetal provenientes del Herbario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (KUELAP) fueron caracterizadas a nivel morfológico y molecular mediante DNA barcoding amplificando los marcadores *rbcL* y *matK*. Se confirmó la presencia de cuatro linajes en el género *Cinchona* pertenecientes a cuatro especies: *C. pubescens* (2710 m.s.n.m), *C. officinalis* (2088-4399 m.s.n.m), *C. macrocalyx* (439-2700 m.s.n.m) y *C. pitayensis* (439-2088 m.s.n.m). Además, especímenes que en primera instancia fueron identificadas como *Cinchona*, fueron confirmadas molecularmente como: *Landenbergia oblongifolia*, *Condaminea* sp. y *Elaeagia* sp. Este estudio confirma la gran importancia del DNA barcoding como una herramienta para la identificación objetiva de especies confirmando la correcta distribución que permitirá establecer políticas adecuadas de conservación de la biodiversidad en la región Amazonas.

Palabras clave: Amazonas, cascarilla, *Cinchona*, conservation, DNA barcoding, plastid markers.

ABSTRACT

Species of the genus *Cinchona* are recognized as emblematic plant resources of the Peruvian flora, due to its global contribution against malaria and malarial diseases. Peru is one of the countries with the greatest diversity of *Cinchona*, reporting 18 species of the 25 described worldwide. These species have as habitats steep slopes in the Peruvian highlands, considered centers of high diversity and endemism. Accordingly, this research aimed to determine the diversity and distribution of species of the genus *Cinchona* in the Amazon region. Samples of plant tissue from the Herbarium of the Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (KUELAP) were characterized at morphologically and molecularly by DNA barcoding, amplifying the markers *rbcL* and *matK*. The presence of four lineages in the genus *Cinchona* belonging to four species was confirmed: *C. pubescens* (2710 masl), *C. officinalis* (2088-4399 masl), *C. macrocalyx* (439-2700 masl), and *C. pitayensis* (439- 2088 masl). Furthermore, specimens that were initially identified as *Cinchona*, were molecularly confirmed as: *Landenbergia oblongifolia*, *Condaminea* sp., and *Elaeagia* sp. This study confirms the great importance of the DNA barcoding as a technique for the accurate identification of species, confirming their correct distribution that can help in the generation of adequate policies for the conservation of biodiversity in the Amazon region.

Keywords: *Cinchona*, DNA barcoding, identification, conservation, PCR, Amazonas.

I. INTRODUCCIÓN

El género *Cinchona* conocido comúnmente como cascarilla, quina o árbol de la quina, pertenece a la familia Rubiaceae y comprende 25 especies distribuidas a lo largo de la zona tropical y ecuatorial de la cordillera de los Andes, desde Costa Rica (12° N) hasta el centro de Bolivia (20° S) (Lima *et al.*, 2018), concentrándose la mayor diversidad de especies al Norte del Perú y la parte sur de Ecuador (Andersson, 1995). Este género se encuentra en hábitats, de rasgos escarpados y de fuerte pendiente; como las elevadas montañas y grandes cordilleras peruanas, que son consideradas centros de alta diversidad y endemismos de especies de *Cinchona* (Madsen, 2002).

Dentro de los principales países con la mayor diversidad de *Cinchona*, se encuentran Perú con 18 especies, seguido de Ecuador con 12 especies, mientras que Bolivia, Colombia y Venezuela albergan un menor número de especies (Álvarez, 2013). En Perú, destacan las especies *Cinchona officinalis* L., *Cinchona capulí* L. Andersson, *Cinchona lancifolia* Kunth y *Cinchona macrocalyx* Pav. Ex DC (Huamán *et al.*, 2019). Especies de este género representan el emblema de recursos cegetales de la flora peruana, debido a su aporte global para el tratamiento efectivo de la malaria, por las propiedades de sus metabolitos y alcaloides en el control del paludismo, además de otros desordenes infecciosos, por más de 300 años (Lambert *et al.*, 1821; Stell, 1982). Además, estas especies brindan servicios ecosistémicos como regulador del ciclo hidrológico y climático, e incluso su madera tiene buena calidad para tablas, ebanistería, y en la construcción de viviendas o como postes para linderos (INIA, 2018). Debido a estos factores, su explotación fue muy intensa, generalizándose así su uso desde las últimas décadas del siglo XVII (Hodge, 1947).

En la región Amazonas se encuentran poblaciones y grupos de *Cinchona* generalmente en zonas de bosques nubosos (Carguay-Yaguana *et al.*, 2016), como en las provincias de Luya (San Jerónimo), Condorcanqui, Bagua, Rodríguez de Mendoza, Bongará (Progreso, Yambrasbamba) (Vásquez *et al.*, 2019). Para esta región existen reportadas seis especies en la lista de verificación mundial de familias de plantas seleccionadas (World Checklist of Selected Plant Families), siendo estas *Cinchona fruticosa* L. Andersson, *Cinchona macrocalyx* Pav. Ex

DC., *Cinchona officinalis* L., *Cinchona pubescens* Vahl, *Cinchona micrantha* Ruiz & Pav., *Cinchona calisaya* Weed. (WCSP, 2020). Estas especies presentan un tamaño aproximado entre 11-15 metros de alto con fuste cilíndrico y entre 30-40 cm de diámetro, con ramificación simpodial y copa globosa irregular bastante densa. Además, presentan hojas con características simples, opuestas y decusadas midiendo aproximadamente entre 8 a 29 cm de largo y 7 a 20 cm de ancho; mientras que el color de la corteza, varía dependiendo de cada especie, siendo el color marrón oscuro el predominante en *C. officinalis* y el color plomizo gris, en *C. pubescens* (Zeballos, 1989).

La complejidad del reconocimiento de los árboles de la quina en campo significó una de las adversidades que hizo frente la explotación de este recurso, haciendo así, que su explotación poco selectiva termine en una tala indiscriminada (Tapia, 2013). La tala excesiva con fines de agricultura migratoria y ganadería extensiva han ocasionado que las poblaciones de árbol de la quina se encuentren amenazadas, siendo así muy complicado identificar poblaciones naturales de *Cinchona* en ecosistemas forestales (Buddenhagen *et al.*, 2004). Los bosques de neblina del Perú no son la excepción a este problema, lo que ha resultado no sólo en la reducción de sus poblaciones, sino además en una baja regeneración natural, lo que ha generado un mayor impacto negativo que la propia cosecha de su corteza (Yucta, 2016). A raíz de esto, en la actualidad, muchas especies del género *Cinchona* son catalogadas como especies vulnerables en el libro rojo de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (Pino & Taylor, 2006).

Actualmente, las herramientas moleculares se usan ampliamente en la identificación y autenticación de plantas (Li *et al.*, 2011; Raclariu *et al.*, 2017), especialmente en especies que son similares morfológicamente (Zhang *et al.*, 2020). Una de estas técnicas moleculares utilizada es el DNA barcoding, la cual se basa en el uso de una región de ADN estandarizada como etiqueta o marcador que contiene información genética para la identificación rápida y objetiva de especies (Hebert & Gregory, 2005). Esta técnica trabaja con el supuesto de que individuos de la misma especie poseen secuencias específicas de ADN que son diferentes a las de individuos de otras especies (Sunnunks, 2000). De esta manera,

el DNA barcoding puede mejorar los inventarios de biodiversidad al ser más rápido, más barato y al superar los impedimentos taxonómicos de la botánica tradicional, así como también puede ser usado para abordar problemas ecológicos, evolutivos y de conservación, como las reglas ecológicas que controlan el ensamblaje de especies en comunidades de plantas (Kress, 2017). Los estudios genéticos relacionados al género *Cinchona* que permitan definir molecularmente a las especies y su estado de conservación son bastante escasos. En este sentido, la carencia de datos moleculares para este género, constituye una limitante para validar la diversidad y distribución del género y por ende promover su conservación y valoración como planta de importancia medicinal, ecológica y ambiental. El uso del DNA barcoding en este trabajo, permitirá determinar la diversidad y distribución de especies del género *Cinchona* en la región Amazonas, para así discutir las implicancias de la técnica del DNA barcoding como fuente primaria de información y data en aras de la conservación y el manejo sostenible de las quinas (*Cinchona*, Rubiaceae).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Revisión de material

El estudio incluyó muestras de plantas identificadas como “*Cinchona*” depositadas en el Herbario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (KUELAP). Las muestras fueron colectadas durante setiembre y noviembre del 2018 en los bosques montanos y pre montanos de las provincias de Bagua, Bongará, Chachapoyas, Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba de la región de Amazonas (Figura 1, Tabla 1), entre los 1500-3500 y 900-1500 m.s.n.m., respectivamente (ZEE, 2010). Los bosques montanos y pre montanos son considerados zonas de importancia global por ser reservorios de biodiversidad y por sus funciones de regulación hídrica y mantenimiento de la alta calidad de agua (Bubb *et al.*, 2004). En todos los bosques montanos de los Andes localizados entre los 1500 y 2900 m.s.n.m, las especies de la familia Lauraceae Juss. son las más predominantes, seguidas por las familias Rubiaceae Juss. y Melastomataceae Juss. (Gentry, 1995). Adicionalmente, los registros y morfologías de las especies de *Cinchona*, y géneros similares, se revisaron en las bases de datos y colecciones de herbarios como JSTOR Global Plants (<https://www.jstor.org/>), el herbario New York Botanical Garden Steere (<https://www.nybg.org/>), el Servicio de Información sobre Biodiversidad Global (<https://www.gbif.org/>) y Tropicos del Jardín Botánico de Missouri (<https://tropicos.org/home>).

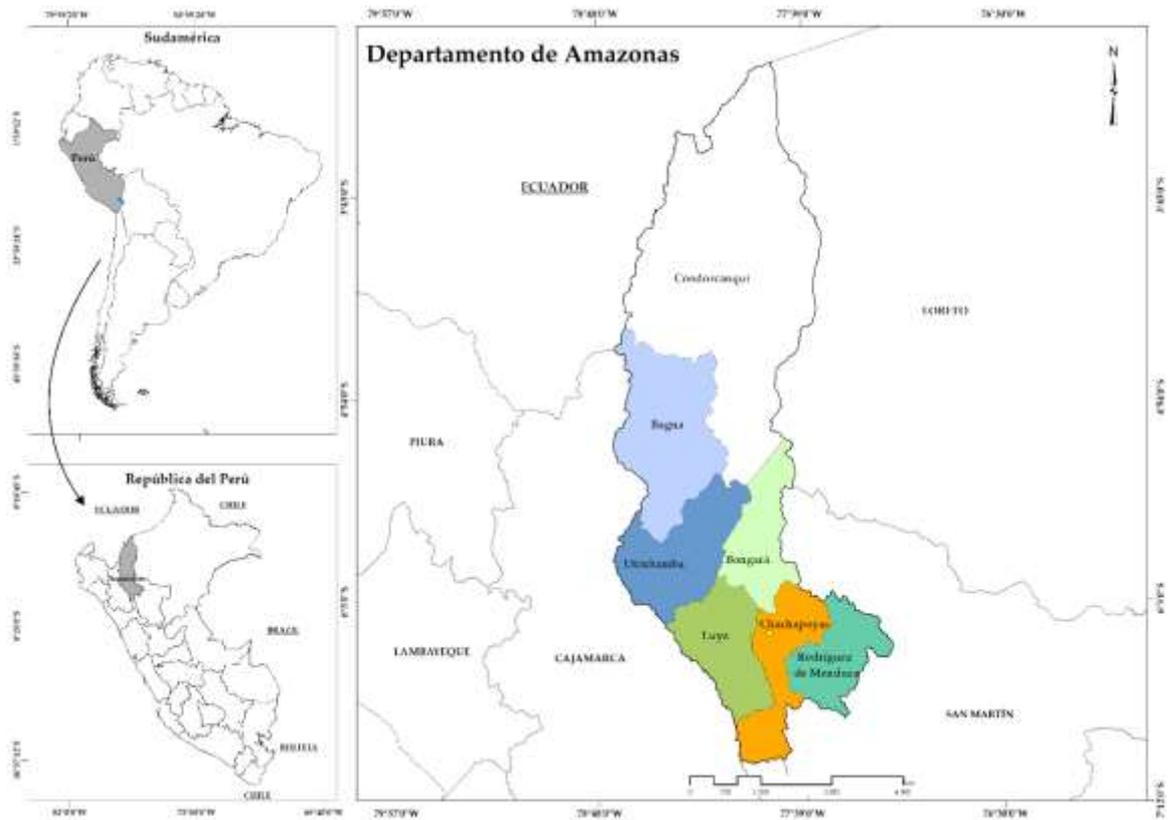


Figura 1. Mapa que muestra las provincias de procedencia del material de estudio.

Tabla 1. Información y datos de colecta de los especímenes de *Cinchona* y grupos cercanos usados en este estudio.

Código	Código herbario	Anexo	Distrito	Provincia	Fecha de colecta	Altitud	Coordenadas		
							Este	Norte	Zona UTM
IC-2	KUELAP-315	Tocuya	Omia	R. de Mendoza	04/09/2018	1400	221309	9284252	18
IC-3	KUELAP-316	Tocuya	Omia	R. de Mendoza	04/09/2018	1325	238311	9283660	18
IC-4	KUELAP-317	Gebil	Omia	R. de Mendoza	04/09/2018	1278	236730	9283519	18
IC-5	KUELAP-318	Nueva Esperanza	San Nicolás	R. de Mendoza	04/09/2018	1435	229300	9290020	18
IC-7	KUELAP-319	La Perla del Imaza	Yambrasbamba	Bongará	04/09/2018	1649	170048	9382382	18
IC-8	KUELAP-320	La Perla del Imaza	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1663	170188	9381949	18
IC-9	KUELAP-321	La Perla del Imaza	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1768	170822	9381601	18
IC-10	KUELAP-322	La Perla del Imaza	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1768	170822	9381601	18
IC-11	KUELAP-323	La Perla del Imaza	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1887	171700	9380292	18
IC-12	KUELAP-324	Pampa del Burro	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1865	172446	9378139	18
IC-14	KUELAP-325	Pampa del Burro	Yambrasbamba	Bongará	05/09/2018	1835	173669	9375630	18
IC-16	KUELAP-326	Dos de Mayo	Leimebamba	Chachapoyas	03/10/2018	2631	190030	9251856	18
IC-17	KUELAP-327	Dos de Mayo	Leimebamba	Chachapoyas	03/10/2018	2547	190756	9253724	18
IC-19	KUELAP-328	Palmira	Leimebamba	Chachapoyas	03/10/2018	2703	193129	9260019	18
IC-20	KUELAP-329	Conila	Conila	Luya	04/10/2018	2984	825635	9314649	17
IC-21	KUELAP-330	Conila	Conila	Luya	04/10/2018	2990	825181	9315092	17
IC-22	KUELAP-331	Conila	Conila	Luya	04/10/2018	3021	825802	9314552	17
IC-23	KUELAP-332	Conila	Conila	Luya	04/10/2018	3021	825802	9314552	17
IC-24	KUELAP-333	Conila	Conila	Luya	04/10/2018	3059	826383	9314494	17
IC-25	KUELAP-334	Cruzpata	Cruzpata	Luya	04/10/2018	2941	824718	9317203	17
IC-26	KUELAP-335	Cruzpata	Cruzpata	Luya	04/10/2018	2972	825262	9317077	17
IC-27	KUELAP-336	Maria	Maria	Luya	23/10/2018	3114	171703	9287065	18
IC-28	KUELAP-337	Maria	Maria	Luya	23/10/2018	3220	171467	9286587	18

IC-29	KUELAP-338	Maria	Maria	Luya	23/10/2018	3232	171589	9286774	18
IC-30	KUELAP-339	Espadilla	Molinopampa	Chachapoyas	06/11/2018	2558	204672	9309941	18
IC-33	KUELAP-340	Espadilla	Molinopampa	Chachapoyas	06/11/2018	2533	204210	9310499	18
IC-34	KUELAP-341	Espadilla/Cara de Inca	Molinopampa	Chachapoyas	06/11/2018	2266	204208	9310498	18
IC-35	KUELAP-342	Las Palmas	Jumbilla	Bongará	08/11/2018	2426	181898	9353112	18
IC-37	KUELAP-343	Las Palmas	Jumbilla	Bongará	08/11/2018	2310	181476	9352767	18
IC-38	KUELAP-344	Nuevo Gualulo	Pomacochas	Bongará	08/11/2018	2187	180385	9353272	18
IC-39	KUELAP-345	Nuevo Gualulo	Pomacochas	Bongará	08/11/2018	2242	179986	9353086	18
IC-40	KUELAP-346	Nuevo Gualulo	Pomacochas	Bongará	08/11/2018	2483	176419	9353347	18
IC-41	KUELAP-347	Cepta	Cuispes	Bongará	08/11/2018	2754	177545	9341906	18
IC-42	KUELAP-348	Cepta	Cuispes	Bongará	08/11/2018	2711	177329	9342161	18
IC-43	KUELAP-349	Cuispes	Cuispes	Bongará	08/11/2018	2455	176696	9343281	18
IC-48	KUELAP-350	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	14/11/2018	2710	829728	9334634	17
IC-49	KUELAP-351	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	14/11/2018	2621	829555	9334845	17
IC-50	KUELAP-352	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	14/11/2018	2645	829526	9335162	17
IC-51	KUELAP-353	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	14/11/2018	2645	829526	9335162	17
IC-52	KUELAP-354	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	14/11/2018	2614	830040	9335802	17

2.2. Análisis molecular

a. Preparación de la muestra

La limpieza de las hojas se realizó en el área de Biología Molecular y Genómica del laboratorio FISIOBVEG de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (Figura 2). Los tejidos de las hojas fueron limpiados meticulosamente mediante el uso de un estereoscopio (Labtech, Linitron). Se usó un pincel, así como papel toalla para la limpieza de impurezas presentes en la superficie de la hoja. Luego se cortó una pequeña área de aproximadamente 3cm^2 entre nervaduras con ayuda de un bisturí y pinzas para la sujeción, luego el área cortada se depositó en un microtubo de 1.5 mL. Seguidamente fueron trituradas por un equipo de congelación y aplastamiento (Disruptor SK-10 Japón) luego de ser sumergidas en nitrógeno líquido.

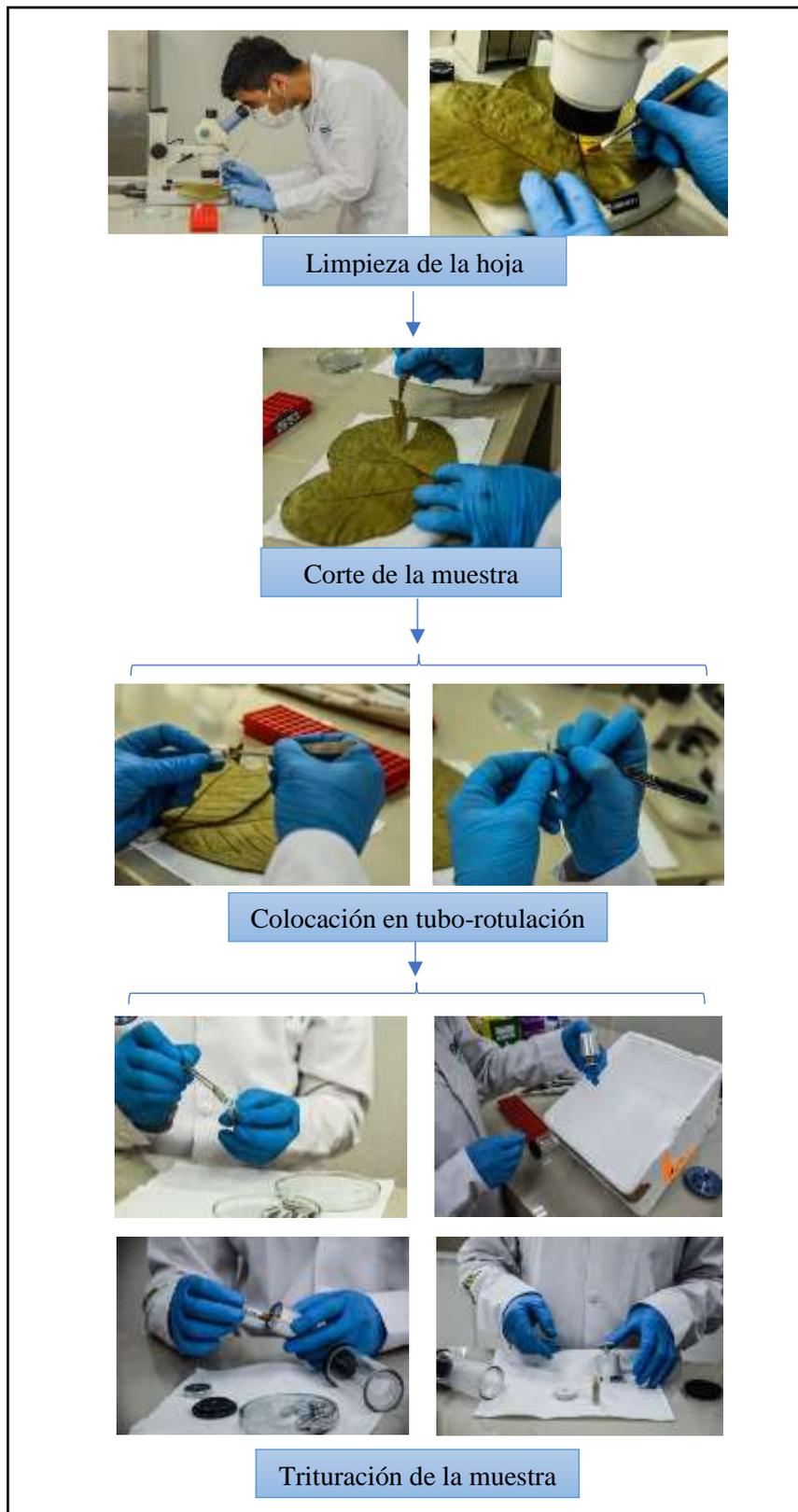


Figura 2. Protocolo de limpieza y preparación de las muestras de *Cinchona*.

b. Extracción de ADN

Para la extracción de ADN se usó el kit NucleoSpin Plant II (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) según las instrucciones del fabricante (Figura 3):

- ✓ Se agregó 400 μ l del Buffer PL1 y 10 μ l de RNAsa a cada muestra, se cerraron los tubos y mezclaron durante 15 a 30 segundos, agitando durante 30 segundos a 1500 x g. Se incubó las muestras a 65°C durante 10 minutos.
- ✓ Se centrifugó las muestras durante 1 minuto.
- ✓ Se procedió a cargar el lisado en la columna con anillo violeta. Se centrifugó durante 2 minutos a 11,000 x g.
- ✓ Se agregó 450 μ l de Buffer PC, pipeteando 5 veces, o por vortex.
- ✓ Se colocó una columna NucleoSpin Plant II (anillo verde) en un nuevo tubo de recogida (2ml), cargando un máximo de 700 μ l de la muestra. Se centrifugó durante 1 minuto a 11, 000 x g y se desechó el flujo.
- ✓ **1er Lavado:** Se agregó 400 μ l Buffer PW1 a la NucleoSpin Plant II Columna. Se procedió a centrifugar durante 1 minuto a 11, 000 x g y luego se desechará el flujo.
- ✓ **2do Lavado:** Se agregó 700 μ l Buffer PW2 a la NucleoSpin Plant II Columna. Se centrifugó durante 1 minuto a 11, 000 g y posterior a ello se desechó el flujo.
- ✓ **3er Lavado:** Se agregó 200 μ l más de Buffer PW2 a la Columna NucleoSpin Plant II. Se centrifugó durante 2 minutos a 11, 000 x g.
- ✓ **Elución:** Se colocó la columna NucleoSpin Plant II en un tubo nuevo de microcentrífuga de 1,5 ml y se pipeteó 50 μ l de Buffer PE (65°C) en la membrana. Se llevó a incubar la columna durante 5 minutos a 65°C. Se centrifugó durante 1 minuto a 11, 000 x g para eluir el ADN. Luego se repitió este paso.

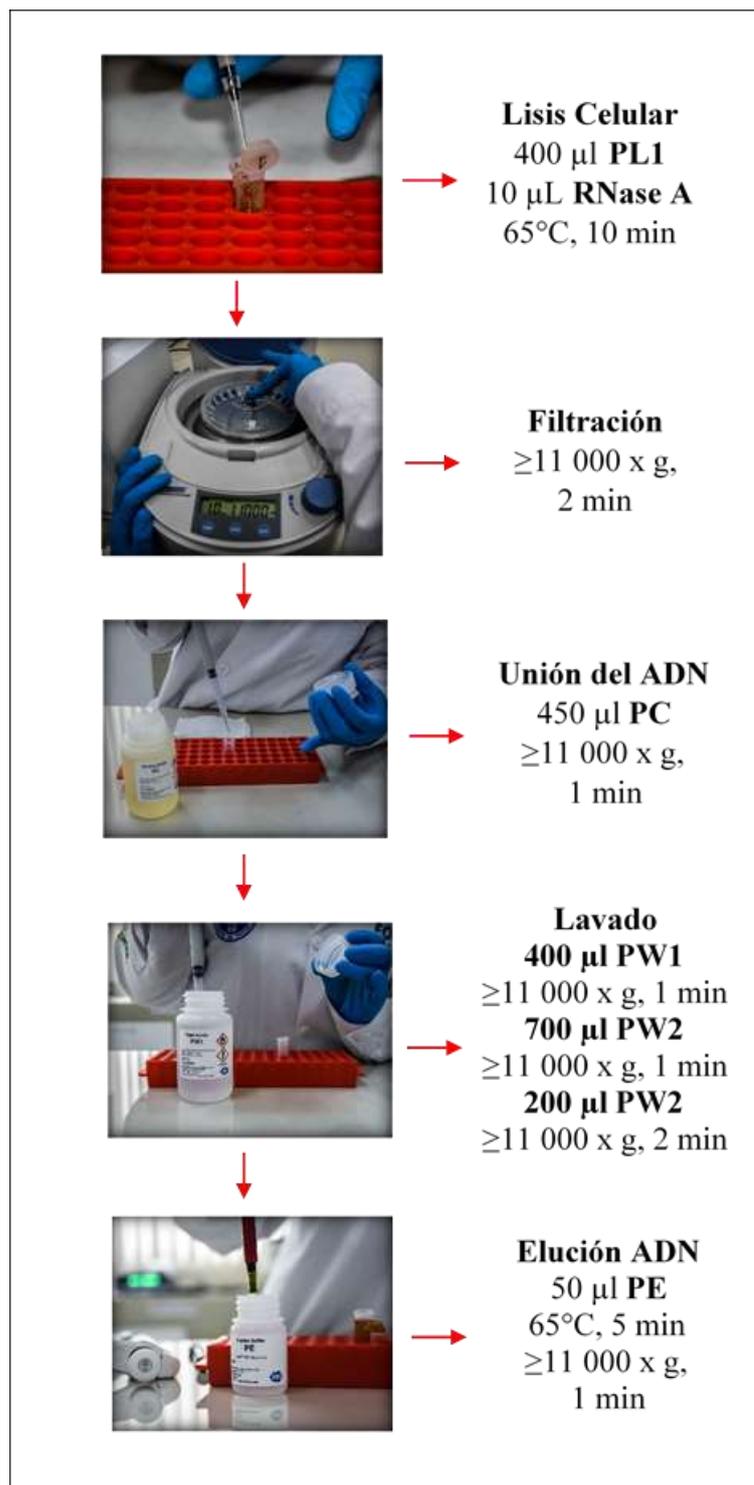


Figura 3. Proceso de extracción de ADN de muestras de *Cinchona*.

c. Amplificación de ADN

Se amplificaron los genes de origen plastidial *rbcL* (ribulosa-bisfosfato carboxilasa) y *matK* (Maturasa K) a través de primers o iniciadores usados por Palhares *et al.*, (2014) para *rbcL* y Maldonado *et al.*, (2017) para *matK*. Los genes fueron amplificados mediante la técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), usando las siguientes proporciones de reactivos: 5 μ L de Go Taq Master mix; 2,6 μ L de agua; 0.2 μ L de primers forward y reverse y 2 μ L de ADN genómico, para un volumen total de 10 μ L por muestra. Los tubos con la mezcla se colocaron en un Termociclador (T100™ Thermal Cycler- Biorad, USA), en la cual se configuraron las temperaturas y tiempo para cada fase del PCR (Tabla 2).

Tabla 2. Protocolos de PCR para los genes plastidiales *rbcL* y *matK*

FASE	<i>rbcL</i>			<i>matK</i>		
	T °C	Tiempo	Ciclos	T °C	Tiempo	Ciclos
Pre-desnaturalización	95°	3'	1x	94°	4'	1x
Desnaturalización	94°	30"		94°	1'	
Alineamiento	50°	40"	45x	50°	1'	35x
Extensión	72°	40"		72°	2.5'	
Extensión final	72°	5'	1x	72°	7'	1x

Los productos amplificados se confirmaron visualmente mediante electroforesis en gel de agarosa. Se cargó 1 μ L de la muestra en los posillos del gel de agarosa, al 1% (Agarosa 1.44 g, 150ml TAE 1X, 6 μ L de 0,02 μ L/mL de SYBR® Safea DNA Gel Stain.), sumergido en tampón Tris-borato 1X (Figura 4). En la cámara de electroforesis se consideró un voltaje de 100 V durante 15 minutos tiempo, en el cual las muestras de ADN migraron del polo negativo al positivo.

Las bandas resultantes se dimensionaron con la escalera de 1 kb (0,5 μ g – 50 μ g) y fueron fotografiadas con el fotodocumentador (OMNIDOC Cleaver Scientific, Reino Unido).

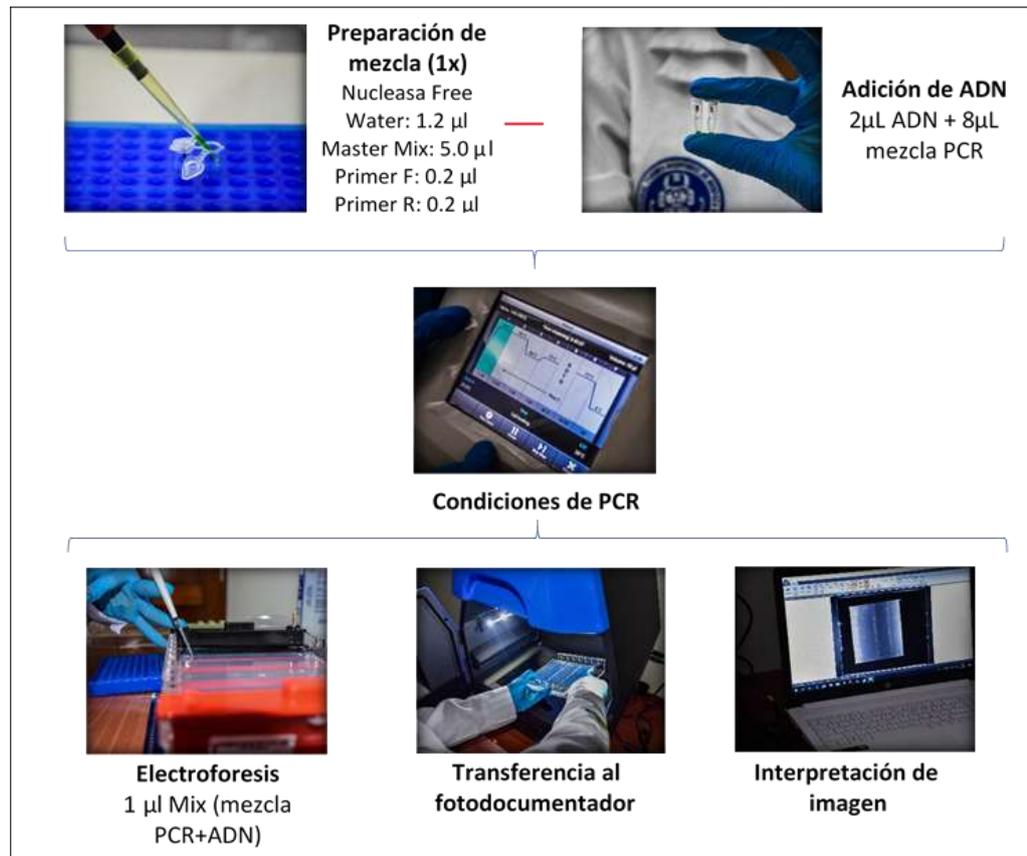


Figura 4. Proceso de amplificación de ADN extraído de muestras de *Cinchona*.

d. Purificación de ADN

Para la purificación de los productos de PCR se usó el kit NucleoSpin Gel and PCR Clean-up (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) (Figura 5), siguiendo las instrucciones del fabricante:

- ✓ **Ajuste de condiciones:** Se agregó el buffer de unión (Binding DNA Buffer NT1) a los tubos PCR y pipeteó hasta que se mezclen.
- ✓ **Unión DNA:** Se colocó la columna de limpieza en un tubo de colecta de 2ml y se cargó 700 μ l de la muestra. Se centrifugó durante 30 segundos a 11, 000 x g, luego se desechó el flujo.
- ✓ **Lavado:** Se agregó 700 μ l de Buffer NT3 y se centrifugó durante 30 segundos a 11, 000 x g. Se desechó la columna y se volvió a colocar en el tubo de colecta.

- ✓ **Secado membrana:** Se centrifugó durante 1 minuto a 11, 000 x g para eliminar el Buffer NT3 por completo.
- ✓ **Elución:** Se colocó la columna en un nuevo tubo para microcentrífuga de 1.5 ml y se agregó de 15-30 μ l de Buffer NE para luego incubarse entre 18-25 °C durante 1 minuto. Finalmente se centrifugó durante 3 minutos a 15, 000 x g.

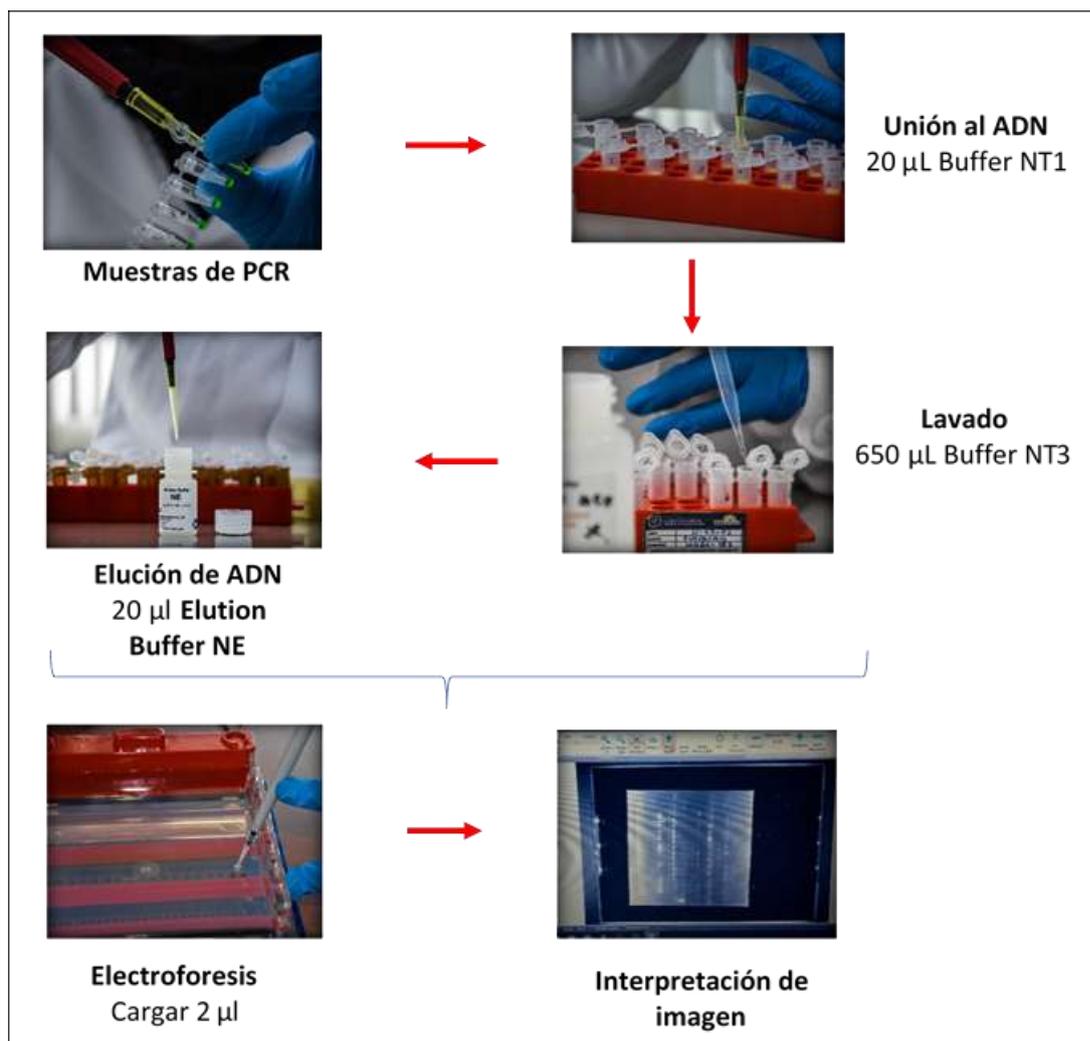


Figura 5. Proceso de purificación de ADN amplificado de muestras de *Cinchona*.

2.2.1. Secuenciamiento de ADN

Las secuencias de forward y reverse para los maracadores *rbcL* y *matK* fueron secuenciados comercialmente por Macrogen (Seúl, Corea del Sur), utilizando los mismos primers de amplificación.

2.2.2. Análisis Filogenético

Las secuencias y otras obtenidas del GenBank, base de datos de secuenciación genética del NIH (Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos), se alinearon con el algoritmo MUSCLE (Multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput) implementado en MEGA 7 (Tamura *et al.*, 2013). El análisis filogenético se basó en una data concatenada que combinó los marcadores *matK*, con 844 pares de bases (pb) y *rbcL*, con 565 pb. Se utilizó un total de 111 secuencias incluyendo los grupos externos *Palicourea salicifolia* y *Chelonanthus* sp. La selección del modelo de evolución se determinó usando el programa PartitionFinder v. 2.1.1 (Lanfear *et al.*, 2016). El árbol filogenético fue construido usando el método Maximum likelihood mediante el programa RaxML GUI v. 2.0.0 beta 10 (Edler *et al.*, 2019) usando un modelo (GTR + Γ + I) con 1000 réplicas de Bootstrap. La inferencia Bayesiana (BI) se realizó con el software MrBayes v. 3.2.5 (Ronquist *et al.*, 2012), usando el modelo GTR+I+G, con una corrida de 2 000 000 de generaciones.

III. RESULTADOS

3.1. Diversidad de especies de *Cinchona*

3.1.1. Análisis filogenético

El análisis filogenético de la familia Rubiaceae, incluyó a dos subfamilias con monofilia sólida; las subfamilias Cinchonoideae Raf. (Clado 1, Figura 6) e Ixoroideae Raf. (Clado 2, Figura 7). Dentro de la sub familia Cinchonoideae, los especímenes estudiados se encuentran ubicados en la tribu Cinchoneae, y correspondieron a la especie *Landenbergia oblongifolia* (Humb. Ex Mutis) L.Andersson (IC-8) y cuatro linajes en el género *Cinchona* (SP1, SP2, SP3 y SP4) (Figura 6).

Por otro lado, dentro de la sub familia Ixoroideae, se reportaron especímenes de la tribu Condamineae, conformada por los linajes *Condaminea* sp. (IC-9), y *Elaeagia* sp. (IC-7; IC-10; IC-35; IC-38; IC-40) (Figura 7).

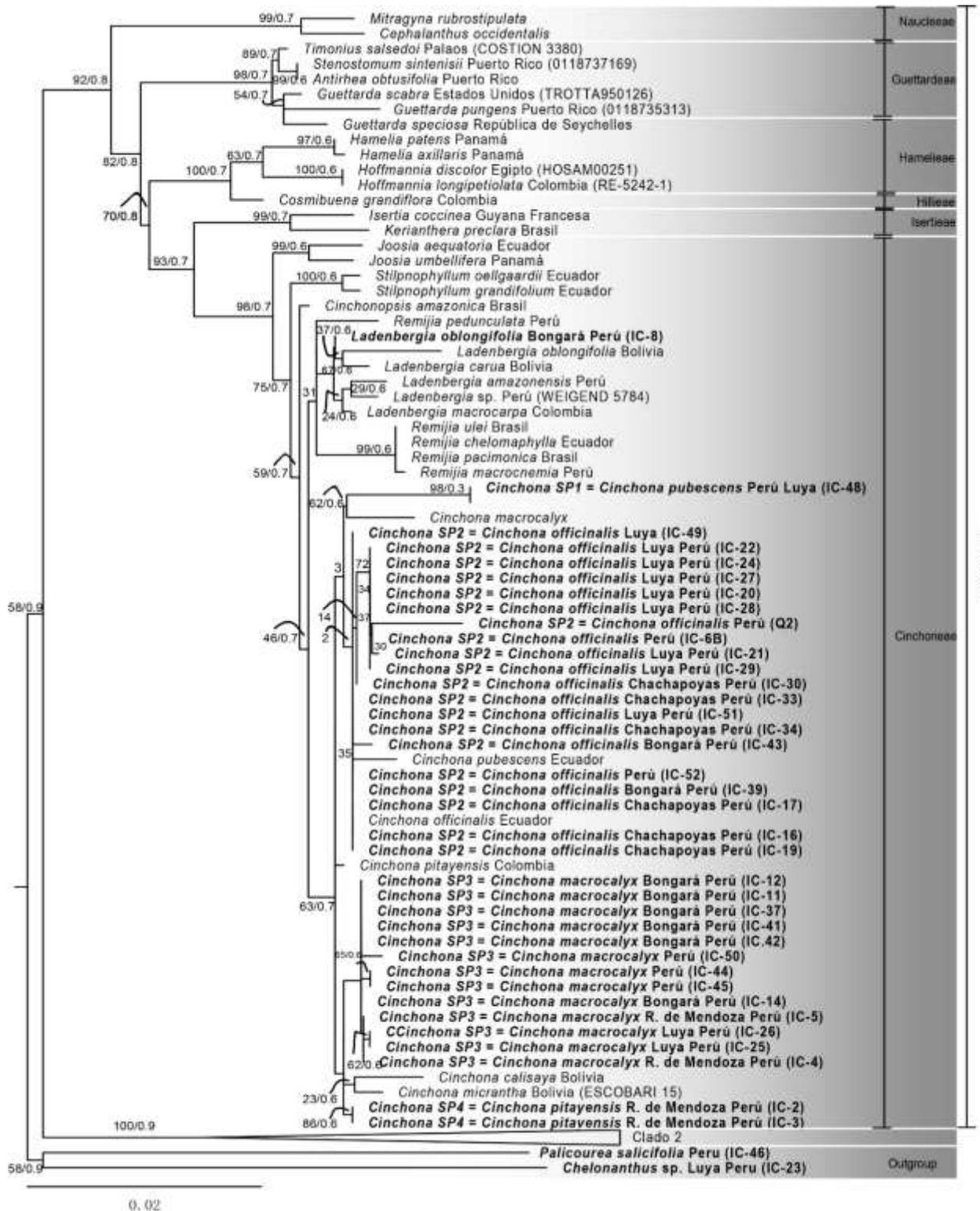


Figura 6. Árbol filogenético concatenado de los genes *matK* y *rbcL* de la subfamilia Cinchonoideae (Clado 1) basado en la inferencia de máxima verosimilitud. Valores por encima de ramas = valores de bootstrap de máxima verosimilitud / probabilidad posterior bayesiana. Escala muestra la sustitución de nucleótidos.

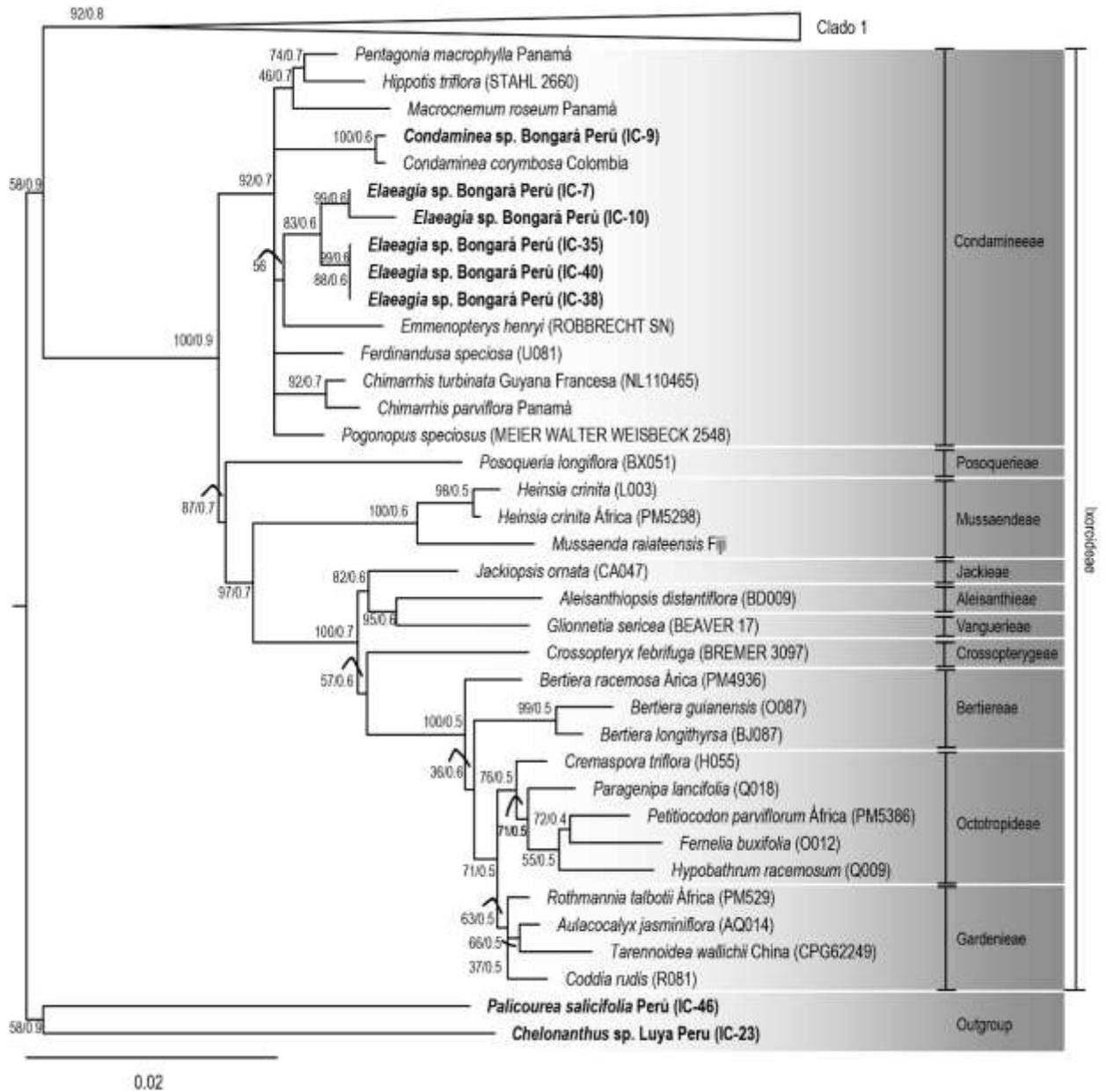


Figura 7. Árbol filogenético concatenado de los genes *matK* y *rbcL* de la subfamilia Xoroideae (Clado 2) basado en inferencia de máxima verosimilitud. Valores por encima de ramas = valores de bootstrap de máxima verosimilitud / probabilidad posterior bayesiana. Escala muestra la sustitución de nucleótidos.

3.1.2. Análisis morfológico

a) *Ladenbergia oblongifolia* (Humb. Ex Mutis) L. Andersson

Descripción: Esta especie se caracteriza por sus estípulas fusionadas proximalmente, láminas foliares delgadas con ápice redondeado a ampliamente agudo, generalmente con un mechón de domatia distinto debajo, por su inflorescencia piramidal, presenta flores pequeñas (tubo de la corola de 7-14 mm) (Torres *et al.*, 2017).

Distribución y hábitat: Registrada en el anexo de La Perla del Imaza, distrito de Yambrasbamba, provincia de Bongará, región Amazonas, Perú (Coordenadas Este: 170188 Norte: 9381949) a una altitud de 1663 m.s.n.m, en bosques nubosos de los Andes (IC-8).



Figura 8. Morfología de *Ladenbergia oblongifolia* (IC-8). **A)** Hojas elíptico-ovales. **B)** Lámina foliar de textura cartácea. **C)** Yema axilar. **D)** Hojas elíptico-ovales con brote de yema axilar.

Nota: Registros de *L. oblongifolia* en el Missouri Botanical Garden Herbarium, indican su presencia en la zona central del Perú: a) En el distrito de Chanchamayo, provincia de Tarma, región Junín a una altitud de 1500 m.s.n.m (MO-1628068); b) Distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco entre los 700-800 m.s.n.m (MO-1628088); c) Provincia de Oxapampa en la región Pasco (MO-2466231) (MO-2466519); d) Localidad de Mazuco,

provincia de Tambopata, región de Madre de Dios (MO-1664978); y e) Provincia de Rioja, región de San Martín a una altitud de 1000 m.s.n.m (MO-1664955).



Figura 9. Especímenes *L. oblongifolia*. **A)** Especímen de *L. oblongifolia* colectado en Huánuco-Perú (MO-1628088) y depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium; **B)** Hojas y flores *L. oblongifolia* Oxapampa-Pasco (Rocío Rojas – 5721).

b) *Cinchona pubescens* Vahl. (SP1)

Descripción: *Cinchona pubescens* se caracteriza por sus estípulas aciculares redondas, inflorescencia terminal, flores rojas con corola blanca de hasta 15 cm de longitud, hojas simples, opuestas y decusadas, elíptico cordadas (Zeballos, 1989).

Distribución y hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los bosques nubosos del distrito de San Jerónimo, provincia de Luya, a una altitud de 2710 m.s.n.m en la región Amazonas (Coordenadas Este: 829728 Norte: 9334634) (IC-48).

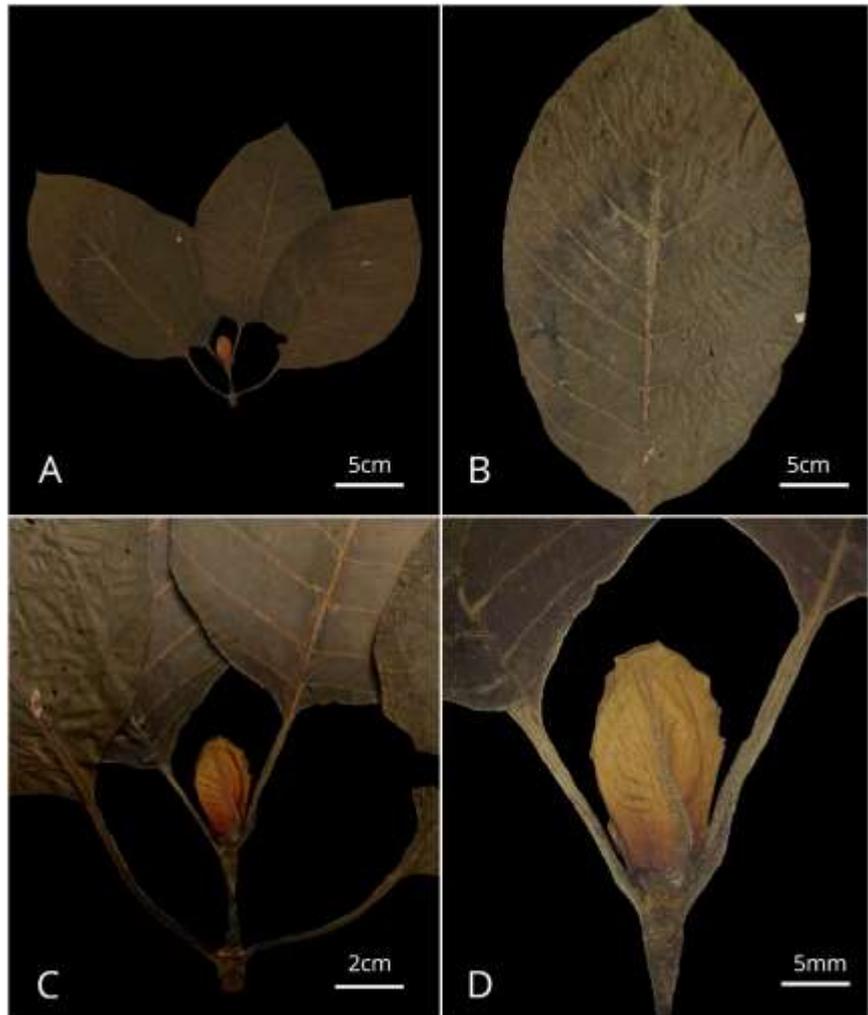


Figura 10. Morfología de *C. pubescens* (IC-48). **A, B)** Hojas simples, opuestas y decusadas, elíptico cordadas. **C)** Hojas elíptico-cordadas con brote de yema axilar. **D)** Yema axilar.

Nota: *C. pubescens* también se ha registrado en otras regiones del Perú, como en la provincia de Oxapampa, en la región de Pasco, entre las altitudes de 1780-2600 m.s.n.m (MO-2466201; MO-2466600) (Missouri Botanical Garden Herbarium). Esta especie se ha registrado también en las regiones de Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín y Puno (Macbride, 1936).

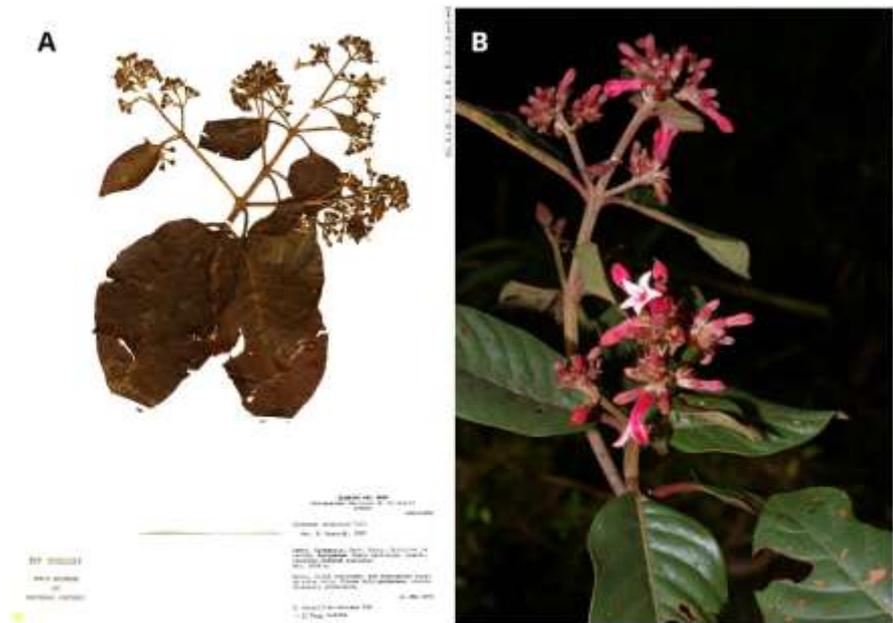


Figura 11. Especímenes *C. pubescens*. **A)** Especímen de *C. pubescens* colectado en Chota-Cajamarca, Perú (N° 2205227), depositado en la Universidad Nacional de Cajamarca, (CPUN). **B)** Hojas y flores *C. pubescens* Perú (Vásquez Martínez - 33876).

c) *Cinchona officinalis* L. (SP2)

Descripción: *Cinchona officinalis* se caracteriza por estípulas aovadas y caducas, inflorescencia en panícula terminal, flores en panículas terminales de 20 a 25 cm de longitud, hojas simples, opuestas y decusadas, forma elíptico-ovada (Zeballos, 1989).

Distribución y Hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los bosques nubosos de los distritos de Conila, San Jerónimo y María, provincia de Luya, entre los 2621-3232 m.s.n.m en la región Amazonas (Coordenadas: Este: 825802 Norte: 9314552; Este: 826383 Norte: 9314494; Este: 825635 Norte: 9314649; Este: 825181 Norte: 9315092; Este: 829555 Norte: 9334845; Este: 171703 Norte: 9287065; Este: 171467 Norte: 9287065; Este: 171589 Norte: 9286774) (IC-49; IC-22; IC-24; IC-27; IC-20; IC-28; IC-21; IC-29; IC-30; IC-33; IC-51; IC-34; IC-43; IC-52; IC-39; IC-17; IC-16; IC-19; IC-6B; Q2).

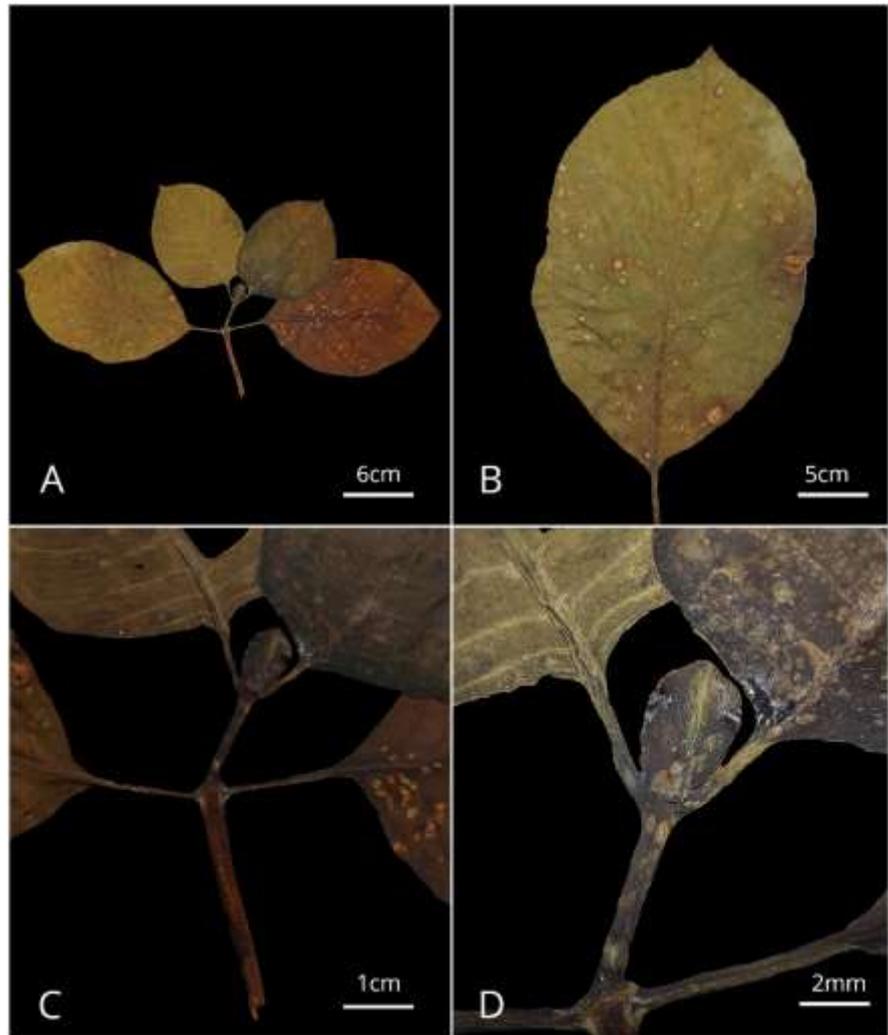


Figura 12. Morfología de *C. officinalis* (IC-22). **A, B)** hojas simples, opuestas y decusadas, forma elíptico-ovada. **C)** Hojas elíptico-ovadas con brote de yema axilar. **D)** Yema axilar.

Nota: *C. officinalis* también se ha registrado en otras regiones del Perú como en la provincia de Puerto Inca, región de Huánuco (MO-1508265) (Missouri Botanical Garden Herbarium). Además, existen registros en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, Puno, San Martín (Macbride, 1936). Para la región Amazonas existen reportes en la provincia de Chachapoyas (Macbride, 1936).



Figura 13. Especímenes *C. officinalis*. **A)** Especímen de *C. officinalis* colectado en Loja-Ecuador (MO-1509581), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. **B)** Hojas *C. officinalis*.

d) *Cinchona macrocalyx* Pav. Ex DC. (SP3)

Descripción: *Cinchona macrocalyx* se caracteriza por hojas elípticas con base cuneada y ápice obtuso, ejes de inflorescencia moderadamente a densamente grisáceos o pardosos (Huaman *et al*, 2019).

Distribución y Hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los bosques nubosos de los distritos de a) Molinopampa y Leimebamba de la provincia de Chachapoyas; b) Cuispes, Pomacochas, Yambrasbamba, Jumbilla de la provincia de Bongará; c) San Nicolás y Omia de la provincia de Rodríguez de Mendoza; y d) Cruzpata, provincia de Luya, entre las altitudes de 1278-2941 m.s.n.m. de la región Amazonas (Coordenadas: Este: 190756 Norte: 9253724; Este: 204672 Norte: 9309941; Este: 176696 Norte: 9343281; Este: 179986 Norte: 9353086; Este: 172446 Norte: 9378139; Este: 181476 Norte: 9352767; Este: 229300 Norte: 9290020; Este: 824718 Norte: 9317203; Este: 236730 Norte:

9283519) (IC-12; IC-11; IC-37; IC-41; IC-42; IC-50; IC-44; IC-45; IC-14; IC-5; IC-26; IC-25; IC-4).

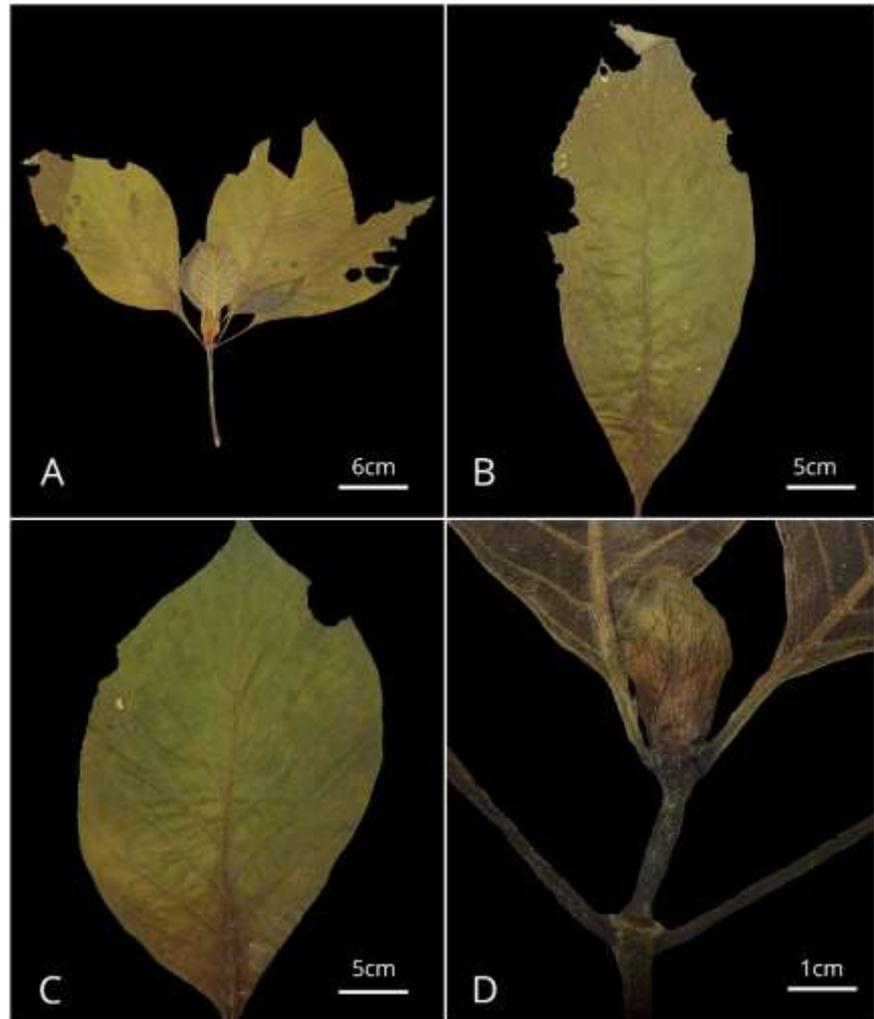


Figura 14. Morfología de *C. macrocalyx* (IC-43). **A, B, C)** hojas elípticas con base cuneada y ápice obtuso. **D)** Yema axilar.

Nota: *C. macrocalyx* también se ha registrado en otras regiones del Perú, tales como a) Cerro el Paramillo de Pomahuaca, región Cajamarca, a una elevación de 2670 m.s.n.m, (MO-21844415); b) Distrito de Chalaco, provincia de Morropón, región Piura, entre las altitudes de 2200-2750 m.s.n.m (MO-1509565); c) Sector Abra-Villa Rica, provincia de Oxapampa a una altitud de 2365 m.s.n.m (MO-1664030); d) Sector Milpo, distrito de Huancabamba, provincia de

Oxapampa, región de Pasco a una altitud de 2900 m.s.n.m (MO-1664029); e) Provincia de Mariscal, región San Martín, entre las altitudes de 2600-2850 m.s.n.m (MO-1508548) (Missouri Botanical Garden Herbarium).



Figura 15. Especímenes *C. macrocalyx*. **A)** Especimen de *C. macrocalyx* Leimebamba-Amazonas-Perú (4473-AD), depositado en el Herbario Forestal Universidad Agraria la Molina (MOL). **B)** Especimen de *C. macrocalyx* San Martín-Perú (MO-1508548), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium.

e) *Cinchona pitayensis* Wedd. (SP4)

Descripción: *Cinchona pitayensis* se caracteriza por sus estípulas grandes y ovadas, inflorescencia cuyo eje remata en una flor, hojas simples, opuestas y decusadas, flores en panículas más pequeñas de hasta 15cm de longitud (Zeballos, 1989).

Distribución y hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los bosques nubosos del anexo de Tocuya, distrito de Omia, provincia de Rodríguez de Mendoza, entre las altitudes de

1325-1400 m.s.n.m de la región Amazonas (Coordenadas Este: 221309 Norte: 9284252; Este: 238311 Norte: 9283660) (IC-2; IC-3).

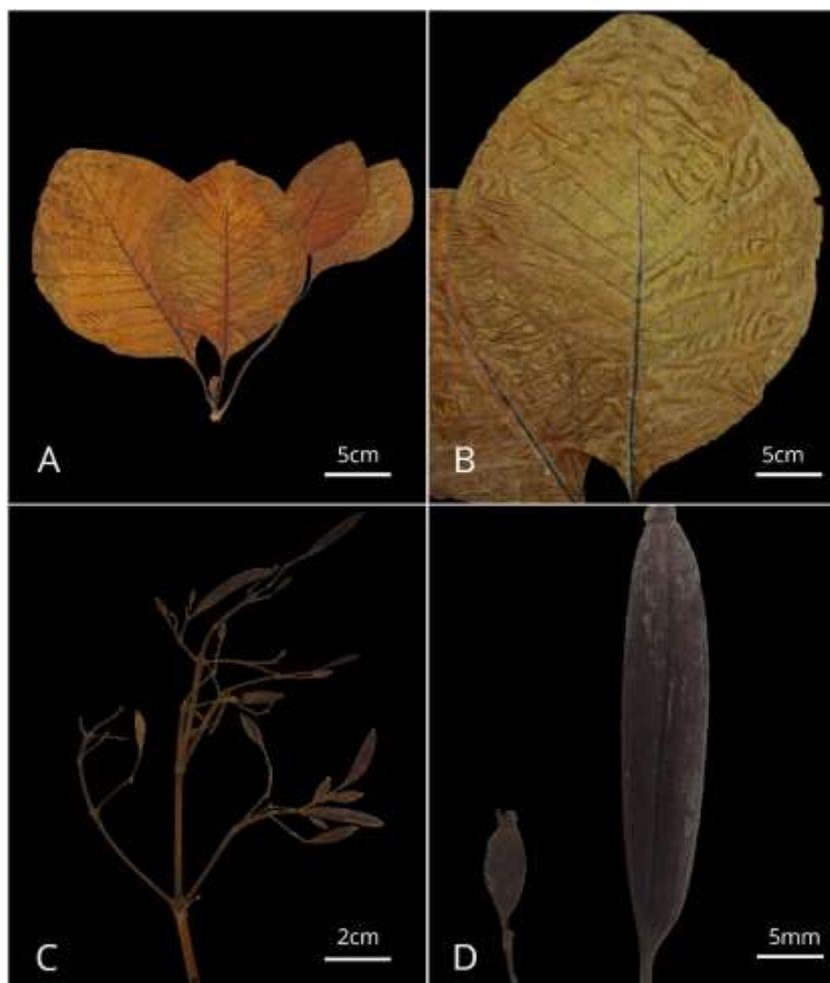


Figura 16. Morfología de *C. pitayensis* (IC-3). **A, B)** hojas simples, opuestas y decusadas. **C)** Inflorescencia **D)** Flor.

Nota: *C. pitayensis* también se ha registrado en otras regiones del Perú, como en Piura y Cajamarca a 2300 m.s.n.m, y en la provincia de Oxapampa, región Pasco, a una altitud de 3110 m.s.n.m (MO-16664904, MO-2124974) (Missouri Botanical Garden Herbarium). No obstante, no existe mucha información de esta especie (Zeballos, 1989).



Figura 17. Especímenes de *C. pitayensis*. **A)** Especímen de *C. pitayensis* colectado en Ecuador (MO-1509605), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. **B)** Especímen de *C. pitayensis* colectado en Ecuador (Barcode 02364581), depositado en Herbario Nacional de EE. UU., Departamento de Botánica, NMNH, Institución Smithsonian.

f) *Condaminea* sp.

Descripción: *Condaminea* sp. se caracteriza por sus estípulas inter e intrapeciolares, profundamente divididas, lámina coriácea, glabra, ampliamente obovado-elíptica, inflorescencia terminal, no frondosa, paniculada corimbosa, presenta flores de tamaño mediano (2-3,5 cm de longitud) (Cortés, 2009).

Distribución y hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los bosques nubosos del anexo de La Perla del Imaza, distrito de Yambrasbamba, provincia de Bongará, región Amazonas, Perú (Coordenadas Este: 170822 Norte: 9381601) a una altitud de 1768 m.s.n.m. (IC-9).



Figura 18. Morfología de *Condaminea* sp. (IC-9). **A)** Hojas elíptico-oblongas. **B)** Inflorescencia en corimbos. **C)** Panículas terminales. **D)** Frutos en cápsulas.

Nota: El género *Condaminea* contiene 11 especies (The Plant List, 2010) de las cuales, cinco están registradas en Perú. *Condaminea corymbosa* (Ruiz & Pav.) DC. se encuentra distribuida en a) la región de San Martín (MO-1508970), entre los 900-1000 m.s.n.m; b) provincia de Bagua, en la región Amazonas (MO-1104647, MO-1104648) a los 320 m.s.n.m; c) Provincia de Oxapampa, en la región Pasco (MO-1103130, MO-2184043), entre los 1050-1900 m.s.n.m; d) Parque Nacional del Manu, en la región de Madre de Dios (MO-716613), a los 400 m.s.n.m; e) Provincia de San Ignacio, en la región Cajamarca (MO-2081928), a los 1150 m.s.n.m.

Condaminea elegans Delprete se encuentra distribuida solo en la región Ucayali, Provincia de Coronel Portillo (MO-2865094), a 220 m.s.n.m. *Condaminea macrophylla* Poepp. & Endl. se encuentra distribuida en el distrito de Yurimaguas, región de Loreto. No se conoce localidad específica en Perú de los reportes de *Condaminea microcarpa* (Ruiz & Pav.) DC y *Condaminea venosa* (Ruiz & Pav.) DC. (Missouri Botanical Garden Herbarium).



Figura 19. Especímenes de *Condaminea* sp. **A)** Especímen de *Condaminea corymbosa* colectado en Oxapampa-Pasco-Perú (MO-1103130), depositado en el Missouri Botanical Garden Herbarium. **B)** Hojas y flor de *Condaminea* Perú (Vásquez Martínez – 34450).

g) *Elaeagia* sp.

Descripción: *Elaeagia* sp. se caracteriza por estípulas con mayor frecuencia intrapeciolares y fusionadas a los peciolas, lámina elíptica, obovada u oblongada, cartácea o coriácea y venación conspicua, inflorescencia terminal paniculada, generalmente grande y muy ramificada, presenta flores pequeñas a diminutas (menor de 1cm de longitud) (Mendoza & Aguilar, 2018).

Distribución y hábitat: Los especímenes estudiados de esta especie provienen de los anexos a) La Perla del Imaza, distrito de Yambrasbamba (Coordenadas Este: 170048 Norte: 9382382; Este: 170822 Norte: 9381601); y b) anexo de las Palmas distrito de Jumbilla (Coordenadas Este: 181898 Norte: 9353112) y anexo de Nuevo Gualulo distrito de Pomacochas (Coordenadas Este: 180385 Norte: 9353272; Este: 176419 Norte: 9353347). Ambos anexos de los bosques nubosos de la provincia de Bongará, región Amazonas-Perú entre las altitudes de 1649 a 2483 m.s.n.m (IC-7; IC-10; IC-35; IC-40; IC-38).

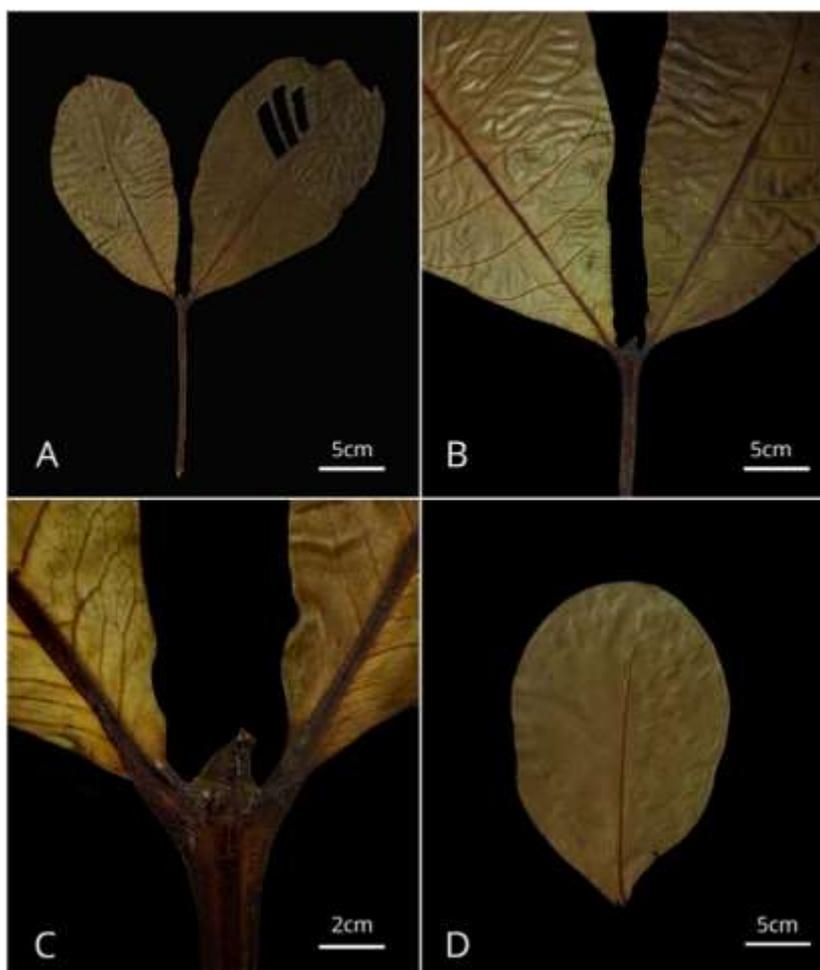


Figura 20. Morfología de *Elaeagia sp.* (IC-7). **A)** Hojas simples y opuestas obovadas. **B)** Bordes enteros y base ligeramente cordada. **C)** Yema axilar. **D)** Hoja con nervaduras secundarias.

Nota: El género *Elaeagia* contiene 30 especies (The Plant List, 2010) de las cuales cinco están registradas en el Perú. *Elaeagia mariae* Wedd se encuentra distribuida en las regiones de a) Cusco, provincia de La Convención (MO-2466911), a 2300 m.s.n.m; b) región Pasco, provincia de Oxapampa (MO-2466473, MO-2466474), a 1459 m.s.n.m. *Elaeagia mollis* Rusby se encuentra distribuida en a) región Puno (MO-1562563), entre los 500-1000 m.s.n.m.; b) Provincia de Satipo en la región Junín (MO-2531992), a 1346 m.s.n.m. *Elaeagia pastoensis* L.E. Mora se encuentra distribuida en a) Provincia de Oxapampa, región Pasco, entre los 1188-1207 m.s.n.m.; b) Provincia de Condorcanqui, región Amazonas, a 1345 m.s.n.m. *Elaeagia subspicata* Standl se encuentra distribuida en a) Provincia de Maynas, región de Loreto (MO-1103543), a 140 m.s.n.m.; b) Provincia de Bagua, región Amazonas (MO-2183855), a 480 m.s.n.m. *Elaeagia utilis* se encuentra distribuida en a) Provincia de Oxapampa, región Pasco (MO-1103113, MO-716678), entre los 2150-2350 m.s.n.m.; b) Provincia de La Convención, región Cusco (MO-2466912), a los 2300 m.s.n.m. (Missouri Botanical Garden Herbarium).



Figura 21. Especímenes de *Elaeagia* sp. **A)** Espécimen de *Elaeagia* sp. colectado en Ecuador (Quizhpe, Wilson - 1697), depositado en el herbario de la Universidad Nacional de Loja. **B)** Espécimen de *Elaeagia obovata* La Paz-Bolivia (MO-716680-Isotipo) (Missouri Botanical Garden Herbarium).

3.2. Distribución de *Cinchona*

En el presente estudio se identificaron cuatro especies del género *Cinchona* a nivel molecular, *C. pubescens*, *C. officinalis*, *C. macrocalyx* y *C. pitayensis*. *C. pubescens* se reportó en el distrito de San Jerónimo, provincia de Luya; *C. officinalis* estuvo conformado por especímenes de los distritos de San Jerónimo, Conila y María de la provincia de Luya. *C. macrocalyx* está conformado por especímenes de los distritos de Molinopampa y Leimebamba de la provincia de Chachapoyas, Cuispes, Pomacochas, Yambrasbamba y Jumbilla de la provincia de Bongará, San Nicolás y Omia de la provincia de Rodríguez de Mendoza y Cruzpata de la provincia de Luya. *C. pitayensis* lo conforman especímenes del distrito de Omia en la provincia de Rodríguez de Mendoza. Morfológicamente, estas especies pueden ser diferenciadas en caracteres relacionado a la hoja, flor, fruto y semilla (Tabla 6). *C. pubescens* se

caracteriza en tener hojas con base obtusa, con nervadura pinnatinervia curva, domatia ausente, cáliz de 8-12 mm de largo, una longitud de cápsula de 13-41 x 5-7 mm, además de un endocarpo de consistencia cartáceo y semillas de 6.9-12 x 2.1-2.8 mm de tamaño. *C. officinalis* presenta características de hojas con base obtusa y nervadura pinnatinervia recta-curva, domatia presente y proximal, un cáliz de 4 mm de longitud, cápsula de 8-25 x 4-8 mm de longitud, además de una consistencia de endocarpo leñoso y semillas de 3-8 mm de largo. *C. macrocalyx* presenta hojas con base cuneada y nervadura pubescente, domatia ausente, cáliz de 2.8-4.8 mm de largo, longitud de cápsula de 10-47 x 5-12 mm con una consistencia de endocarpo leñoso y semillas de 8-10 x 2.9-3.5 mm. *C. pitayensis* se diferencia por presentar hojas con borde cuneado y nervaduras pubescentes, además de ausencia de domatia, tamaño de cáliz de 3.5-6 mm de largo, una longitud de cápsula de 9-24 x 6-9 mm, endocarpo de consistencia leñosa y semillas de 5-7 x 2.7-4.4 mm de tamaño.

Adicionalmente, se observó que la semejanza morfológica entre *Cinchona* y otros géneros puede llevar a confusiones y malas identificaciones. Esto debido a que especímenes colectados en la provincia de Bongará (distritos de Yambrasbamba, Jumbilla y Pomacochas), e identificados como *Cinchona*, resultaron ser *Landenbergia oblongifolia*, *Condaminea* sp. y *Elaeagia* sp, especies ya registradas en regiones cercanas como San Martín, Loreto y Huánuco (Okunade *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2017 & Chilquillo *et al.*, 2019, Delprete, 2020). *Cinchona* se diferencia de *Landenbergia* en el tamaño de las hojas, forma y tamaño de las semillas (Tabla 3). En *Cinchona* las hojas miden 8-29 x 5-20 cm, mientras que en *Landenbergia*, *Condaminea* y *Elaeagia*, las hojas miden 1.2 x 4.1.5 cm, 28-33 x 11-13 cm y 5.6-15.1 x 2.8-6.6 cm, respectivamente. La semilla de *Cinchona* es dentada o fimbriada y mide 10-12 mm; de *Landenbergia*, es aplanada, oblongo-fusiformes, de 11,5 x 4.1 mm; de *Elaeagia*, son cuneadas o irregularmente trapezoidales, de 0.8-1.2 mm; y las semillas en *Condaminea* miden 6-9 x 1.5-2.5 mm. *Cinchona* también se diferencia de *Condaminea* por la forma de las estípulas y capsula. En *Cinchona*, las estípulas son ovadas y la capsula es oblongo-lanceolada, mientras que en *Condaminea*, las estípulas son intrapeciolares oblongo y elípticas y la capsula obovoidea (Tabla 3).

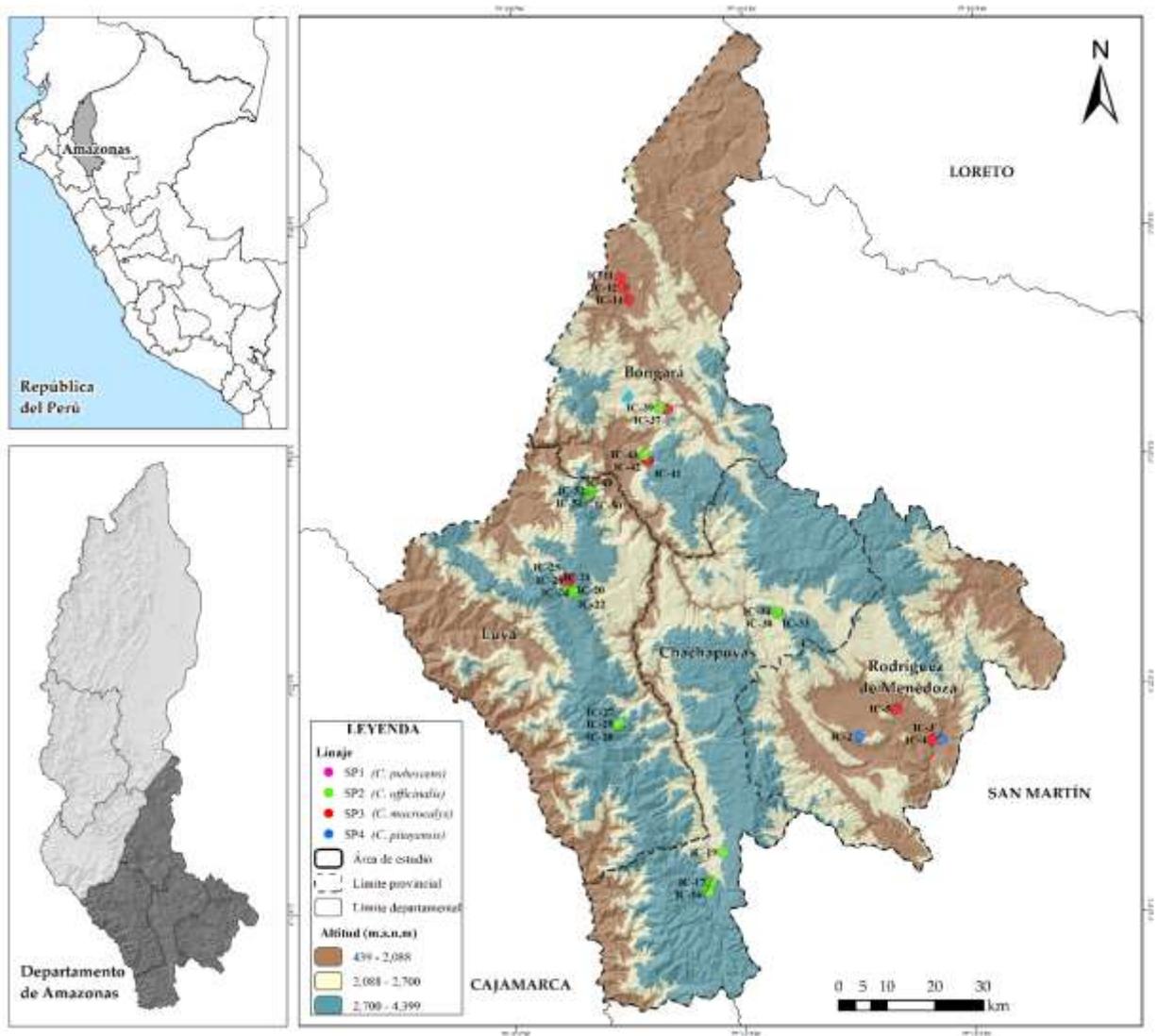


Figura 22. Distribución de especies del género *Cinchona* en las provincias de Bongará, Luya, Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza, región de Amazonas.

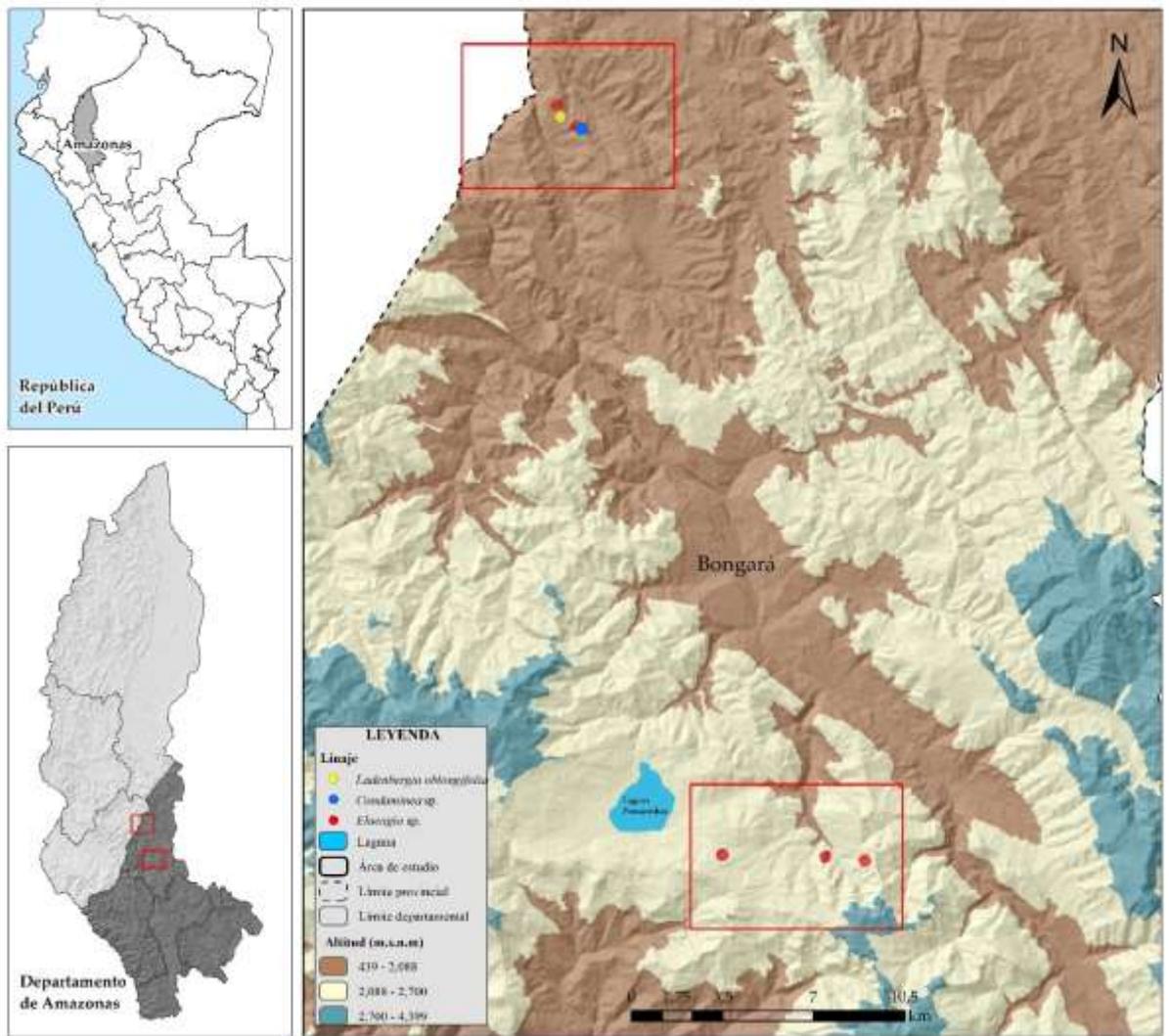


Figura 23. Distribución de especies de los géneros *Ladenbergia*, *Condaminea* y *Elaeagia* identificados en la provincia de Bongará, región de Amazonas.

Con fines de facilitar la identificación de las especies de *Cinchona* encontradas en este estudio, se elaboró la siguiente clave taxonómica:

Clave taxonómica para especies del género *Cinchona*

- 1a. Base de la hoja obtusa.....**2a, 2b**
- 1b. Base de la hoja cuneada.....**2c**
 - 2.a Nervadura pinnatinervia curva.....**3a**
 - 2.b Nervadura pinnatinervia recta-curva.....**3b**
 - 2c. Nervadura pubescente.....**3a**
- 3a. Domatia ausente.....**4a, 4b, 4c**
- 3b. Domatia presente.....**5b**
 - 4a. Cáliz de 8-12 mm de largo.....**5a**
 - 4b. Cáliz de 2.8-4.8 mm de largo.....**5c**
 - 4c. Cáliz de 3.5-6mm de largo.....**5d**
- 5a. Cápsula de 13-41x5-7 mm de longitud.....**6a**
- 5b. Cápsula de 8-25x4-8 mm de longitud.....**7b**
- 5c. Cápsula de 10-47x5-12 mm de longitud.....**6b**
- 5d. Cápsula de 9-24x6-9 mm de longitud.....**6c**
 - 6a. Semillas de 6.9-12x2.1-2.8 mm de longitud.....**7a**
 - 6b. Semillas de 8-10x2.9-3.5 mm de longitud.....***C. macrocalyx***
 - 6c. Semillas de 5-7x2.7-4.4 mm de longitud.....***C. pitayensis***
- 7a. Consistencia del endocarpo cartáceo.....***C. pubescens***
- 7b. Consistencia del endocarpo leñoso.....***C. officinalis***

IV. DISCUSIÓN

El Perú es el segundo país con mayor cobertura forestal en América Latina y el noveno en el mundo (FAO, 2015), destacando más de 73 millones de hectáreas de bosques y más de 20375 especies de flora (MINAM, 2014). Los rasgos morfológicos de los recursos fitogenéticos permiten determinar el conjunto de caracteres que pueden ser altamente heredables, fácilmente observables y expresables (Hernández, 2013). No obstante, muchas características morfológicas también exhiben similitudes poco diferenciables en algunos rasgos entre especies del mismo género (Meza *et al.*, 2014).

La identificación correcta de una planta de una manera rápida, repetible y confiable es de suma importancia (Kress, 2017). Al combinar las fortalezas de la genética molecular, las tecnologías de secuenciación y la bioinformática, el DNA Barcoding ofrece un medio muy rápido y preciso para reconocer especies previamente conocidas, descritas y nombradas y así poder recuperar información sobre ellas (Cowan *et al.*, 2006). Esto es posible mediante el empleo de regiones genéticas en el genoma plastidial conformado por secuencias cortas de ADN de entre 400 y 800 pares de bases de largo (Hebert *et al.*, 2003; Kress, 2005). En el presente estudio, se usaron los genes plastidiales *rbcL* y *matK* para determinar la diversidad de especies de *Cinchona* en la región Amazonas. Análisis preliminares mostraron que los árboles filogenéticos generados para los genes individuales *rbcL* y *matK* no presentaron congruencia entre sí, debido principalmente a sus diferentes tasas de mutación y divergencia reciente en la evolución (Kress, 2005). Debido a esto, se realizaron análisis concatenados de estos dos marcadores para mejorar la resolución del análisis filogenético y obtener resultados mejor soportados (Dong *et al.*, 2012) (Figura 6 y 7).

Varios estudios morfológicos han reportado especies del género *Cinchona* a lo largo del Perú. Gomez *et al.*, (2016) reportaron tres especies, *C. officinalis*, *C. pubescens*, *C. micrantha*, en los bosques de neblina del distrito de Kañaris-Lambayeque. Fernández (2017) reportó cinco especies dentro del área de conservación municipal Bosque Huamantanga, Jaén-Perú: *C. glandulifera*, *C. micrantha*, *C. pubescens*, *Cinchona* aff. *pubescens* Vahl., *C. scrobiculata* Bonpl. Jiménez (2019) reportó *C. pubescens*, *C. parabolica*, *C. macrocalyx*, dentro del área de conservación privada Huaricancha, distrito de Sónдор, Piura; y sólo *C. officinalis* en su zona de amortiguamiento.

Huaman *et al.*, (2019) realizaron investigaciones sobre los aspectos taxonómicos y el estado actual del árbol de la quina en el norte del Perú (Cajamarca, Amazonas, San Martín, Piura y Huánuco), y concluyeron que los caracteres morfológicos como el margen de la semilla, la forma del domacio y la consistencia del endocarpo del fruto fueron caracteres morfológicos que ayudaron a distinguir *C. officinalis* de otras especies. Sin embargo, los caracteres de medida (morfométricos) aportaron poco en la diferenciación taxonómica, debido a que las poblaciones de las especies en distintas localidades presentaron alta plasticidad fenotípica de adaptación según las condiciones ambientales de cada localidad.

Estado de conservación de *Cinchona*

Según IUCN (2020), existen cinco especies de *Cinchona* catalogadas en tres estados de conservación: menor preocupación, casi amenazada y vulnerable, no obstante, la mayoría de especies carece de un estado de conservación. Las especies catalogadas como “Vulnerables” son *C. officinalis*, *C. pubescens* y *C. pyrifolia*, ya que en estas especies se especifica un continuo declive de individuos maduros relacionados principalmente a la destrucción de su hábitat con actividades como la agricultura y ganadería extensiva. *C. capulí* está catalogada como “casi amenazada” principalmente por la ampliación de la frontera agrícola y la minería, mientras que *C. calisaya* está catalogada como de “menor preocupación”. Por otro lado, el Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador (León, *et al.*, 2011) cataloga a *C. lucumifolia* como “vulnerable” debido a la deforestación, ampliación de la frontera agrícola y los asentamientos poblaciones; y a *C. mutisii* como “Peligro crítico” ya que sólo existe una sola población en el Parque Nacional Podocarpus (Ecuador), cuya distribución, además, se encuentra restringida y amenazada por la minería y la tala (Valencia *et al.*, 2000).

Importancia del DNA barcoding en la conservación y el manejo sostenible

La identificación precisa de las especies es importante para su protección y conservación (Liu *et al.*, 2017), además de ser la parte fundamental del reconocimiento y descripción de la biodiversidad (Jinbo *et al.*, 2011). A medida que ha aumentado el interés por la biodiversidad en los campos de ecología, biología evolutiva, agricultura y economía, entre otros, la identificación precisa de las especies ha cobrado más importancia (Blaxter, 2003). El DNA barcoding es una herramienta

importante en la caracterización y el monitoreo de la vida silvestre, además de ayudar a definir la distribución y extensión geográfica de las especies, sobre todo de las especies vulnerables o en peligro de extinción (Vargas *et al.*, 2009, Trivedi *et al.*, 2016).

Por otro lado, el uso del DNA barcoding puede contribuir a evaluar el impacto de las áreas naturales protegidas y las políticas de conservación en la preservación de la biodiversidad, ya que la pérdida de esta misma es uno de los mayores problemas que enfrenta la sociedad moderna junto con el deterioro de los recursos y servicios relacionados con la biodiversidad (Krishnamurthy & Francis, 2012). Tener la seguridad en indicadores de diversidad, valor y riqueza de especies es fundamental para diseñar y priorizar áreas de conservación (Carter, 2007).

La diversidad filogenética es un indicador que puede informar las estrategias de conservación al ignorar los tediosos recuentos de especies y al utilizar linajes evolutivos (filogenias) para impulsar las predicciones sobre los patrones de biodiversidad (Mitchell, 2008). Así lo argumentan Faith & Williams (2005), quienes mencionan que la contribución más significativa del DNA barcoding a los esfuerzos de conservación es su función para mejorar y acelerar las evaluaciones de la diversidad filogenética. Es así que, las evaluaciones de diversidad filogenética (DF) promueven una integración de bases de datos de DNA barcoding, basadas en las bases de datos web (como iBOL y CBOL), y herramientas de análisis de DF para producir cálculos filogenéticos sólidos que puedan informar la política de conservación (Faith & Baker 2006).

Actualmente, el DNA barcoding es usado con fines aplicativos en diversas áreas (agricultura, salud, criminalística), como, por ejemplo, investigar la autenticidad de los alimentos, identificar parásitos, vectores, plagas de insectos y depredadores, monitorear el comercio ilegal de animales y sus productos, e identificar insectos de importancia forense (Pérez & Quezada, 2013).

La identificación de especies a partir de DNA barcoding requiere de una gran base de datos de referencia que permita asignar secuencias de procedencia desconocida a secuencias de organismos previamente descritos con una alta probabilidad de acierto (Hajibabaei *et al.*, 2005; Ratnasingham & Hebert, 2007). Sin embargo, a esto se le suma su costo ligeramente elevado (Vilchez & Alonso, 2009), y la capacitación

técnica para seguir protocolos estandarizados, conocimiento de equipos y reactivos, y otras metodologías que dificultan la transferencia de expertos a usuarios finales en los laboratorios (Pfaller, 2001). Es por esto que, al ser una línea de investigación básicamente desconocida para las instituciones del estado responsables de promover y generar bioconocimiento, es difícil la asignación de financiamiento y presupuesto de manera específica a proyectos que permitan generar “barcodes” de la vida silvestre en el Perú, presentando así limitaciones que complican el desarrollo y avance de la ciencia (Altamirano & Yáñez, 2016). No obstante, el DNA barcoding tiene el potencial de convertirse en una importante herramienta de apoyo dentro de las políticas para la conservación y las evaluaciones de la biodiversidad en áreas con una gran cantidad de especies de plantas, escasez de taxónomos expertos y descripciones limitadas de la flora (Hartvig *et al.*, 2015).

V. CONCLUSIONES

1. Este estudio, a través del uso de DNA barcodes, confirmó la presencia de cuatro especies del género *Cinchona* (*C. pubescens*, *C. officinalis*, *C. macrocalyx* y *C. pitayensis*) en la región de Amazonas. Además, especímenes que en primera instancia fueron identificadas como *Cinchona*, fueron confirmadas molecularmente como: *Landenbergia oblongifolia*, *Condaminea* sp. y *Elaeagia* sp. Lo que refleja el papel importante que tiene el DNA barcoding en la asignación de especies, complementado al análisis morfológico.
2. El género *Cinchona* puede ser diferenciada de los géneros *Landenbergia*, *Condaminea*, y *Elaeagia* morfológicamente por la forma de las semillas (dentado o fimbriado) y las estípulas grandes y ovadas. Además; morfométricamente, se caracteriza por el tamaño de las hojas que van desde 8-29 x 5-20 cm y el tamaño de las semillas (10-12mm).
3. Las especies de *Cinchona* pueden ser diferenciadas en caracteres morfológicos relacionados a la hoja, flor y semilla, no obstante, los rasgos que presentan mayor eficacia para la identificación, son los caracteres morfométricos, principalmente el tamaño de la hoja, longitud del cáliz y de la semilla, y en algunos casos, el tamaño de las estípulas.
4. Las especies de *Cinchona* abarcadas en este estudio tienen una distribución altitudinal en la región de Amazonas, *C. pubescens* está distribuido a los 2710 m.s.n.m; *C. officinalis*, entre los 2088-4399 m.s.n.m; *C. macrocalyx*, entre los 439-2700 m.s.n.m y *C. pitayensis*, entre los 439-2088 m.s.n.m.
5. El DNA barcoding permite identificar especies de *Cinchona* mediante el empleo de marcadores moleculares y análisis filogenéticos. Sumado a un análisis morfológico, nos da una visión clara en la asignación de especies en los distintos géneros. Por lo que es una herramienta útil al momento de realizar investigación en el área de la biodiversidad.

VI. RECOMENDACIONES

1. Los estudios de diversidad deben incluir datos moleculares que, en combinación con datos morfológicos/anatómicos, biogeográficos, entre otros, proporcionarán una mejor base para estudios enfocados a la preservación y conservación de la diversidad biológica a nivel local, regional, nacional y mundial.
2. En países megadiversos como el nuestro, el desarrollo de bioconocimiento es todavía insuficiente (aunque ésta haya incrementado en los últimos años), como para poder tener datos cuantitativos de la certera riqueza biológica que posee el Perú y dimensionar la relevancia de los procesos bioecológicos y evolutivos en los diferentes ecosistemas. Por lo tanto, el desarrollo consecuente del DNA barcoding es de crucial importancia.
3. Es importante promover la creación de una base de datos nacional de DNA barcodes de libre acceso, que permitan contener cada secuencia de cada espécimen secuenciado, de tal manera que pueda servir de base para las investigaciones futuras relacionadas a caracterizar la biodiversidad del país.
4. Implementar y fomentar políticas que inciten a la creación de proyectos para la colecta de nuevos especímenes y muestras foliares, de las cuales se pueda obtener las secuencias mediante DNA barcoding, ya que infortunadamente la mayoría de colecciones de carácter científica de museos de historia natural y biológica datan de la década de 1980-1990, lo que dificulta la extracción de ADN y su secuenciamiento.
5. Se recomienda complementar la identificación molecular de especies del género *Cinchona* con el uso de otros marcadores moleculares, tales como el intrón *rps16* para una mejor identificación y contrastación de especies dentro del género.
6. Se recomienda aplicar análisis moleculares a otras especies de importancia económica, social y ambiental; u otros relacionados a la preservación y conservación, que estén relacionados a efectos del cambio climático y/o amenazados ante los continuos cambios globales y antropogénicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, M., & Yáñez, P. (2016). El código de barras de ADN (*barcoding*): Una herramienta para la investigación y conservación de la diversidad biológica en el Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 23 (1), 5–13.
- Álvarez, A.J. (2013). El árbol de la calentura. *Boletín Instituto Nacional de Salud*, 19, 214–215.
- Andersson L. (1995). Diversity and origins of Andean Rubiaceae. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*. New York Botanical Garden, New York. 441–450.
- Andersson, L. (1998). A revision of the genus *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Memoirs of New York Botanical Garden* 80, 1–75.
- Andersson, L., & Antonelli, A. (2005). Phylogeny of the Tribe Cinchoneae (Rubiaceae), Its Position in Cinchonoideae, and Description of a New Genus, *Ciliosemina*. *Taxon*, 54 (1), 17.
- Andersson, L. & Persson, C. (1991). Circumscription of the tribe *Cinchoneae* (Rubiaceae) a cladistic approach. *Plant Systematics and Evolution*. 178, 65-94.
- Aymard, G. (2019). Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 43, 234–241.
- Blaxter, M. (2003). Counting angels with DNA. *Nature*, 421, 122–124.
- Bubb, P., May, I., Miles, L., Sayer, J. (2004). *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK
- Buddenhagen, C., Renteria, J., Gardener, M., Wilkinson, S., Soria, M., Yanez, P., Tye, A. & Valle, R. (2004). Control of a highly invasive tree *Cinchona*, in Galápagos. *Weed technology*, 18, 1194–1202
- Caraguay-Yaguana K.A, Eras-Guaman V.H, Gonzalez-Zaruma D.G. (2016). Potencial reproductivo y análisis de calidad de semillas de *Cinchona officinalis* L., provenientes de relictos boscosos en la Provincia de Loja–Ecuador. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18 (3), 271–280.

- Carter, N. (2007). *The politics of the environment: Ideas, Activism, Policy*. Cambridge University Press, Cambridge
- Chilquillo, E.A., Olmos, A. & Albán, J. (2019). *Ladenbergia siranensis (Rubiaceae: Cinchoneae), a new species from the Sira Mountains, Eastern Andes of Central Peru, and the identity of Ladenbergia acutifolia*. *Brittonia*, 71, 166-171.
- Cortés-B., R., Delprete, P. G., & Motley, T. J. (2009). Phylogenetic Placement of the Tribe Retiniphyllae Among the Subfamily Ixoroideae (Rubiaceae)1. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 96 (1), 61–67.
- Cowan, R.S., Chase, M.W., Kress, W.J., Savolainen, V. (2006). 300,000 species to identify: problems, progress, and prospects in DNA barcoding of land plants. *Taxon* 55, 611–616.
- Delprete, P.G. (2020). A new revision of *Capirona* (Rubiaceae, Ixoroideae, Condamineae), with a new combination and additional notes on typification of the names involved. *PHYTOTAXA*, 443 (1), 101–106.
- Dong, W., Liu, J., Yu, J., Wang, L., & Zhou, S. (2012). Highly Variable Chloroplast Markers for Evaluating Plant Phylogeny at Low Taxonomic Levels and for DNA Barcoding. *PLoS ONE*, 7 (4), e35071.
- Edler, D., Klein, J., Antonelli, A., & Silvestro, D. (2019). raxmlGUI 2.0 beta: a graphical interface and toolkit for phylogenetic analyses using RAxML. *bioRxiv*.
- Faith, D.P., Baker, A. (2006) Phylogenetic diversity (PD) and biodiversity conservation: some bioinformatics challenges. *Evolutionary Bioinformatics*, 2, 121–128
- Faith, D.P. & Williams, K, J. (2005) How large-scale DNA Barcoding Programs can boost biodiversity conservation planning: linking phylogenetic diversity (PD) analyses to the Barcode of Life Database (BoLD). Abstract. In: Australian entomological society's 36th AGM and scientific conference/7th invertebrate biodiversity and conservation conference/Australian systematics society, Canberra, Australia, 4–9 December 2005.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). Documento de trabajo de la evaluación de los recursos naturales.

- Fernández, A. M. (2017). Identificación y caracterización del género *Cinchona* en la zona de amortiguamiento del Área de Conservación Municipal-Bosque Huamantanga, Jaén-Perú. Tesis de titulación. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Gentry A. H. (1995). Patterns of Diversity and Floristic Composition in Neotropical Montane Forests. *The New York botanical Garden*, 667.
- Gómez, A., Bearun, L., Gómez, O., & Lllatas, E. (2016). *Las Quinas de los bosques de neblina del distrito de Kañaris-Lambayeque*.
- Hartvig, I., Czako, M., Kjær, E. D., Nielsen, L. R., & Theilade, I. (2015). The Use of DNA Barcoding in Identification and Conservation of Rosewood (*Dalbergia* spp.). *PLOS ONE*, 10 (9), e0138231.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., de Waard, J.R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270, 313–321.
- Hebert, P.D.N. & Gregory, T.R. (2005). The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Systematic Biology*, 54, 852–859.
- Hajibabaei, M., Janzen, D.H., Burns, J.M, Hallwachs, W., Hebert, P.D.N. (2006) DNA barcodes distinguish species of tropical lepidoptera. *PNAS*, 103, 968–971.
- Hernández, V, A. E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2, 1–12.
- Hodge, W. (1947). *Cinchona* Procurement in Latin America. Economic Botany. University of Massachusetts, 229–257.
- Huamán, L., Albán, J. & Chilquillo, E. (2019). Aspectos taxonómicos y avances en el conocimiento del estado actual del Árbol de la Quina (*Cinchona officinalis* L.) en el norte de Perú. *Ecología Aplicada*, 18 (2), 145–153.
- INIA (2018). Estudio silvicultural de la Quina *Cinchona officinalis* L. Obtenido de: <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/887>
- Jinbo, U., Kato, T., & Ito, M. (2011). Current progress in DNA barcoding and future implications for entomology. *Entomological Science*, 14 (2), 107–124.

- Jiménez, T. J. (2019). Especies del género *Cinchona* en el Área de Conservación Privada Huaricancha, distrito de Sóndor-Huancabamba-Piura. Tesis de titulación. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Kress W.J., Wurdack K.J., Zimmer E.A., Weigt L.A., Janzen D.H. (2005). Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 8369–8374.
- Kress, W. J. (2017). Plant DNA barcodes: Applications today and in the future. *Journal of Systematics and Evolution*, 55 (4), 291–307.
- Krishnamurthy, K. P., & Francis, R. A. (2012). A critical review on the utility of DNA barcoding in biodiversity conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21 (8), 1901–1919.
- Lambert, A.B., Humboldt A. von, Laubert, C.J. & Ruiz H. (1821). An illustration of the genus *Cinchona*; comprising descriptions of all the Officinale Peruvian barks, including several new species. Searle. London.
- Lanfear, R., Frandsen, P. B., Wright, A. M., Senfeld, T., & Calcott, B. (2016). PartitionFinder 2: New Methods for Selecting Partitioned Models of Evolution for Molecular and Morphological Phylogenetic Analyses. *Molecular Biology and Evolution*, msw260.
- León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitman, L. Endara, C. Ulloa Ulloa & H. Navarrete (eds.). 2011. Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, 2ª edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Li, D.Z., Gao, L.M., Li, H.T., Wang, H., Ge, X.J., Liu, J.Q., Chen, Z.D., Zhou, S.L., Chen, S.L., Yang, J.B., Fu, C.X., Zeng, C.X., Yan, H.F., Zhu, Y.J., Sun, Y.S., Chen, S.Y., Zhao, L., Wang, K., Yang, T. & Duan, G.W. (2011). Comparative analysis of a large dataset indicates that internal transcribed spacer (ITS) should be incorporated into the core barcode for seed plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 19641–19646.
- Lima, N. R., Moreno, J.A., Eras, V.H., Minchala, J., González-Zaruma, D., Yaguana, M. & Valerozo, C. (2018). “Propagación in Vitro de *Cinchona officinalis* L. a Partir de Semillas.” *Revista de Investigaciones Altoandinas* 20 (2), 169–78.

- Liu, Z.-F., Ci, X.-Q., Li, L., Li, H.-W., Conran, J. G., & Li, J. (2017). DNA barcoding evaluation and implications for phylogenetic relationships in Lauraceae from China. *PLOS ONE*, 12 (4), e0175788.
- Macbride, J. F. (1936). Rubiaceae, Flora of Peru. *Publications of the Field Museum of Natural History, Botanical Series*. 13, 3–261.
- Madsen, J. (2002). Historia cultural de la cascarilla de Loja. En Z. M. Aguirre, *Botánica Austroecuatorial: estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. Quito: Ediciones AbyaYala, 385–399.
- Maldonado, C., Barnes, C. J., Cornett, C., Holmfred, E., Hansen, S. H., Persson, C., Antonelli, A., & Rønsted, N. (2017). Phylogeny predicts the quantity of antimalarial alkaloids within the iconic yellow *Cinchona* bark (Rubiaceae: *Cinchona calisaya*). *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Mendoza, Humberto., & Aguilar, José. (2018). Una nueva especie de barniz de pasto *Elaeagia* (Rubiaceae) de la cordillera Oriental de Colombia. *Biota colombiana*, 19 (1), 3–9.
- Meza, K.E., Lépiz, R., López, J. & Morales, M.M. (2014). Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (*Phaseolus*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (1), 17–28.
- MINAM (2014). Ministerio del Ambiente. Estrategia Nacional de Diversidad Biológica al 2021 (Plan de Acción 2014–2018).
- Mitchell, A. (2008) DNA barcoding demystified. *Aust J Entomol*, 47,169–173.
- Okunade, A. L., Lewis, W. H., Elvin-Lewis, M. P., Casper, S. J., & Goldberg, D. E. (2001). Cinchonidine-derived alkaloids from the bark of the Peruvian *Ladenbergia oblongifolia*. *Fitoterapia*, 72 (6), 717–719.
- Palhares, R. M., Drummond, M. G., Brasil, B. S. A. F., Krettli, A. U., Oliveira, G. C., & Brandão, M. G. L. (2014). The use of an integrated molecular-, chemical- and biological-based approach for promoting the better use and conservation of medicinal species: A case study of Brazilian quinas. *Journal of Ethnopharmacology*, 155 (1), 815–822.

- Pérez, J. A., & Quezada, F. (2013). Genomic Approaches in Marine Biodiversity and Aquaculture. *Biological Research*, 46 (4), 353–361.
- Pérez, P.E., Zárate, R., & Mejía, K. M. (2017). Vegetación y Flora de Alto Huayabamba, Perú. ReseachGate.
- Pfaller, M.A. (2001). Molecular approaches to diagnosing and managing infectious diseases: practicality and costs. *Emerging Infectious Diseases*, 7 (2), 312–8.
- Pino, D., & Taylor, C. (2006). Rubiaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 13 (2), 586–599.
- Raclariu, A.C., Mocan, A., Popa, M.O., Vlase, L., Ichim, M.C., Crisan, G., Brysting, A.K., & De Boer, H.J. (2017). *Veronica officinalis* product authentication using DNA metabarcoding and HPLC-MS reveals widespread adulteration with *Veronica 618 chamaedrys*. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 378.
- Ratnasingham, S., & Hebert, P.D.N. (2007) BOLD: the barcode of life data system (www.barcodinglife.org). *Molecular Ecology Notes*, 7, 355–364.
- Ronquist F, Teslenko M, Van Der Mark P, Ayres D, Darling A, Höhna S, Larget B, Liu L, Suchard MA, Huelsenbeck JP. (2012) MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic Biology* 61, 539–542.
- SINIA (2008). Sistema Nacional de Información Ambiental. Perú: país megadiverso.
- Stell, R., (1982). Flores para el Rey. Ed. del Serbal, Barcelona. 347.
- Sunnucks, P. (2000). Efficient genetic markers for population biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 15 (5), 199–203.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar S. (2013) MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* 30, 2725–2729.
- Tapia, J. (2013). Estudio de factibilidad para la producción orgánica y comercialización de quina (*Cinchona officinalis*) en el Cantón de Loja. Tesis de licenciatura. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Taylor, C.M. (2016). Cinchoneae. Disponible en: <http://www.tropicos.org>

- The Plant List (2010). Version 1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/>
- Torres, E. A., Simões, A. O., Castillo, J. A., & Taylor, C. M. (2017). A New Species of *Ladenbergia* (Cinchoneae: Rubiaceae) from an Andean Tepui in Northeastern Peru. *Systematic Botany*, 42 (4), 964–967.
- Trivedi, S., Aloufi, A. A., Ansari, A. A., & Ghosh, S. K. (2016). Role of DNA barcoding in marine biodiversity assessment and conservation: An update. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23 (2), 161–171.
- Ulloa, C., Acevedo, P., Beck, S., Belgrano, M. Bernal, R., Berry, P., Brako, L., Celis, M., Davidse, G., Gradstein, R., Hokche, O., León, B., León, S., Magill, R., Neill, D., Nee, M., Raven, M., Stimmel, H., Strong, M., Villaseñor, J., Zarucchi, J., Zuloaga, F. & Jørgensen, P. (2017). An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. *Science*, 358(6370), 1614–1617
- Valencia, R., Pitman, N., León, S., & Jørgensen, P. (2000). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador 2000. Publicaciones del Herbario QCA. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Vargas, S. M., Araújo, F.C.F., Santos, F.R., 2009. DNA barcoding of Brazilian sea turtles (Testudines). *Genetics and Molecular Biology*. 32 (3), 608–612.
- Vásquez, J.V., Lápiz, E., Barboza, M.K.Y., Vásquez, S.N. & Quispe, L.M. (2019). Comparación de sustratos en la propagación sexual y asexual del árbol de la quina (*Cinchona officinalis*). *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2 (3), 77–85.
- WCSP (2020). *World Checklist of Selected Plant Families*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://wmsp.science.kew.org/> Retrieved 11 May 2020.
- Yucta, M.F. (2016). Estructura y composición florística asociada al hábitat de crecimiento de *Cinchona officinalis* L. En la provincia de Loja. Tesis Ing. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 144.
- Zhang, Y., Jiang, G.-B., & Wang, R.-J. (2020). *Dimetia brevipetiolata* (Spermacoceae: Rubiaceae): A new species from Guangxi, China. *Phytotaxa*, 428 (1), 43–50.

Zevallos, P.A. (1989). Taxonomía, distribución geográfica y status del Género Cinchona en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.

Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del Departamento de Amazonas; IIAP: Iquitos, Peru, 2010.

ANEXOS

1. Diferenciación morfológica entre *Cinchona*, *Ladenbergia*, *Condaminea* y *Elaeagia*.

Los géneros *Cinchona*, *Ladenbergia*, *Condaminea* y *Elaeagia* son comúnmente conocidos por la población local como “Casarilla”, debido a que poseen similitudes en la morfología general de las hojas. Un ejemplo de ello se observa en la forma generalmente ovadas, obovadas, con ápice agudo o acuminado, haz glabro, mechón domatia ausente (Zeballos, 1989; Andersson, 1998), generando así una identificación errónea y la confusión entre dichos géneros, sobre todo en los géneros *Cinchona* y *Ladenbergia*, quienes, además, presentan una estrecha relación monofilética (Andersson & Antonelli, 2005). Sin embargo, estos géneros pueden ser distinguidos por las características de las hojas, flores y semillas (Zeballos, 1998; Mendoza & Aguilar, 2018; Delprete, 2020) (Tabla S1).

Tabla S1. Tabla comparativa entre los géneros *Ladenbergia*, *Cinchona*, *Condaminea* y *Elaeagia*. Se resalta en gris caracteres diagnóstico para diferenciar estos géneros.

Género		<i>Ladenbergia</i>	<i>Cinchona</i>	<i>Condaminea</i>	<i>Elaeagia</i>
Nombre común		Cascarilla amarilla, cascarilla azahar hembra, quina roja	Cascarilla, c. colorada, c. amarilla, quina blanca	Cascarilla masha, vare candela, arepero	Palo de cera, palo María, cascarilla, barniz de pasto
Árbol	Altura	5-7 m	8-12 m	4-7 m	2-7 m
	Fuste	20-40 cm diámetro	18-28 cm cilíndrico irregular	10 cm	5-14 cm
	Ramificación	–	Simpodial	Simpodial	–
	Copa	Amplia	Globosa irregular	Amplia	Amplia
Corteza	Externa	Negra fisurada	Plomizo-gris o marrón plumizo, apariencia fisurada	Marrón oscuro	Gris
	Interna	–	Color rojizo, rojizo amarillento, textura palizada	Arenosa al tacto, color crema, inodora, sabor amargo	–
	Lenticela	–	Si	–	–

Hojas	Morfología	Opuestas, ovadas-lanceoladas	Simples, opuestas y decusadas	Elíptica a ovadas, obovadas	Ovobada, delgada cariácea
	Largo	10.2 cm	8-29 cm	29-33 cm	5.6-15.1 cm
	Ancho	4.1-5 cm	5-20 cm	11-13 cm	2.8-6.6 cm
	Ápice	Agudo o acuminado	Agudo o acuminado	Agudo	Obtuso a corto acuminado
	Base	Aguda	Obtusa	Auriculada	Aguda a atenuada
	Borde	–	Sinuado	Revoluto y ondulado	–
	Nervadura	Débilmente broquidódromo	Pinnatinervia curva	Puberulenta	Pinnada
	Tricomas	–	2mm largo	–	–
	Haz	Glabro	Glabro	Glabro	–
	Estípulas	Fundidas a la base	Grandes y ovadas	Intrapeciolas, oblongo-elípticas	Oblongas
	Domatia	Mechón domatia ausente	Mechón domatia	Mechón domatia y también ausente	Mechon domatia
Flores	Inflorescencia	Inflorescencia corimbo	–	Inflorescencia corimbo tirsoide	Inflorescencia terminal
	Ramificación inflorescencia	Paniculada	–	Paniculada piramidal	Paniculada
	Panículas	Si	Si, 15 cm longitud	Si 10-35 x 7-25 cm	Si
	Sexualidad	Hermafrodita	Hermafrodita	–	–
	Simetría	–	Actinomorfa	–	–
	Cáliz	Lóbulos cortos	Gamosépalo	Cupular, lóbulos ampliamente triangulares	Lóbulos oblongo-ovados
	Tamaño caliz	< 5mm largo	–	1.5-2.5 mm largo	4.3-6.2 mm
	Corola	< 15 mm largo carnosa, blanca	Blanca, roja o rosada	25-50 mm largo, semi-carnosa, blanco a blanco crema o rosa	10.2-13 x 12-13.5 mm verde claro o blanca
	Estilo corola	Glabra	–	Glabra	Extremadamente glabra
	Gamopétala	–	Si	–	–
	Estambres	–	Adnatos a la corola	–	Insertos laterales a lóbulos de la corola

Fruto	Dehiscencia	Basipetal	–	–	Fisura central apical
	Longitud cápsula	11-30 mm	–	12-35 mm	9.8-10.2 mm
	Espesor cápsula	40 mm diámetro	–	7-13 mm	9-9.8 mm
	Forma Cápsula	–	Oblongo-lanceolada	Estrechamente obovoidea	–
	Espesor endocarpio	< 0.4 mm	–	–	–
	Glabras	–	1.5-2.5 cm longitud	5-9 mm largo	4.2-5.7 mm
Semillas	Forma	Aplanadas, oblongo-fusiformes	Dentado o fimbriado	Elíptico-oblongo irregular	Cuneadas a irregularmente trapecoidales
	Tamaño	11.5 x 4.1 mm	10-12 mm	6-9 x 1.5-2.5 mm	0.8-1.2 mm
Fuente		Andersson (1997), UNC (2007), Chilquillo et al., (2019), Tropical Research Institute	Zeballos (1989), Starr et al., (2003), Andersson (1998)	Castillo (2007), UNC (2007), Delprete (2020), Tropical Research Institute	Mendoza & Aguilar (2018), UNC (2007), Tropical Research Institute

2. Distribución de *Cinchona*

En la actualidad, existen 25 especies de *Cinchona* taxonómicamente aceptadas (Taylor, 2016; Ulloa *et al.*, 2017), principalmente distribuidas en Bolivia, Colombia, Ecuador, Venezuela, Perú y América Central (Aymard, 2019) (Tabla S2). Transcurrieron más de 100 años para que *Cinchona* y sus géneros afines fuesen debidamente organizados dentro de la tribu *Cinchoneae* (Andersson & Persson, 1991; Andersson, 1995). En el año 1998, se elaboró la monografía del género, en el cual 330 nombres fueron incluidos, muchos de ellos actualmente son sinónimos entre sí (Andersson, 1998). Adicionalmente, es importante mencionar que, de las 18 especies reportadas en el Perú, sólo siete especies tienen como localidad tipo al Perú (Tabla S3).

De las siete especies reportadas en Amazonas (*C. fruticosa*, *C. macrocalyx*, *C. officinalis*, *C. pubescens*, *C. micrantha*, *C. calisaya*, *C. pitayensis*; WCSP, 2020), en este estudio, sólo se encontraron cuatro especies en las provincias de Chachapoyas, Bongará, Luya y Rodríguez de Mendoza: *C. pubescens*, *C. officinalis*, *C. macrocalyx* y *C. pitayensis*, (Figura 6, Figura 7). Estas especies se

diferencian entre sí en atributos relacionados a la hoja (tamaño del peciolo), flores (tamaño del cáliz), fruto (consistencia del endocarpo) y semilla (tamaño de las semillas) (Tabla S4).

Tabla S2. Especies del género *Cinchona* actualmente aceptadas, detallando su respectiva distribución geográfica (Aymard, 2019).

Especies	Países/Regiones					
	América Central	Bolivia	Colombia	Ecuador	Perú	Venezuela
<i>C. antioQUIAE</i> L. Andersson (1998)			X			
<i>C. anderssonii</i> C. D. Maldonado (2017)		X				
<i>C. asperifolia</i> Wedd. (1848)		X				
<i>C. barbacoensis</i> H. Karst. (1859)			X	X		
<i>C. calisaya</i> Wedd. (1948)	X	X	X		X	
<i>C. capuli</i> L. Andersson (1994)			X	X	X	
<i>C. carabayensis</i> Wedd. (1848) = <i>C. calisaya</i> Wedd		X			X	
<i>C. fruticosa</i> L. Andersson (1998)				X	X	
<i>C. glandulifera</i> (Ruiz) Ruiz & Pav. (1802)					X	
<i>C. govana</i> Miq. (1861) = <i>C. pubescens</i> Vahl					X	
<i>C. hirsuta</i> Ruiz & Pav. (1799)		X		X	X	
<i>C. lancifolia</i> Mutis (1793)			X	X		X
<i>C. lucumifolia</i> Pav. ex Lindl. (1838)				X		
<i>C. macrocalyx</i> Pav. ex DC. (1829)		X		X	X	
<i>C. micrantha</i> Ruiz & Pav. (1799)		X			X	
<i>C. mutisii</i> Lamb. (1821)				X	X	
<i>C. nitida</i> Ruiz & Pav. (1799)					X	
<i>C. officinalis</i> L. (1753)				X		
<i>C. parabolica</i> Pav. (1859)				X	X	
<i>C. pitayensis</i> (Wedd.) Wedd. (1849)			X	X	X	
<i>C. pubescens</i> Vahl (1790)	X	X	X	X	X	X
<i>C. pyrifolia</i> L. Andersson (1998)					X	
<i>C. scrobiculata</i> Bonpl. (1808)				X	X	
<i>C. villosa</i> Pav. ex Lindl. (1838)		X		X	X	

Tabla S3. Localidades tipo de las especies de *Cinchona* reportadas en el Perú (Tropicos, 2021)

Especies	Localidad tipo
<i>Cinchona calisaya</i>	Bolivia
<i>Cinchona pubescens</i>	Huánuco, Perú
<i>Cinchona officinalis</i>	Loja, Ecuador
<i>Cinchona macrocalyx</i>	Ecuador
<i>Cinchona pitayensis</i>	Cauca, Colombia
<i>Cinchona capuli</i>	Zamora-Chinchipe, Ecuador
<i>Cinchona carabayensis</i>	Perú
<i>Cinchona fruticosa</i>	Amazonas, Perú
<i>Cinchona grandulifera</i>	Desconocido
<i>Cinchona govana</i>	Perú
<i>Cinchona hirsuta</i>	Perú
<i>Cinchona micrantha</i>	Perú
<i>Cinchona mutisii</i>	Ecuador
<i>Cinchona nitida</i>	Perú
<i>Cinchona parabolica</i>	Ecuador
<i>Cinchona pyrifolia</i>	Huánuco, Perú
<i>Cinchona scrobiculata</i>	Cajamarca, Perú
<i>Cinchona villosa</i>	Desconocido

Tabla S4. Tabla comparativa de especies del género *Cinchona* encontradas en este estudio. Se resalta en gris caracteres diagnóstico para diferenciar estas especies.

Especie		<i>Cinchona pubescens</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Cinchona macrocalyx</i>	<i>Cinchona pitayensis</i>
Nombre común		Cascarilla, cascarilla roja, cascarilla amarilla, quina amarilla, quina blanca, corteza roja	Cascarilla, cascarilla blanca, cascarilla colorada, ichu cascarilla, quina-quina	Cascarilla, cascarilla mulata, cascarilla negra, cascarilla parda	Cascarilla
Árbol	Altura	8-12 m	11-15 m	10-12 m	15 m
	Fuste	18-28 cm cilíndrico irregular	30-40 cm cilíndrico	20 cm	20 cm
	Ramificación	Simpodial	Simpodial	–	–
	Copa	Globosa a globosa irregular	Globosa	–	–
Corteza	Externa	Plomizo gris o marrón plumizo	Marrón oscuro o marrón grisáceo	–	café-verdosa
	Interna	Rojizo, rojo amarillento, sabor amargo ligeramente dulce	Blanco arenoso, oxidación al contacto con el aire tornándose anaranjado rojizo	–	–
	Lenticela	Si, distribuida irregularmente	–	–	–
Hojas	Morfología	Simples, opuestas y decusadas	Simples, opuestas y decusadas; de forma elíptico-oblonga o elíptico-ovada	Elíptica	Elípticas, ovadas u obovadas
	Largo	8-29 cm	8-26.8 cm	4-10 cm	5.1-15 cm
	Ancho	5-20 cm	7-18 cm	2.8-9.6 cm	2.7-8.3 cm
	Pecíolo	1.2-5 cm	2-4.5 cm	0.5-2 cm	0.6-2.3
	Ápice	Agudo o acuminado	Agudo, acuminado, obtuso o redondo	Obtuso	Redondeado a agudo
	Base	Obtusa	Obtusa	Cuneada	Cuneada
	Borde	Sinuado	Entero	–	–
	Nervadura	Pinnatinervia curva	Pinnatinervia recta-curva	Pubescentes	Pubescentes
Tricomas	2 mm largo	–	–	–	

	Haz	Glabros	Glabro o ligeramente pubescente	Glabros	Glabros
	Envés	Pubescente	Pubescencia escasa o abundante de tipo ceroso	Glabros	Glabros
	Estípulas	Grandes y ovadas	Aovadas y caducas	–	–
	Domatia	Ausente	Presente y distinta	Ausente o leve depresión con un penacho de pelos	Ausente o mechón de domatia distinto
Flores	Inflorescencia	Ejes de inflorescencia escasa o densamente pubescentes	Ejes de inflorescencia moderada a densamente pubescentes	Ejes de inflorescencia moderada a densamente pubescentes	Ejes de inflorescencia escasa o moderadamente pubescentes
	Panículas	15 cm longitud	20-25 cm	–	–
	Sexualidad	Hermafrodita	Hermafrodita	–	–
	Simetría	Actinomorfas	Actinomorfas	–	–
	Cáliz	Gamosépalo con 5 dientes cortos	Gamosépalo con 5 lóbulos pequeños	–	–
	Tamaño cáliz	8-12 mm largo	4 mm longitud	2.8-4.8 mm largo	3.5-6 mm largo
	Corola	Blanca, roja o rosada	Blanco-roja	Rojiza	–
	Gamopétala	Si	–	–	–
	Estambres	Adnatos a la corola	Adnatos a la corola	–	–
	Fruto	Dehiscencia	Si	Si	Si
Longitud cápsula		13-41 x 5-7 mm	0.8-2.5 x 0.4-0.8 cm	10-47 x 5-12 mm	9-24 x 6-9 mm
Forma Cápsula		Oblongo-lanceolada	Elipsoide	Elipsoide a subglobosas	Elipsoide a subglobosas
Color cápsula		–	Marrón oscuro	–	–
Consistencia endocarpo		Cartáceo	Leñoso	Leñoso	Leñoso
Glabras		1.5-2.5cm	–	–	–
Semillas	Forma	–	Fusiforme, redondeada por un ala membranosa	–	–
	Tamaño	6.9-12 x 2.1-2.8 mm	0.3-0.8 cm largo	8-10 x 2.9-3.5 mm	5-7 x 2.7-4.4 mm

Fuente	Zeballos (1989)	Zeballos (1989), Huamán et al., (2019)	Huaman et al., (2019), Jiménez (2019), New York Botanical Garden	Tropicos.org, Anderson (1998)
---------------	-----------------	--	--	----------------------------------