

Regiones biogeográficas del género *Cinchona* L. (Rubiaceae- *Cinchoneae*)

Biogeographical regions of the genus *Cinchona* L. (Rubiaceae- *Cinchoneae*)

Carlos E. González-Orozco¹

*¹Doctor en Geografía Física, investigador de la
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
– Agrosavia, Centro de Investigación La Libertad, Km
14 vía Puerto López, Villavicencio, Meta, Colombia.
E-mail: cegonzalez@agrosavia.co
ORCID: 0000-0002-9268-5224*

Resumen

Las regionalizaciones biogeográficas son herramientas útiles para la planificación y manejo de la biodiversidad. Las quinas o chinchonas son un grupo con alto valor sociocultural y medicinal, el cual requiere de una regionalización actualizada. Desafortunadamente, hoy en día las regiones biogeográficas del género *Cinchona* no han sido revisadas, ni formalmente descritas, y en particular, no han sido analizadas usando métodos de recambio de especies. El objetivo de este estudio es identificar y proponer las regiones biogeográficas del género *Cinchona* basadas en un índice de recambio de especies. Se identifican, describen y proponen tres macro regiones biogeográficas del género *Cinchona*: 1- una macro región de las chinchonas a lo largo de todo su rango de distribución; 2- la región de Loja, entre el norte del Perú y el sur del Ecuador; 3- la región del Perú, dividida en cinco subregiones: sur, norte, centro, norte-sur-centro, centro-sur y nueve provincias. Los análisis biogeográficos de este estudio presentan resultados actualizados sobre la biogeografía del género *Cinchona*, los cuales son de gran importancia para la conservación de recursos genéticos nativos, ya que la gran

Historia del artículo

Fecha de recepción:
25-08-2021
Fecha de aceptación:
29-11-2021

DOI: <https://doi.org/10.47374/novcol.2021.v16.1987>

mayoría de sus especies tienen propiedades curativas contra enfermedades tropicales como la malaria.

Palabras clave: Quinas, Nueva Granada, Suramérica, *Cinchona*.

Abstract

Biogeographical regionalization's are important tools to improve the management and knowledge of biodiversity. The cinchonas group is of high relevance for society because of its important socio cultural and medicinal values. Defining the biogeographic regions of *Cinchona* is of great importance. However, to date, the biogeographical regions of *Cinchona* remain undefined. The objective of this study is to identify and propose the biogeographical regions of the genus *Cinchona*. Based on species turnover methods, three macro biogeographical regions of the genus *Cinchona* (1- a macro region of cinchonas along the entire distribution range; 2- Loja region in northern Peru and southern Ecuador; 3- Peru region) five subregions (north, south, central, north-south-central, and central-south) and nine provinces were proposed. In conclusion, the results presented here provides updated information on the biogeography of the genus *Cinchona*, helping to document its importance for conservation of native genetic resources because these species have medicinal properties of use against tropical diseases such as malaria.

Key Words: Quina trees, New Granada, South America, *Cinchona*.

Introducción

Cinchona es un género de árboles neotropicales primordialmente andinos. El género *Cinchona* consiste en 24 especies, las cuales se distribuyen desde el sur de Venezuela hasta Bolivia (Andersson, 1998; Aymard, 2019). Los hábitats principales de las especies son las zonas montañosas de los Andes, pero también se pueden encontrar en las tierras bajas de los bosques del Pacífico de Colombia y Ecuador (Mendoza et al., 2004). Las especies se distribuyen en los hábitats de bosques de niebla de las cordilleras Andinas donde la humedad relativa presenta valores altos y su topografía es muy escarpada. Las alturas donde se encuentran la gran mayoría de especies varían entre 600 y 3.200 msnm (Garmendia, 2017).

Las especies del género *Cinchona* han sido ampliamente colectadas, descritas y documentadas por botánicos de la región tropical y exploradores foráneos en los últimos 300 años (Andersson, 1998). En 1735, el científico francés Charles M. de La Condamine colectó especímenes de *Cinchona* en Loja, Ecuador, elaborando por primera vez la descripción científica del género (La Condamine, 1738). Ese material botánico fue utilizado en Europa por el padre de la botánica taxonómica, Carl Linneaus, en 1753, describiendo por primera vez la especie *Cinchona officinalis* L. En la Nueva Granada, actual territorio de Colombia y Ecuador, desde 1783 hasta 1816, el botánico cartógrafo y astrónomo Francisco José de Caldas (en adelante F. J. Caldas) catalogó la flora de las Quinas

en algunas zonas de la Nueva Granada bajo la dirección del sacerdote y botánico español José Celestino Mutis, médico del virrey Pedro Messía de la Cerda y director de la Real Expedición del Nuevo Reino de Granada, (Mutis, 1957). Uno de los resultados científicos y artísticos de este gran proyecto botánico fue la publicación del volumen 44 sobre las Quinas de la Nueva Granada (Mutis, 1957; Caldas, 1805). F.J. Caldas, junto a los dibujantes de la real expedición botánica, entre ellos el maestro Matiz, hicieron una contribución de gran importancia al estudio de la quinología. Ese grupo de ilustradores botánicos y científicos realizaron la cartografía de las especies de una forma innovadora, mapeando a detalle y con elegancia artística las regiones de las Quinas, de la misma forma como lo hicieron con las regiones de cultivos de Caldas (Nieto Olarte, 2006; González-Orozco & Porcel, 2021a). En la misma época, los botánicos Hipólito Ruiz y José A. Pavón también estudiaron el género *Cinchona* a profundidad, basándose en observaciones de campo en los hábitats originales. En 1807, en la obra *Plantae Aequinoctiales*, el botánico francés Aimé J. A. Bonpland describió cuatro especies del género de Ecuador y Perú. El mismo año, Alexander von Humboldt utilizando el material de J. C. Mutis de Colombia describió cuatro nuevas especies de *Cinchona*.

Las propiedades medicinales de las especies del género *Cinchona* L. comúnmente conocidas como las Quinas, son históricamente reconocidas por su importancia para combatir las fiebres y la

malaria (Marko, 2020; Díaz-Piedrahita, 2010; Pérez Arbeláez, 1947), a través de la molécula química de la Quinina (Feged-Rivadeneira et al., 2018). A pesar de que hay numerosos estudios sobre la historia, biología, taxonomía, genética y usos de los especies del género *Cinchona* (Rusby, 1931; Acosta-Solís, 1947; Hodge, 1950; Percy, 1989; Andersson, 1998; Díaz-Piedrahita, 2003; Mendoza et al., 2004; Albán-Castillo et al., 2015; Maldonado 2016; Taylor, 2016; Garmendia, 2017; Ulloa Ulloa, 2017; Huamán et al., 2019; Aymard, 2019; Fernández-Alonso, 2019; Araujo-Murakami et al., 2020; Albán-Castillo et al., 2020), en la actualidad no existe un análisis actualizado sobre las regiones biogeográficas de toda el área de distribución del género *Cinchona*.

El estudio de la biogeografía es importante para mejorar la conservación de la biodiversidad (Moreira, 1996; Ebach, 2015). Particularmente, aplicar los principios biogeográficos a grupos de importancia forestal como las chinchonas es muy relevante. Sin embargo, existen relativamente pocos estudios sobre la biogeografía del género *Cinchona*. El primer trabajo sobre el tema fue hecho por F.J. Caldas en 1803, el cual identificó cinco regiones geográficas de las quinas entre Quito y Loja en Ecuador, el cual plantea los primeros fundamentos de las regiones biogeográficas de las chinchonas (Caldas, 1966). Las regiones de las quinas propuestas por F.J. Caldas representan una contribución muy significativa, ya que se aplicaron técnicas cartográficas avanzadas para la época, llegando así a un mapeo preciso de las regiones de las chinchonas (González-Orozco et al., 2015). Posterior a

los avances sobre las regiones de las quininas de F. J. Caldas, los progresos en el área de la biogeografía de *Cinchona* han sido limitados. Los estudios más detallados se basaron en descripciones de la distribución de las especies en las revisiones taxonómicas o usos del género *Cinchona*, pero no tienen las regiones biogeográficas del género (Percy, 1989; Andersson, 1998; Taylor, 2016; Garmendia, 2017). Ante este escenario, el presente estudio pretende contribuir a llenar ese vacío de información en la biogeografía del género *Cinchona*, proponiendo una regionalización biogeográfica que denota grupos de taxones que se clasifican dentro de la misma región, debido a que comparten un alto grado de similitud florística (Ebach, 2015; González-Orozco et al., 2013–2014–2014a; González-Orozco, 2021).

Materiales y Método

Base de datos de la distribución de especies

Todos los registros de presencia de las especies de *Cinchona* fueron extraídos de las bases de datos GBIF.org (2020) y BIEN versión 4.1 usando el paquete RBIEN (Maitner, 2018). Los datos de BIEN 4.1 fueron un complemento importante, ya que llenaron zonas de muestreo en áreas poco documentadas por GBIF.

Como es conocido, estas bases de datos presentan limitaciones técnicas y numerosas incertidumbres, tanto taxonómicas como geográficas (Feeley, 2015; Zizka et al., 2020). Debido a la presencia de sesgos, ambas bases de datos pasaron por un

proceso de depuración de datos espaciales y taxonómicos, usando filtros de diferentes tipos. Por ejemplo, se anularon los registros con coordenadas repetidas, se eliminaron registros que no tenían datos de latitud y longitud, se descartaron los registros que estuvieran relacionados a plantaciones forestales y, finalmente, se realizó una corrección taxonómica de sinónimos con base en la lista de especies presentada por Aymard (2019). Inicialmente, la base de datos tenía 2.417 registros; después del proceso de limpieza quedaron un total de 1.121 registros de localidades de presencia de especies de *Cinchona*, los cuales fueron usados para el análisis de las regiones biogeográficas. Esto cubrió la distribución natural en los países de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia (Figura 1).

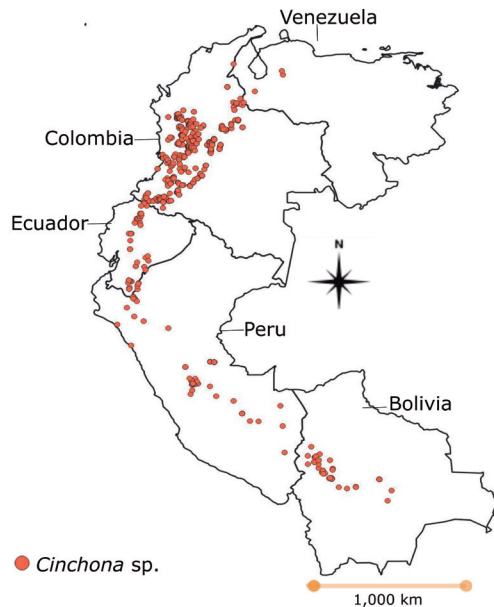


Figura 1. Mapa de la distribución natural de las especies del género *Cinchona*.

De estos puntos de distribución, se observaron 662 en Colombia, 4 en Venezuela, 55 en Ecuador, 229 en Perú, y 159 en Bolivia. Los registros de distribución actual representaron 21 de las 24 especies conocidas y aceptadas taxonómicamente según Aymard (2019) (Tabla 1; Figura 2). Las tres especies faltantes (*C. anderssonii* C. D. Maldonado, *C. carabayensis* Wedd., *C. govana* Miq.) no se encontraban disponibles en las bases de datos globales en el momento del estudio. Debido a que los nombres aceptados del género no han sido revisados recientemente, se tomó la clasificación taxonómica propuesta por Taylor (2016) como una guía de chequeo de los nombres científicos citados por Aymard (2019). En conclusión, aunque esta base de datos no representa la taxonomía más actual revisada sistemáticamente, sí es representativa de la distribución y diversidad de los taxones del género, lo cual constituye una base de datos suficiente para lograr su regionalización. Los datos georreferenciados de la distribución de especies se encuentran disponibles en los anexos de los materiales adicionales.

Figura 2. Mapas de distribución de las 21 especies de *Cinchona* usadas en este estudio. La distribución geográfica actual se puede clasificar en tres grupos: a) especies de amplia distribución, cuya presencia están en al menos cuatro de los cinco países de distribución (Figura 2A); b) un segundo grupo de distribución media, donde las especies están entre dos y cuatro de los cinco países de distribución (Figura 2B); c) finalmente un grupo de distribución restringida, donde las especies son casi exclusivas a un solo país de origen (Figura 2C).

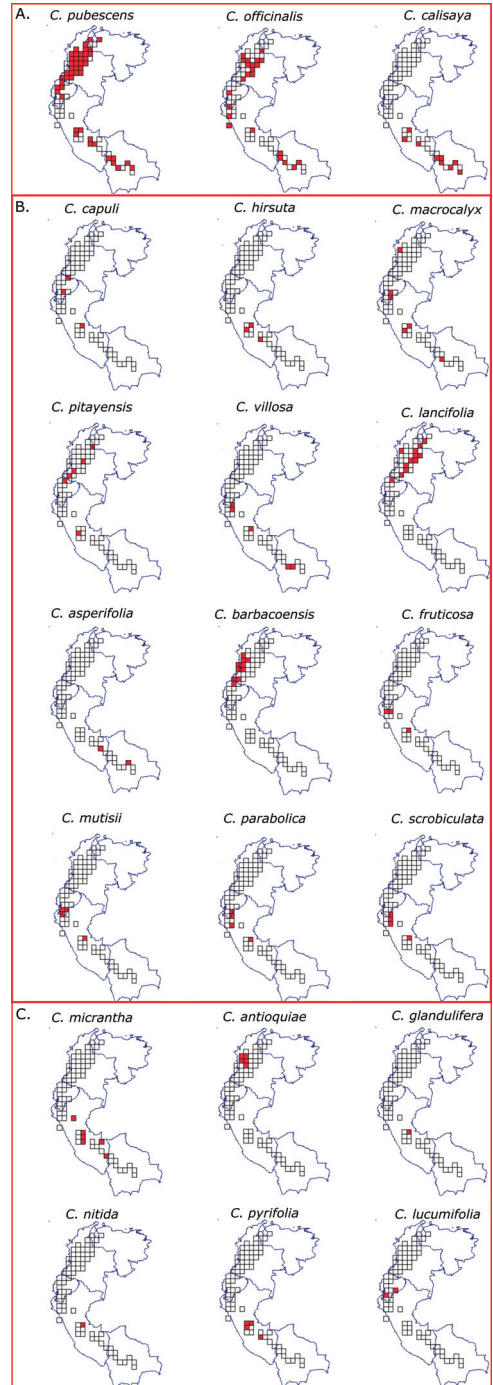


Tabla 1. Especies del género *Cinchona* que fueron usadas en este estudio, con los países donde se ha reportado su presencia basada en la revisión más reciente según Aymard (2019). VE=Venezuela, BO=Bolivia, COL=Colombia, EC=Ecuador y PE=Perú.

Especies	Países				
	VE	BO	COL	EC	PE
<i>Cinchona antioquiæ</i> L.			√		
<i>Cinchona asperifolia</i> Wedd		√			
<i>Cinchona barbacoensis</i> H. Karst.			√	√	
<i>Cinchona calisaya</i> Wedd.		√	√		√
<i>Cinchona capuli</i> L. Andersson			√	√	√
<i>Cinchona fruticosa</i> L.				√	√
<i>Cinchona glandulifera</i> Ruiz & Pav.					√
<i>Cinchona hirsuta</i> Ruiz & Pav.		√		√	√
<i>Cinchona lancifolia</i> Mutis	√		√	√	
<i>Cinchona lucumifolia</i> Pav. ex Lindl.				√	
<i>Cinchona macrocalyx</i> Pav. ex DC.		√		√	√
<i>Cinchona micrantha</i> Ruiz & Pav.		√			√
<i>Cinchona mutisii</i> Lamb.				√	√
<i>Cinchona nitida</i> Ruiz & Pav.					√
<i>Cinchona officinalis</i> L.		√	√	√	√
<i>Cinchona parabolica</i> Pav.				√	√
<i>Cinchona pitayensis</i> (Wedd.) Wedd.			√	√	√
<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	√	√	√	√	√
<i>Cinchona pyrifolia</i> L. Andersson					√
<i>Cinchona scrobiculata</i> Bonpl.				√	√
<i>Cinchona villosa</i> Pav. ex Lindl.		√		√	√

Identificación de las regiones biogeográficas

Con el fin de detectar las regiones biogeográficas, se calculó el índice de recambio de especies conocido como *Sorenson* (Tuomisto, 2010). Este índice usa una matriz de disimilitud para todas las posibles combinaciones de pares de grillas, las cuales son agrupadas por un método de agrupación acorde a su similitud taxonómica y distancia geográfica, las cuales se utilizaron para definir y mapear las regiones biogeográficas (González-Orozco et al., 2013; 2014; 2014a; González-Orozco, 2021; Ebach et al., 2015a). La distancia geográfica se refiere a que, si dos grillas están contiguas y tienen especies comunes, el índice las agrupa como más similares, y si las grillas tienen especies únicas y distantes el índice, las valora como disímiles. Para la agrupación de las regiones se aplicó un método de promedios aritméticos grupales conocido como WPGMA (por sus siglas en inglés) o método de pares grupales ponderado acorde a la media aritmética, el cual crea una clasificación por jerarquías de agrupaciones, creando grupos con mayor similitud de especies.

El método *Sorenson* se refiere a zonas comunes que comparten especies con respecto a su distancia geográfica. Estas regiones se ilustrarán en un mapa y en un dendrograma de distancias con valores entre cero y uno, donde cero se refiere a mayor disimilitud y uno sugiere alta similitud de especies. De esta manera, se podrán diferenciar los grupos jerárquicos acorde a su similitud de especies.

Descripción y definición de las regiones biogeográficas

Las áreas que fueron identificadas como regiones biogeográficas se describieron siguiendo un sistema jerárquico de nomenclatura de áreas geográficas similar a las que se utilizan en la taxonomía de especies. Este método de jerarquía nomenclatural consiste en tres pasos: 1) La asignación del nombre de la macro región por autores y su época; en este caso, la fecha corresponde a la descripción más antigua de las regiones. Por ejemplo, la “Región de LOJA Caldas & Mutis 1795”, se refiere a que Caldas y Mutis en 1795 hicieron las primeras descripciones de las regiones. 2) Descripción del área por medio de una diagnosis en la cual se establece su extensión geográfica y principales características. 3) Finalmente, una sección de anotaciones en la cual se discuten las diferencias con otras áreas.

En esta clasificación biogeográfica se usaron tres niveles jerárquicos: macro regiones, subregiones y provincias. Las macro regiones consisten en un nivel jerárquico superior asignado con base en los valores altos del dendrograma de disimilitud. Las subregiones se identifican como áreas únicas o combinadas de estas, y generalmente son de menor tamaño que las macro regiones. Finalmente, las provincias, las cuales consisten en áreas con un nivel de interrelación taxonómica más cercano entre ellas, con valores bajos del dendrograma de disimilitud. Las provincias no necesariamente son específicas a un solo sitio, sino que pueden poseer varios subgrupos dentro de la subregión o fuera de ella.

Resultados

Se identifican y proponen tres macro regiones biogeográficas del género *Cinchona*: región 1, de las chinchonas; región 2, de Loja; y la región 3, del Perú (Figura 3A). Estos nombres de las macro regiones son dedicados a la memoria de los científicos o de las regiones donde se realizaron sus primeros estudios. La región 1 es la más grande porque cubre toda la distribución original de las especies icónicas actualmente conocidas como *C. officinalis* y *C. pubescens*, y que históricamente fueron reportadas por

F. J. Caldas y Mutis en 1800s (color rojo en Figura 3B). La región 2 representa una zona de transición como lo son las áreas de Loja en el sur de Ecuador y la frontera norte con el Perú (color verde y violeta en Figura 3B). La región 3 es representativa del extremo sur, agrupándose en la región centro-sur del Perú y parte centro-norte de Bolivia (color naranja y amarillo, Figura 3B). Las tres macro regiones fueron subdivididas en cinco subregiones, únicas o agrupadas (sur, norte, centro, norte-sur-centro, centro-sur, Figura 3B) y nueve provincias (Figura 4; Tabla 2).

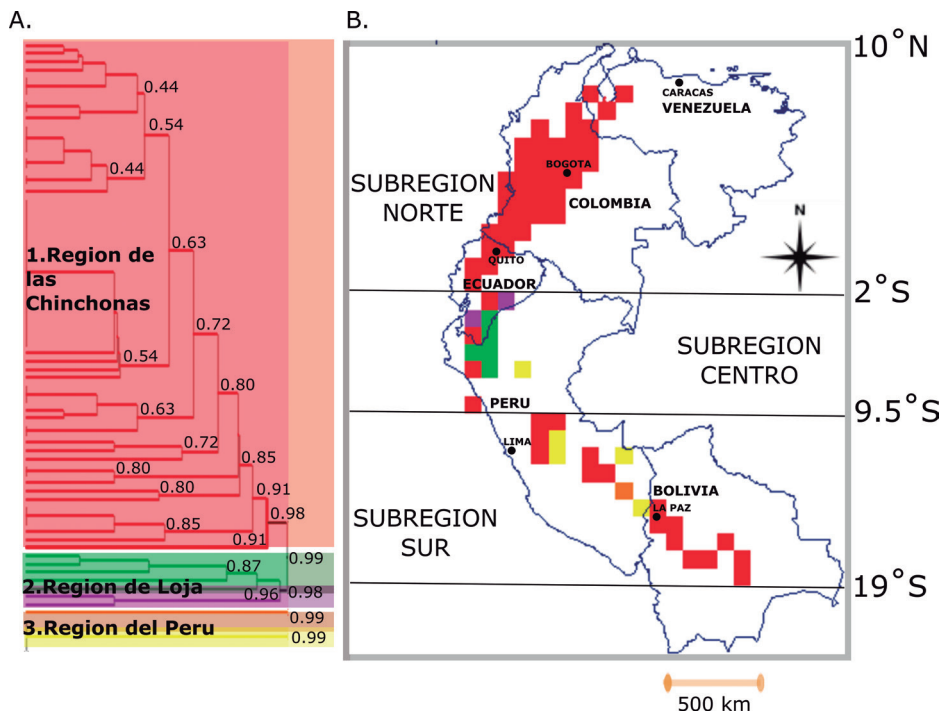


Figura 3. Mapa de las macro regiones (Chinchonas, Loja y Perú) (A) y subregiones (Norte, Centro y Sur) (B) biogeográficas de *Cinchona* L. Regiones clasificadas según los grupos de similitud florística formados por distancias geográficas (valores entre 0-1) e indicados por el dendrograma en forma de árbol (A).

Tabla 2. Organización jerárquica y lista de las tres macro regiones, cinco tipos de subregiones y nueve provincias biogeográficas del género *Cinchona* L.

Regiones biogeográficas del género <i>Cinchona</i>			
Macro Regiones	Sub-Regiones	Provincias	Diagnosís de las provincias
1 Chinchonas	Sur	1	Zonas sur del Perú y centro de Bolivia.
	Norte	2	Zonas altas y de piedemonte de la Cordillera Oriental, y áreas bajas del Pacífico y altas de la parte norte de la cordillera occidental de Colombia, y áreas andinas y costeras del noroccidente del Ecuador.
		3	Gran área transnacional con cobertura de todos los países de distribución del género.
	Loja (2)	Centro	4
6			Zonas andinas del norte y sur del Ecuador.
7			Zonas del litoral pacífico al norte y occidente en el Perú, y áreas norte y centro de los andes en Bolivia.
Perú (3)	Sur	8	Zonas andinas al sur del Ecuador en la región de Loja y extremo norte del Perú.
		9 y 5	Zonas andinas del sur-centro de Perú y Bolivia.

Macro región de las chinchonas-Mutis & Caldas (1783) (Figura 3)

Diagnosís. El nombre de esta región está dedicado a la memoria de Mutis y F. J. Caldas, pioneros en el estudio taxonómico y mapeo geográfico de las chinchonas en el virreinato de la Nueva Granada. La principal característica de esta macro región es que está conformada por especies que tienen distribuciones amplias, ya que

cubre desde 10°N en centro América hasta los 19°S en Bolivia. Esta macro región tiene cobertura en todas las 9 provincias, y sus grupos geográficos están separados de las otras regiones con valores altos de 0.98 en disimilitud (ver región roja en árbol de dendrograma, Figura 3B).

Anotaciones. F. J. Caldas (1803) en su cartografía de las Quinas, elaboró por primera vez el mapeo biogeográfico

de las chinchonas. Mas recientemente, Garmendia (2017) clasificó las regiones del género basados en el nivel de endemismo y grado de distribución, definiendo principalmente tres grupos: especies de distribución amplia, especies endémicas y especies restantes con distribuciones intermedias. Una desventaja de esta clasificación es que es cualitativa y el endemismo no está cuantificado con valores matemáticos. Por su parte, Camp (1949) definió zonas de acuerdo con las elevaciones, como son las de alta montaña, zonas medias y bajas. Andersson (1998) mencionó cuatro áreas de endemismo para *Cinchona*, las cuales son muy parecidas a las propuestas por Garmendia (2017). A continuación, se describen las tres subregiones que componen las regiones con sus respectivas provincias.

Subregiones incluidas: Norte, Centro y Sur

Subregión Norte (Figura 4A)

Diagnos. Se extiende desde los 2°S hasta los 10°N en la península de la Guajira, Colombia. Incluye la provincia 2. Esta subregión cubre los países de la zona andina de Venezuela y Colombia, con algunas distribuciones en la costa pacífica y la parte montañosa de la región pacífica al noroccidente del Ecuador. Según el resultado de esta región (Figura 4B-D), esta se caracteriza por tener un área de alta riqueza de especies en la zona central de Colombia y una en el norte del Ecuador en sus límites con Colombia.

Anotaciones. Las especies predominantes en esta subregión son nueve de las 21 reportadas: *C. antioquiae* L., *C. barbacoensis* H. Karst., *C. lancifolia* Mutis, *C. macrocalyx* Pav. ex DC., *C. pitayensis* (Wedd.) Wedd., *C. calisaya* Wedd., *C. capulí* L. Andresson, *C. officinalis* L., *C. pubescens* Vahl.

Esta subregión (Figura 4B) tiene valores de longitud de las ramas del árbol de dendrograma mucho menores (0.44 a 0.63 en disimilitud) en relación con todas las otras regiones, creando un nivel de agrupamiento más bajo, lo cual sugiere diferencias florísticas grandes con respecto al resto de las subregiones. Colombia ocupa gran parte de esta subregión, en la cual la provincia 2 está subdividida en dos grupos que se distribuyen principalmente en las zonas altas de las cordilleras: el primer grupo es el de la Cordillera Occidental-Central-Oriental (ver grillas rojas en Colombia Figura 4A), y el segundo es exclusivo de la Cordillera Oriental (ver grillas azules en Colombia Figura 4A). El primer grupo tiene como especies representativas a *C. antioquiae*, *C. barbacoensis*, *C. lancifolia*, *C. macrocalyx*, *C. officinalis* y *C. pubescens* en el grupo de la Cordillera Occidental de los departamentos de Antioquia y Chocó. El área de conexión con la Cordillera Oriental es por medio de las montañas de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, y está representada por las especies *C. antioquiae*, *C. asperifolia*, *C. calisaya*, *C. macrocalyx*, *C. officinalis* y *C. pubescens*. Este corredor geográfico conecta la cordillera oriental a través de la parte norte del departamento del Huila, sur de Cundinamarca y el piedemonte central del Meta. El segundo grupo hermano de los

dos anteriores es exclusivo de la Cordillera Oriental. Las especies representativas de este subgrupo son: *C. lancifolia*, *C. officinalis*, *C. pitayensis* y *C. pubescens*. Las especies de este subgrupo son taxones de amplia distribución geográfica en Colombia a lo largo de las zonas altas de la Cordillera Oriental, del piedemonte, y a través de los Andes de Sudamérica.

La provincia 3 representa el grupo más cercano en similitud taxonómica a la provincia 2 (Figura 4B). En este caso se observa que el subgrupo de provincias 3 y 4 son zonas de elevaciones bajas, lo contrario a la provincia 2, la cual se distribuye en las zonas altas de las cordilleras. La provincia 3 (grillas en verde, Figura 4A) está representada por las especies *C. antioquiae*, *C. pitayensis*, *C. pubescens*, *C. pyriformis* y *C. villosa*. Es de anotar que *C. antioquiae* es endémica de Colombia y *C. pyriformis* es endémica de Perú. La especie dominante en esta provincia es *C. pubescens*, ya que se presenta en todos los países reportados. La provincia 4 (grillas violeta en Figura 4A) es específica de zonas bajas del litoral pacífico de Colombia y Ecuador, las especies más abundantes son *C. barbaensis*, *C. lancifolia*, *C. pitayensis* y *C. pubescens*.

Macro región de Loja- Caldas & Mutis (1795) (Figura 3)

Subregión Centro (Figura 4A)

Diagnos. Esta región es netamente ecuatoriana y el nombre está dedicado a la zona histórica que contiene las quinas de

Loja (Figura 3A), las cuales fueron descritas y mapeadas por F. J. Caldas y Mutis. Esta macro región contiene únicamente la subregión centro (Figura 4), la cual tiene el área de distribución más pequeña en extensión, ya que cubre solo desde 2°S en el sur de Ecuador hasta los 9.5°S en el norte del Perú. Se diferencia de las demás subregiones en que se puede considerar como una zona de transición entre el norte y el sur del Ecuador. Esta subregión tiene cobertura de las provincias 3, 4, 6 y 8 (Figura 4B). Igualmente, la zona de Loja en esta subregión tiene un alto endemismo (numeral 4 en Figura 3D), siendo esta el área que coincide con las observaciones de F. J. Caldas (Caldas, 1966) al describir que la quina verdadera de Loja (*C. officinalis* L.), era una especie altamente restringida a los alrededores de Loja a la altura de los 3° 44' S (Fernández-Pérez *et al.*, 2004).

Anotaciones. Hacia los 2°S, la subregión centro se encuentra separada del grupo norte por la presencia de las barreras geográficas de la depresión Girón-Paute y el Valle del Marañón (Carmen *et al.*, 2009). Igualmente está separada del grupo sur en el centro del Perú por la parte sur de la zona de Amotape-Huancabamba (Quintana *et al.*, 2017). La región de Loja (Tabla 2, Figura 3A) es de mucha importancia histórica ya que F. J. Caldas (Caldas, 1966) y Mutis (Mutis, 1957) realizaron una documentación exhaustiva debido a la presencia de la real expedición botánica, lo cual no sucedió con ninguna de las demás áreas de distribución del género *Cinchona*. Hemos observado que la mayoría de las colecciones históricas realizadas por J. F. Caldas no coinciden con la localización

actual de las especies (Figura 1B). F.J. Caldas identificó cinco regiones geográficas de *Cinchona* en Ecuador basándose en zonas altitudinales y latitudinales que cubrían desde Loja en el sur de Ecuador a los 4°S hasta Ibarra, o Quito al norte del Ecuador con latitud 0 (Nieto Olarte, 2006). Cada región de F.J. Caldas tenía detalles de límites máximos y mínimos de elevación y su amplitud del rango al igual que su latitud. De esa forma, Caldas definió y mapeó cinco regiones biogeográficas de las Chinchonas: 1) la región de la *Cinchona lanceifolia* Mutis. = *C. pubescens*/*C. officinalis* L., que cubría desde Loja hasta Cuenca (elev. Max 3.272 m; elev. Min 1.719 m; amplitud elev. 1.553 m). 2) La región de la *Cinchona longiflora* Mutis, nom. nud. (= *Cosmibuena grandiflora* Ruiz & Pav.) que era distribuida entre Cuenca y Riobamba (elev. Max 1.746 m; elev. Min 479 m; amplitud elev. 1.345 m). 3) La región de la *Cinchona dissimiflora* Mutis, nom. nud. (= *Ferdinandusa dissimiflora* Mutis ex Humboldt) que cubría desde Riobamba hasta Ambato (elev. Max 1.961 m; elev. Min 351 m; amplitud elev. 1.602 m). 4) La región de la *Cinchona parviflora* Mutis, nom. nud. (= *Macrocnemum roseum* (Ruiz & Pavon) Wedd.) que cubría desde Ambato hasta Quito (elev. Max 1.811 m; elev. Min 1.156 m; amplitud elev. 440 m). 5) La región de la *Cinchona oblongifolia* Mutis, nom. nud. (= *Ladenbergia oblongifolia* Humb. ex Mutis) que cubría desde Quito hasta Ibarra (elev. Max 1.450 m; elev. Min 600 m; amplitud elev. 1000 m).

El grupo del norte del Ecuador aparece relacionado florísticamente al extremo sur de la subregión norte de Ecuador,

separándose así dos grandes subgrupos dentro de este territorio, uno del norte y otro del sur, que no están unidos según la disimilitud florística geográfica y los separa la depresión geográfica de Girón-Paute. El subgrupo del sur de Ecuador tiene semejanzas con las zonas de las regiones de las quinas de Loja que Caldas mapeó en su cartografía de Ecuador. Igualmente, en términos de elevaciones observamos similitudes con la clasificación histórica de Caldas, ya que había especies de distribución en alta montaña, superiores a 1.900 m, y otros de zonas medias por debajo de 1.800 metros, como lo hemos identificado en la regionalización actual. Este subgrupo contiene las especies *C. fruticosa* L. Andersson, *C. lucumifolia* Pav. ex Lindl., *C. macrocalyx* Pav. ex DC., *C. mutisi* Lamb, *C. parabolica* Pav., *C. scrobiculata* Bonpl., *C. villosa* Pav. ex Lindl. Este subgrupo del sur se subdivide en cuatro agrupaciones de especies: dos de las zonas altas con las especies *C. fruticosa*, *C. parabolica*, *C. scrobiculata*, *C. villosa*, *C. macrocalyx* y *C. mutisii*. Y otras dos de las zonas medias y bajas con las especies *C. lucumifolia*, *C. mutisii* y *C. fruticosa*. El subgrupo del norte de Ecuador tiene las especies *C. capulí*, *C. macrocalyx*, *C. pubescens*, *C. officinalis*, *C. barbacoensis*, *C. lancifolia* y *C. pitayensis*. En algunos casos, se observó que se comparten dos especies entre los grupos norte y sur. Sin embargo, estos grupos tienen especies únicas de zonas altas y bajas, lo que hace la diferenciación biogeográfica.

Macro región de Perú- Ruiz & Pavón (1777) (Figura 3)

Subregión Sur (Figura 4A)

Diagnosis. Esta subregión hace referencia a la contribución hecha por los botánicos Hipólito Ruiz y José Pavón en la exploración de las quininas de Perú y parte de Bolivia durante la expedición botánica al virreinato del Perú (Ruiz, 1792). Se inicia desde 9.5°S en la parte central del Perú hasta 19°S en el extremo meridional de las distribuciones en la parte central andina de Bolivia, región que representa el extremo de las distribuciones, lo cual incluye las provincias 1, 3, 5, 7, 8 y 9 (Figura 4B).

Anotaciones. Esta subregión se sitúa en los 9.5°S y se encuentra separada de la subregión centro por la presencia de la barrera geográfica sur de la zona de Amotape-Huancabamba. De igual manera se presenta la barrera del Valle de Apunimac, la cual aísla la parte norte de la subregión sur. Esta subregión tiene dos grupos geográficos distintivos, el del norte y el del sur. Aparte de la presencia de especies dominantes como son *C. officinalis*, *C. calisaya* y *C. pubescens*, esta subregión se diferencia de las demás por tener la riqueza y los niveles de endemismo más altos de toda la distribución del género. En esta región se reportaron 14 especies de las 21 presentes en todas las regiones: *C. calisaya*, *C. capulí*, *C. fruticosa*, *C. glandulifera*, *C. hirsuta*, *C. macrocalyx*, *C. micrantha Ruiz & Pav.*, *C. mutisii*, *C. nítida*, *C. parabolica*, *C. pitayensis*, *C. pyrifolia*, *C. scrobiculata* y *C. villosa*. Solo tres de ellas

son endémicas de Perú, particularmente se ubican en la provincia 5 de la subregión centro-sur en Perú, pues es la que tiene 95% de las especies mencionadas (Figura 4B). Basados en la literatura, los diferentes autores sugieren que esta subregión es la principal área de diversificación de *Cinchona* ya que es la única zona donde hay alto grado de endemismo y riqueza de especies. En esta subregión y en una parte de la central se observan las provincias 5, 7 y 8, separadas por varias barreras biogeográficas como son el Valle de Apurimac en la cordillera central del Perú (Hazzi *et al.*, 2018), y la parte sur de la zona Amotape-Huancabamba (Weigend, 2002). En la zona central andina de Bolivia no se observan quiebres geográficos mayores, quizás debido a la presencia de especies con mayor grado de similitud taxonómica. En conclusión, esta subregión de las chinchonas puede ser considerada como el área histórica con mayor grado de endemismo y riqueza de especies que Andersson (1998) mencionó, diciendo que la parte sur de los Andes es el principal centro de diversidad del género *Cinchona*.

Áreas combinadas de subregiones incluidas: Norte-Sur-Centro y Centro-Sur

Subregiones Norte-Sur-Centro (Figura 4B)

Diagnosis y anotaciones. Esta subregión se extiende desde los 10°N en centro América hasta los 19°S en el sur de Bolivia. Gran área transnacional de distribución del género *Cinchona* con representación de las especies de amplia distribución geográfica *C. officinalis* y *C. pubescens* observadas

en la provincia 3. Esta subregión incluye la provincia 4, la cual se distribuye en los litorales pacíficos de Colombia y Ecuador. Las especies predominantes en la provincia 4 son: *C. barbacoensis*, *C. lancifolia* y *C. pitayensis*. De otra forma, el grupo de la provincia 3 tiene las especies *C. antioquiae*, *C. pitayensis*, *C. pubescens*, *C. pyrifolia*, *C. villosa*. En conclusión, esta área podría ser considerada como una combinación de subregiones mas no como un área independiente.

Subregiones Centro-Sur (Figura 4B)

Diagnos y anotaciones. Esta subregión se extiende desde los 2°S en el centro del Ecuador hasta los 19°S en el sur de Bolivia. Se caracteriza por tener complejos de especies que se distribuyen a lo largo de muchos países. Curiosamente, al observar la posición de este grupo en el árbol del dendrograma (Figura 4B), esta región muestra las ramas más profundas con valores altos de disimilitud taxonómica entre 0,7 y 0,99. La lista de especies para esta subregión se halla en las anotaciones de la subregión sur.

Discusión

Para potencializar el uso, cuidado y aprovechamiento de estas especies es necesario definir y describir sus regiones geográficas. El presente trabajo reconoce todas las clasificaciones geográficas de las especies de *Cinchona* que presidieron este estudio, sin embargo, la principal diferencia es que

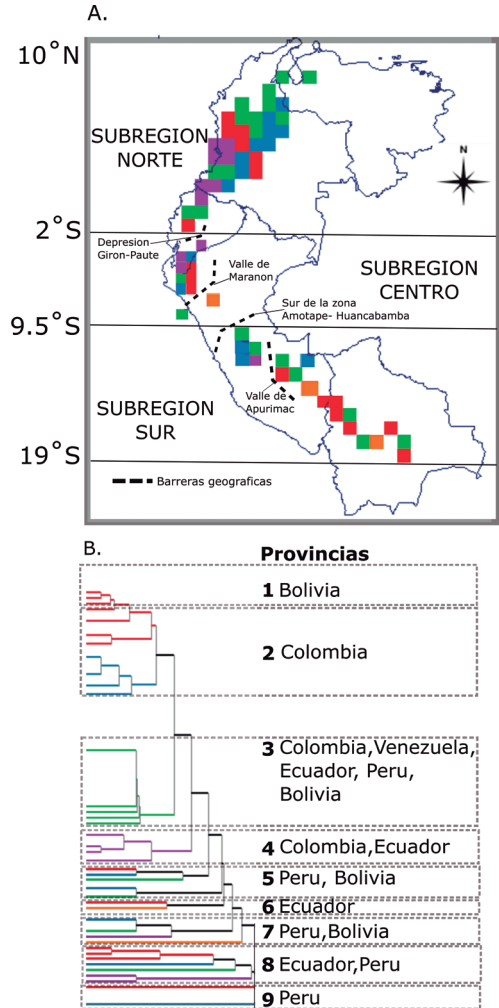


Figura 4. Mapa de las subregiones (A) y su correspondiente árbol de dendrograma indicando las nueve provincias (B) del género *Cinchona*.

las regiones biogeográficas se definieron por primera vez bajo un esquema de análisis automatizado usando un índice de disimilitud taxonómica y distancia geográfica, a diferencia de las anteriores clasificaciones que han sido definidas

acorde a la riqueza, el endemismo de especies o a los rangos de elevaciones. En general, observamos muchas similitudes de los resultados aquí propuestos con los trabajos previos. Las regiones identificadas para Ecuador en este trabajo coinciden con las regiones identificadas por F. J. Caldas en su clasificación de las regiones de las quinas. Específicamente, observamos que en Ecuador hay cinco provincias, cada una con un patrón marcado de sur y norte tal como lo clasificó F. J. Caldas en 1800. Las regiones de Perú y Bolivia identificadas por Andersson (1998) y Garmendia (2017) también son similares a las mencionadas en este artículo.

La regionalización biogeográfica propuesta en este estudio es una contribución inicial hacia el establecimiento de estrategias de uso y conservación. Los métodos aplicados a las chinchonas ya han sido probados con anterioridad en Colombia y otros continentes, por ejemplo, González-Orozco (2021) identificó seis provincias y sus respectivas regiones biogeográficas de Colombia. Comparando las regiones de las chinchonas en Colombia aquí propuestas con respecto a las de la flora de Colombia, encontramos que las regiones del género *Cinchona* hacen parte principalmente de las regiones biogeográficas andina, Magdalena y Choco-Darién. Esto indica que el grupo de las chinchonas no solo es de origen andino, sino que también ha colonizado regiones de condiciones más de trópico bajo, por ejemplo, se observó que hay un grupo de similitudes florísticas que solo se presenta en la Cordillera Oriental desde el norte hasta el sur del país. Por

otro lado, hay un grupo de la Cordillera Occidental que subdivide su distribución con grupos disimilares en el norte, centro y sur de la cordillera hacia la costa del Pacífico en Nariño. El último grupo es específico a la transición entre la región andina y la región húmeda del Magdalena.

Con respecto a otros estudios históricos de las quinas, Sandoval y Echandía (1986) realizaron una clasificación geográfica de regiones acorde a las áreas de mayor auge quintero en Colombia en 1780. Como resultado, tres áreas de importancia fueron seleccionadas: Cundinamarca, Cauca y Tolima. Estas regiones son reconocidas como importantes en la nueva regionalización, pero se diferencian de la actual porque agrupan a Tolima y Cundinamarca como áreas similares, y en el caso del Cauca, se denota su independencia de taxones en ambos estudios. Adicionalmente a estas, el presente estudio detectó tres regiones de las chinchonas en Colombia, cada una con sus delimitaciones geográficas únicas.

Según Garmendia (1999), a nivel de especies de *Cinchona* Colombia presenta los mejores prospectos en cuanto a la cantidad de alcaloides y más de 300 compuestos adicionales, entre ellos los iridoides, los cuales se concentran en la corteza de *C. lancifolia* y *C. pitayensis* provenientes de Popayán-Cauca u otras localidades cercanas. También las especies *C. oblongifolia* y *C. pubescens* presentan buen potencial farmacéutico en Colombia. Estas especies son únicas a la subregión norte y ocupan cuatro provincias al interior de

Colombia. Gracias a estos avances, dichas especies tienen ahora sus límites bien definidos, lo cual ayudaría a planear un manejo más adecuado, asegurando que las poblaciones queden en áreas de sus mismas condiciones ambientales.

Conclusiones

La principal conclusión de esta investigación es que se realizó por primera vez la descripción formal de las regiones biogeográficas del género *Cinchona* aplicando el concepto de recambio de especies. De esta forma se identificaron, describieron y propusieron tres macro regiones, cinco subregiones y nueve provincias para toda el área de distribución del género *Cinchona*.

La región de mayor extensión comparte especies desde el norte de Colombia hasta el sur de Bolivia. A un nivel de subregiones, se observó un patrón latitudinal con una subregión al norte de los Andes, otra en los andes centrales y la más austral de la distribución andina.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por proveer su apoyo financiero. Este trabajo está dedicado a la memoria del cartógrafo y astrónomo payanés *Francisco José de Caldas* (1768-1816) quien realizó el primer trabajo sobre las regiones biogeográficas de las quininas.

Referencias

Acosta-Solís, M. 1947. *Cinchonas del Ecuador*, Quito: Obra editada en la Edit. "Ecuador". Disponible en: <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/14677-cinchonas-del-ecuador>

Albán Castillo, J.A, Hurtado Huarcaya J., Huamán L. y Durand, M. 2015. Revisión de los límites geográficos del género *Cinchona* en el Perú. Libro de Resúmenes XXIV, Reunión científica ICBAR.

Albán-Castillo J, Chilquillo E, Melchor- Castro B, Arakaki M, León Blanca, Suni M. 2020. *Cinchona* L. “Árbol de la Quina”: repoblamiento y reforestación en el Perú. Revista peruana de biología, 27: 423 – 426. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i3.18697>

Araujo-Murakami. A., Quevedo-Sopepi, R.C y Pizarro-Romero, F. 2020. Plantas antimaláricas en Bolivia: quina, quina-quina y otras especies. *Kempffiana*, 16:1-27.

Aymard, G.A. 2019. Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae- Cinchoneae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43: 234-241. Disponible en: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1079>

Andersson, L. 1999. A revision of the genus *Cinchona* (Rubiaceae- Cinchoneae). *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 80: 1-75.

Caldas, F. J. 1805. “Memoria sobre el estado de las Quinas en general y en particular sobre las de Loxa”. *Archivo del Real Jardín Botánico, sección Mutis*.

Caldas, F. J. 1966. “Memoria sobre el estado de las quinas en general y en particular sobre la de Loja [1805]”. Pp. 241-260. En: *Obras completas de Francisco José de Caldas: publicadas por la Universidad Nacional de Colombia como homenaje con motivo del sesquicentenario de su muerte 1816 - Octubre 29 -1966*, Bogotá, Imprenta Nacional.

Camp, W.H. 1949. *Cinchona* at high altitudes in Ecuador. *Brittonia*, 6: 394-430.

Díaz-Piedrahita, S. 2010. Historia de La Medicina, Las Quinas en el Mundo y en Colombia. Disponible en: <https://encolombia.com/medicina/revistasmedicas/academedicina/va62/academ25262-quinas/>

Díaz-Piedrahita, S. 2003. Las quinas en el mundo y en Colombia. *Revista de Medicina*, 25: 128-130.

Ebach, M.C. 2015. *Origins of biogeography: the role of biological classification in early plant and animal geography*. Springer, New York, NY.

Ebach, M.C., Murphy, D.J., González-Orozco, C.E. y Miller, J.T. 2015a. A revised area taxonomy of phytogeographical regions within the Australian Bioregionalisation Atlas. *Phytotaxa*, 208: 261-277.

Feged-Rivadeneira, A., Angel, A., González-Casabianca, F., Rivera, C. 2018. Malaria intensity in Colombia by regions and populations. *PLOS ONE*, 13: e0203673.

Fernández-Alonso, J.L. 2019. Quinas en la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada. Comentario y mirada retrospectiva a los 60 años de su publicación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43: 242-251.

Garmendia, A. 1999. *El árbol de la quina (Cinchona spp.): Distribución, caracterización de su hábitat y arquitectura*. Madrid. Universidad Complutense de Madrid.

Garmendia, A. 2017. Las Cinchonas en Sudamérica: Un relato histórico que marco transcendencia en la dinámica ecológica de los bosques, Capítulo 11, pp 219- 242. En: Torres, B., Vargas, J.C., Arteaga, Y., Torres, A. y Lozano, P. (Eds.) 2017. *Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales*. Universidad Estatal Amazónica. Programa Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Empresarial. Puyo, Ecuador. 253 pp.

GBIF.org (3 y 14 November 2020) GBIF Occurrence Downloads. Disponible en: <https://doi.org/10.15468/dl.uvv9b6>; <https://doi.org/10.15468/dl.9ussr7>

González-Orozco, C.E., Ebach, M.C., E. y Varona, R. 2015. Francisco José de Caldas and the early development of plant geography. *Journal of Biogeography*, 42: 2023–2030. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jbi.12586>

González-Orozco, C.E. y Porcel, M. 2021a. Two centuries of changes in Andean crop distribution. *Journal of Biogeography*, 48: 1972–1980. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jbi.14126>

González-Orozco, C.E., Laffan, S.W., Knerr, N. y Miller J.M. 2013. A biogeographical regionalization of Australian Acacia species. *Journal of Biogeography*, 40: 2156–2166. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jbi.12153>

González-Orozco, C.E., Ebach, M.C., Laffan, S.W., Thornhill, A.H., Knerr, N.J., Schmidt-Lebuhn, A.N., Cargill, C.C., Clements, M., Nagalingum, N.S., Mishler, B.D. y Miller, J.T. 2014. Quantifying Phytogeographical Regions of Australia using Geospatial Turnover in Species Composition. *PLOS ONE*, 9: 1–10. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092558>

González-Orozco, C.E., Thornhill, A.H., Knerr, N., Laffan, S.W. y Miller J.M. 2014a. Biogeographical regions and phytogeography of the Eucalypts. *Diversity and Distributions*, 20: 46–48. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ddi.12129>

González-Orozco C.E. 2021. Biogeographical regionalisation of Colombia: a revised area taxonomy. *Phytotaxa*, 484: 247–260. Disponible en: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.484.3.1>

Hazzi, N.A., Moreno, J.S., Ortiz-Movliav, C. y Palacio, D.R. 2018. Biogeographic regions and events of isolation and diversification of the endemic biota of the tropical Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115: 7985–7990. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1803908115>

Hodge, W.H. 1950. “Notes on Peruvian cinchonas—I.” *Botanical Museum Leaflets, Harvard University*, 14: 137–155.

Huamán, L., Albán, J., Albán, J. y 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: 145-153. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i2.1333>

La Condamine, CH.M. 1738. Sur l'arbre de Quinquina. *Memories de L'Academie des Sciences*, 4: 226-243.

Laffan, S.W., Lubarsky, E. y Rosauer, D.F. 2010. Biodiverse, a tool for the spatial analysis of biological and related diversity. *Ecography*, 33: 643-647. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06237.x>

Maitner, B. S. 2018. The bien r package: a tool to access the Botanical Information and Ecology Network (BIEN) database. *Methods Ecology and Evolution*, 9(2): 373-379. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12861>

Maldonado, C. 2016. *The Quest for Cinchona: A Phylogenetic Approach to Understanding the Evolution, Natural Variation and Discovery of Cinchona Bark for the Treatment of Malaria*. University of Copenhagen, 216 pages.

Marko, V. 2020. Quinine. In: *From Aspirin to Viagra*. Springer Praxis Books. Springer, Cham.

Mendoza, H., Ramírez, B. y Jiménez, L.C. 2004. *Rubiaceae de Colombia. Guía ilustrada de géneros*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 351 pp.

Moreira, A. 1996. Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Revista Ambiente y Desarrollo*, XII (2): 80-86.

Mutis, J.C. 1957. Real proyecto del estanco de la quina y sus establecimientos. Reflexiones políticas que persuaden la suma importancia de erigir en Ramo de R. Hacienda la administración de la Quina... [Subtítulo del Informe del Dr. J. C. M. a S. M. el Rey Don Carlos IV, en 1786], Pp. 44-64, En Pérez-Arbeláez, E. & Fernández de Soto, F. (eds.) Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, vol. 44. Ediciones Cultura Hispánica. Madrid.

Nieto Olarte, M. 2006. La obra cartográfica de Francisco José de Caldas (ed. by M. Nieto Olarte, Sa. Muñoz Arbeláez, S. Díaz-Piedrahita and J. Arias de Greiff). Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Historia, CESO, Ediciones Uniandes: Academia Colombiana de Historia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: ICANH, Bogotá, 184 p.

Pérez Arbeláez, E. 1947. Plantas útiles de Colombia. Editorial Víctor Hugo, 3a edición, Bogotá, Colombia. 831 p.

Quintana, C., Pennington, R.T., Ulloa Ulloa., C. y Balslev. H. 2017. Biogeographic Barriers in the Andes: Is the Amotape—Huancabamba Zone a Dispersal Barrier for Dry Forest Plants? *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102: 542-550. Disponible en: <https://doi.org/10.3417/D-17-00003A>

Ruiz, H.L. 1792. *Quinología o tratado del árbol de la Quina o cascarilla con su descripción y la de otras especies de quinos descubiertas en el Perú*. Madrid. Oficina de la Viuda e Hijo de Marín.

Rusby, H.H. 1931. The genus *Cinchona* in Bolivia. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 58: 523-530.

Taylor, C.M. 2016. *Cinchoneae*. Disponible en: <http://www.tropicos.org>

Carmen, J., Cuesta, F., Navarro, G., Barrera, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W., Pervalo, M. y Saito, A. 2009. Ecosistemas de los Andes del norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima. ISBN: 978-9972-787-77-5.

Tuomisto, H. 2010. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography*, 33: 2–22. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05880.x>

Ulloa Ulloa, C., P. Acevedo-Rodríguez, S. G. Beck, M. J. Belgrano, R. Bernal, P. E. Berry, L. Brako, M. Celis, G. Davidse, S. R. Gradstein, O. Hokche, B. León, S. León-Yáñez, R. E. Magill, D. A. Neill, M. H. Nee, P. H. Raven, H. Stimmel, M. T. Strong, J. L. Villaseñor Ríos, J. L. Zarucchi, F. O. Zuloaga y P. M. Jørgensen. 2017. An integrated assessment of vascular plants species of the

Americas. *Science*, 358: 1614–1617. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.aa00398>

Weigend, M. 2002. Observations on the biogeography of the Amotape–Huancabamba Zone in Northern Peru. *The Botanical Review*, 68: 38–54.

Zizka, A., F. Antunes Carvalho, A. Calvente, M. R. Baez-Lizarazo, A. Cabral, J. F. Ramos Coelho, M. Colli-Silva, M. Ramos Fantinati, M. Ferreira Fernandes, T. Ferreira-Araújo, F. G. L. Moreira, N. M. da Cunha Santos, T. A. Borges Santos, R. C. dos Santos-Costa, F.C. Serrano, A. P. Alves da Silva, A. de Souza Soares, P. G. Cavalcante de Souza, E. C. Tomaz, V. Fonseca Vale, T. L. Vieira y A. Antonelli. 2020. No one-size-fits-all solution to clean GBIF. *PeerJ*, 8. e9916. Disponible en: <https://doi.org/10.7717/peerj.9916>