

**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**

**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA HISTÓRICA  
Y ACTUAL DE *Cinchona* sp. EN LA REGIÓN AMAZONAS  
Y EL PERÚ**

**Autor: Bach. Carlos Antonio Vargas Aguilar**

**Asesor: M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara**

Registro: (            )

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A Dios, quién supo guiarme e iluminarme a cada momento en las decisiones que logré tomar.

Con todo el amor que les tengo, a mis padres Miriam Aguilar Chicchón y Rene Vargas Coronel, que son el soporte de mi formación.

A mis hermanas queridas, Ruth y Renata que fueron uno de mis motores para hacer dicha investigación.

A Anali Gil Malca, por su gran apoyo en mi formación académica.

Al investigador Anderson, por su gran labor y contribución en la clasificación de las *Cinchonas*.

**Antonio Vargas**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor, que más que un docente en la casa de estudios UNTRM, es un amigo M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara por el apoyo que me brindó en la elaboración del proyecto de investigación.

A PhD. Ligia Magali García Rosero, por sus aportes para el mejor desarrollo de este proyecto de investigación.

Al Instituto de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (IIA) de la Ingeniería de la UNTRM, donde logré hacer mis prácticas profesionales.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron con sus aportes en esta investigación

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

**RECTOR**

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

**VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN**

M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LOPEZ

**DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

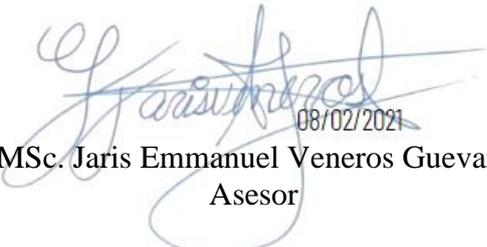
## VISTO BUENO DEL ASESOR

El **M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara**, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA HISTÓRICA Y ACTUAL DE *Cinchona* sp. EN LA REGIÓN AMAZONAS Y EL PERÚ**”, del tesista egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

**Est. Carlos Antonio Vargas Aguilar**

El suscrito da el VISTO BUENO al Informe Final de la mencionada Tesis, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 16 enero de 2021

  
08/02/2021  
MSc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara  
Asesor

**JURADO EVALUADOR**



---

PhD. Ligia Magali García Rosero

**PRESIDENTE**



---

PhD. Danilo Edson Bustamante Mostajo

**SECRETARIO**



---

Ing. Eli Morales Rojas

**VOCAL**

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



UNTRM

## REGLAMENTO GENERAL

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

### ANEXO 3-O

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

Los suscritos, miembros del jurado Evaluador del proyecto de la tesis titulada: "MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA HISTÓRICA Y ACTUAL DE CINCHONA sp. EN LA REGIÓN AMAZONAS Y PERÚ", presentado por el estudiante ( ) /egresado ( X ) CARLOS ANTONIO VARGAS AGUILAR

De la escuela profesional de Ingeniería Ambiental,

Con correo electrónico institucional [carlos.vargas@untrm.edu.pe](mailto:carlos.vargas@untrm.edu.pe)

Después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada tesis acordamos:

- La citada tesis tiene 20% de similitud, según el reporte de software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor ( x ) /igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada tesis tiene \_\_\_\_\_% de similitud, según el reporte del software turnitin que se adjunta el presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe realizar 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 corregido para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 16 de marzo del 2021

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

---

---

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DE GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO Y TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-N

### ACTA DE EVALUACIÓN DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del jurado evaluador de la tesis para obtener el Título Profesional denominada: "MAPAS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA HISTÓRICA Y ACTUAL DE CINCHONA sp. EN LA REGIÓN AMAZONAS Y PERÚ",

presentada por el (la) estudiante ( ) /egresado ( X ) CARLOS ANTONIO VARGAS AGUILAR de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,

Después de revisar y analizar el contenido de la citada Tesis, acordamos:



- La citada Tesis para obtener el título Profesional, cumple ( X ) los requisitos establecidos en el artículo 82° del Reglamento General para el Otorgamiento del Grado Académico de Bachiller, Maestro o Doctor y del Título Profesional en la UNTRM; en consecuencia, se debe autorizar su impresión y sustentación.
- La citada Tesis para obtener el título Profesional, no cumple ( ) los requisitos establecidos en el artículo 82° del Reglamento General para el Otorgamiento del Grado Académico de Bachiller, Maestro o Doctor y del Título Profesional en la UNTRM; por graves e insalvables deficiencias de forma y/o fondo ( ) o no levantar el (la) recurrente las observaciones ( ) en el plazo establecido en el artículo 91° del citado Reglamento.

Chachapoyas, 16 de marzo de 2021

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES: .....

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| DEDICATORIA .....  | 2         |
| AGRADECIMIENTOS .....  | 3         |
| AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....   | 4         |
| VISTO BUENO DEL ASESOR.....  | 5         |
| JURADO EVALUADOR.....  | 6         |
| CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO<br>PROFESIONAL .....   | 7         |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO<br>PROFESIONAL .....  | 8         |
| ÍNDICE.....  | 9         |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | 10        |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | 10        |
| RESUMEN .....  | 11        |
| ABSTRACT.....  | 12        |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>II. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.1. Generación de mapas históricos de la distribución geográfica de <i>Cinchona</i><br/>    sp. En la Región Amazonas y el Perú.....</b> | <b>16</b> |
| <b>2.2. Determinar lugares climáticamente potenciales para la distribución actual<br/>    de <i>Cinchona</i> sp.....</b>                     | <b>17</b> |
| <b>III. RESULTADOS.....</b>  | <b>19</b> |
| <b>3.1. Mapas históricos de la distribución geográfica de <i>Cinchona</i> sp. En la Región<br/>    Amazonas y el Perú.....</b>               | <b>19</b> |
| <b>3.2. Lugares climáticamente potenciales para la distribución actual de <i>Cinchona</i><br/>    sp.....</b>                                | <b>26</b> |
| <b>3.2.1. Registro de presencia y Bases de datos climáticos.....</b>   | <b>26</b> |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.2. Pruebas Kackniefte .....  | 27 |
| 3.2.3. Pruebas omisión- sensibilidad.....  | 30 |
| 3.2.4. Distribución geográfica de <i>Cinchona</i> sp. en Perú y la Región Amazonas ..... | 31 |
| IV. DISCUSIÓN.....   | 34 |
| V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 41 |

### ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Estimación de la contribución relativa para las Variables bioclimáticas del MAXENT. ....                                 | 26 |
| Tabla 2. Áreas y niveles de probabilidad de presencia potencial de <i>Cinchona</i> sp. a nivel Perú y en la Región Amazonas. .... | 31 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Georreferencias históricas de especies de <i>Cinchona</i> entre 1700 -1799 .....                          | 19 |
| Figura 2. Georreferencias históricas de especies de <i>Cinchona</i> entre 1800 -1899 .....                          | 20 |
| Figura 3. Georreferencias históricas de especies de <i>Cinchona</i> entre 1900 -1999 .....                          | 20 |
| Figura 4. Georreferencias históricas de especies de <i>Cinchona</i> entre 2000 -2020 .....                          | 21 |
| Figura 5. Datos históricos para años de colecta de <i>Cinchona</i> a nivel mundial.....                             | 22 |
| Figura 6. Países dónde se han recolectado <i>Cinchonas</i> a nivel mundial.....                                     | 23 |
| Figura 7. Departamentos dónde se han recolectado <i>Cinchonas</i> en el Perú. ....                                  | 24 |
| Figura 8. Récord de especies del género <i>Cinchonas</i> dónde se han recolectado <i>Cinchonas</i> en el Perú. .... | 25 |
| Figura 9. Test de Jackknife (AUC) para las variables bioclimáticas en el modelado MAXENT. ....                      | 28 |
| Figura 10. Curvas de respuesta del MAXENT para <i>Cinchona</i> sp. en Perú. ....                                    | 29 |
| Figura 11. Prueba de omisión- sensibilidad para <i>Cinchona</i> sp. en la corrida del MAXENT. ....                  | 30 |
| Figura 12. Probabilidad de ocurrencia para la <i>Cinchonas</i> en Perú.....   | 32 |
| Figura 13. Probabilidad de ocurrencia para las <i>Cinchonas</i> en la Región Amazonas.....                          | 33 |

## RESUMEN

El Perú, alberga al “árbol de la quina”, que desde 1825 se encuentra en el Escudo Nacional, representando la riqueza vegetal de sus recursos naturales. Históricamente se registran deforestaciones de este Género *Cinchona*, y al cumplirse 200 años de Independencia, se aprobó el “Plan de Acción para el Repoblamiento Forestal con Especies del género *Cinchona* (Árbol de la Quina) 2020-2022”. Ya se advierten de problemas conceptuales de este plan, con peligro de que no tenga éxito. Por ello, en esta investigación se generaron mapas históricos de la distribución geográfica de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú; los primeros datos históricos son de 1738 identificados en el Ecuador y el Perú respectivamente usando ArcGIS 10.5, se determinó además lugares climáticamente potenciales para presencia del género mediante el programa MAXENT. Resultaron cuatro mapas históricos, uno por cada centenario, de un total de registros de presencia de especies del género en 20 países alrededor del mundo, liderando el Perú. Se colectaron 10860 datos históricos, de los cuales, 4165 tienen georreferencias. De las 19 variables bioclimáticas, seis se estimaron con mayores valores de contribución. A nivel Perú, 10 Regiones presentan alto potencial de presencia, y en Amazonas, al menos 5 distritos tienen altas posibilidades de presencia de este género. El Plan gubernamental excluye, 5 regiones en el país y en la Región Amazonas a dos provincias con muy alto potencial. Se advierte que, antes de intentar repoblar el Perú de *Cinchonas* según el Plan Nacional propuesto, deben asegurarse de la calidad taxonómica de las semillas, y tener presente que, las especies de *Cinchona* prestan a la hibridación.

**Palabras clave:** *Cinchona*, datos históricos, georreferencias, MAXENT.

## ABSTRACT

Peru is home to the "cinchona tree", which since 1825 has been on the National Shield, representing the plant wealth of its natural resources. Historically, deforestations of this Genus *Cinchona* have been recorded, and on the 200th anniversary of Independence, the "Action Plan for Reforestation with Species of the genus *Cinchona* (Quina Tree) 2020-2022" was approved. They are already warning of conceptual problems with this plan, with the danger that it will not be successful. Therefore, in this research historical maps of the geographical distribution of *Cinchona* sp. in the Amazon Region and Peru; The first historical data are from 1738 identified in Ecuador and Peru respectively using ArcGIS 10.5, it was also determined climatic potential places for the presence of the genus through the MAXENT program. Four historical maps resulted, one for each centenary, from a total of records of the presence of species of the genus in 20 countries around the world, leading Peru. 10,860 historical data were collected, of which 4,165 have georeferences. Of the 19 bioclimatic variables, six were estimated with higher contribution values. At the Peru level, 10 Regions present high potential for presence, and in Amazonas, at least 5 districts have high possibilities for presence of this genre. The government Plan excludes 5 regions in the country and in the Amazon Region two provinces with very high potential. It is noted that, before attempting to repopulate Peru from *Cinchonas* according to the proposed National Plan, they must guarantee the taxonomic quality of the seeds, and bear in mind that *Cinchona* species lend themselves to hybridization.

**Keywords:** *Cinchona*, historical data, georeferences, MAXENT.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú es considerado uno de los países más megadiversos del mundo (Rodríguez y Young 2000), y la flora neotropical es una de las más diversas en especies y endemismos (León *et al.*, 2006), siendo la región occidental de América del Sur la que alberga la mayor parte de esa riqueza (Herrera, 1939). En su geografía, el país alberga al denominado “árbol de la quina”, y es de tal importancia que representa la riqueza de los recursos vegetales en el país, y simbolizado en el Escudo Nacional (Zevallos, 1989, Álvarez, 2013). El árbol de la quina pertenece al género taxonómico *Cinchona*. Este género tiene como especie tipo a *C. officinalis* L. siendo descrita por C. Linnaeus (1753), basándose en la descripciones e ilustraciones elaboradas por Charles M. de La Condamine, un miembro de la expedición francesa, para medir la longitud de un grado de meridiano terrestre a las proximidades del Ecuador en 1735, de árboles observados en 1737 en la montaña de Caxanuma, ubicada a 15 km al sur de la villa de Malacatos, Loja, Ecuador (La Condamine, 1738; Crawford, 2016).

De otra manera, en el género *Cinchona* existen entre 20 a 40 especies entre híbridas y cruzadas que se distribuyen desde el sur de Bolivia hasta Costa Rica. Aunque la mayoría de las especies se localizan en los Andes del Perú, teniendo 3 especies endémicas, y 18 de manera general (Mostacero *et al.*, 2009). Además, el género *Cinchona* tiene una distribución en climas dominantes de ceja de selva, que por lo general es húmeda y caluroso, con precipitaciones persistentes, cuantiosas y nubosos en casi todo el año (790.7-1972 mm). Asimismo, se encuentran en áreas elevadas con topografía empinada y ondulada, con una suficiente influencia en las zonas bajas predominantemente colinadas y el microclima de cada especie, casi sin influencia climática. Las alteraciones de precipitación y temperatura están atribuidos a la latitud y altitud. Las temperaturas anuales pueden llegar a oscilar entre los 6.5 °C y 24.9 °C (Zevallos, 1989).

Aymard (2019), presentó un listado de especies del género *Cinchona* actualmente aceptadas, basado en información de Taylor (2016); Delprete y Cortés-Ballén, (2016) y Ulloa-Ulloa, *et al.*, (2017, 2018), donde se enlistan 24 especies: 1.- *Cinchona antioquiæ* L. Andersson (1998); 2.- *Cinchona aderssonii* C. D. Maldonado (2017a); 3.- *Cinchona asperifolia* Wedd. (1848); 4.- *Cinchona barbacoensis* H. Karst. (1859); 5.-

*Cinchona calisaya* Wedd. (1848); 6.- *Cinchona capulí* L. Andersson (1994); 7.- *Cinchona carabayensis* Wedd. (1848) = *C. calisaya* Wedd.; 8.- *Cinchona fruticosa* L. Andersson (1998); 9.- *Cinchona grandulifera* (Ruiz) Ruiz & Pav. (1802); 10.- *Cinchona govana* Miq. (1861) = *C. pubescens* Vahl; 11.- *Cinchona hirsuta* Ruiz & Pav. (1799); 12.- *Cinchona lancifolia* Mutis (1793); 13.- *Cinchona lucumifolia* Pav. Ex DC. (1838); 14.- *Cinchona macrocalyx* Pav. Ex DC. (1829); 15.- *Cinchona micrantha* Ruiz & Pav. (1799); 16, *Cinchona mutisii* Lamb. (1821); 17.- *Cinchona nítida* Ruiz & Pav. (1799); 18.- *Cinchona officinalis* L. (1753); 19.- *Cinchona parabolica* Pav. (1859); 20.- *Cinchona pitayensis* (Wedd.) Wedd. (1849); 21.- *Cinchona pubescens* Vahl (1790); 22.- *Cinchona pyrifolia* L. Andersson (1998); 23.- *Cinchona scrobiculata* Bonpl. (1808); 24.- *Cinchona villosa* Pav. Ex Lindl. (1838).

En la actualidad, el hábitat del árbol de la quina es uno de los más amenazados por actividades humanas, llegando al punto que se extingan con el pasar del tiempo y extinguir los pocos árboles que aún quedan de este género (Gómez *et al.*,2016). Esta es una especie forestal que se encuentra en evidente peligro por el incremento de la agricultura, deforestación, incendios forestales y la tala ilegal. Además, la ausencia de distribución geográfica histórica de *Cinchona* es muy escasa. Por ejemplo, existen casos en lugares donde existe el árbol de la quina, pero aún no está registrado y certificado por laboratorios dónde afirmen que es *Cinchona*, por lo tanto, esto limita el control de la sobreexplotación de este género (Gómez *et al.*,2016).

A lo largo de la historia, estudios botánicos en Perú generalmente se han enfocado a investigaciones sobre los usos de *Cinchona* como la de Hodge (1947); así también investigaciones relacionadas con la identificación de especies a nivel morfológico (Humboldt y Bonpland, 1815; Macbride, 1936; Ruiz y Pavón, 1957; Stell, 1982; Verveen, 1984) y muy pocas investigaciones están enmarcadas en la distribución fitogeografía de *Cinchona* (Zevallos, 1989). En este sentido, estudios que actualicen y recopilen esta información en mapas de referencias de presencia, y distribución geográfica actual, son necesarios para crear pronósticos actuales y futuros para la distribución geográfica potencial en Amazonas y Perú para su uso y conservación.

En el año 2011, el Estado Peruano decretó, la orden del árbol de la quina, para dar realce a la importancia de este árbol que se merece, como símbolo nacional así también

identificar a personas que se destacan en resguardar la biodiversidad y el medio ambiente (Álvarez, 2013). Para el año 2020 (04 de mayo), la Resolución Directoral del Ministerio de Agricultura (Resolución N° 067, 2020), aprobó el Plan de Acción para el Repoblamiento Forestal con especies del género *Cinchona* (Árbol de la Quina) 2020-2022, a ser aplicado en diez departamentos del país (Albán *et al.*, 2020).

Dicho plan contiene las siguientes 3 bases: (1) tener en cuenta las amenazas que tiene los hábitats de la especie *Cinchona calisaya* Wedd. (DS N° 043-2006-AG), (2) tener planes de servicios ecosistémicos reforestando las especies de *Cinchona* y por último (3) tener como primera intención la de priorizar esos planes a través del recojo de semillas y uso priorizado de tres especies de *Cinchona* (Albán-Castillo *et al.*, 2020).

En esta investigación se pretende: generar mapas históricos de la distribución geográfica de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú, basados en referencias bibliográficas y georreferencias, así como, determinar lugares climáticamente potenciales para la identificación de presencia del género *Cinchona*.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Generación de mapas históricos de la distribución geográfica de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú.

Se realizaron búsquedas especializadas de referencias bibliográficas, bases de datos, herbarios, de donde se extrajeron las ubicaciones ya sea a nivel general, que fue diseñado por Veneros, (2014). Las georreferencias fueron procesados en el programa Excel 2019 y en el gestor bibliográfico Mendeley, de acuerdo con el siguiente diseño creado por el autor mencionado anteriormente:

- ✓ **Fuente:** son extraídas de: Journal (JO), Book (BO), Thesis (TH) o Others (OT).
- ✓ **Continente** áreas de tierras divididas por los océanos.
- ✓ **Adm0:** País (Perú).
- ✓ **Adm1:** primera división administrativa del país.
- ✓ **Adm2:** segunda división administrativa del país.
- ✓ **Locación:** tercera división administrativa del país.
- ✓ **Latitud:** Distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador, contada en grados de meridiano.
- ✓ **Longitud:** Distancia expresada en grados, entre el meridiano de un punto y otro tomado como referencia en el Ecuador.
- ✓ **Colector:** Persona quién colecto la *Cinchona* sp.
- ✓ **Altitud:** Distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar.
- ✓ **Fecha de Colecta:** día, mes y año.
- ✓ **Código:** el código que los colectores le colocan a cada una de las especies de *Cinchona* cuando las recolectan.
- ✓ **T<sub>máx</sub>:** Temperatura máxima de ambiente.
- ✓ **T<sub>mín</sub>:** Temperatura mínima de ambiente.
- ✓ **Precipitación:** Precipitación de ambiente.
- ✓ **Detalle:** Si es Campo o No Campo.
- ✓ **Propagación:**
  - VP (part of a stem, root, leaves, leaves, layers)
  - BP (botanical seed)
- ✓ **Año de Publicación**

- ✓ **Cita**
- ✓ **Referencia**
- ✓ **Enlace**

Los mapas históricos para cada centenario, desde la primera fecha de colecta, se generaron usando el álgebra de mapas en el programa ArcGis *versión* 10.5, mediante cartografía vectorial y las herramientas de Intersección y unión (ESRI, 2016c). Se usó cartografía ráster de variables continuas, con píxeles y sacando la mayor riqueza de datos a lo largo de las superficies de análisis para variables territoriales (Sastre, 2010), donde, cada punto del territorio estará mostrando un valor diferente de altitud a lo largo de la superficie de ese espacio natural protegido.

## **2.2. Determinar lugares climáticamente potenciales para la distribución actual de *Cinchona* sp.**

Se identificaron lugares climáticamente potenciales mediante representaciones geográficas, es decir; mapas de presencia potencial de las especies del género *Cinchona*, elaborados en el programa MAXENT, a través de un algoritmo de máxima entropía (Phillips *et al.*, 2006), consiguiendo resultados relativamente apropiados con proporción de muestras diminutas (Hernández *et al.*, 2006; Pérez-García y Liria 2013).

Para utilizar MAXENT, se usó una computadora i7 con 32 GB de memoria RAM. Necesitando así un archivo en Excel las georreferencias de las especies que se han encontrado en los distintos artículos de investigación, libros, herbarios entre otros. Este programa es versátil, ya que durante el proceso (de correr los datos) muestra el avance estimado del modelo MAXENT, y al terminar su ejecución el programa originó distintos archivos de salida en mapas o figuras. A medida que se entra al modelo de distribución de especies MAXENT, se puede detectar qué variable (s) ambientales aportan en mejor medida al resultado del modelo, cabe destacar que influye que especie se va a modelar (Phillips *et al.*, 2006).

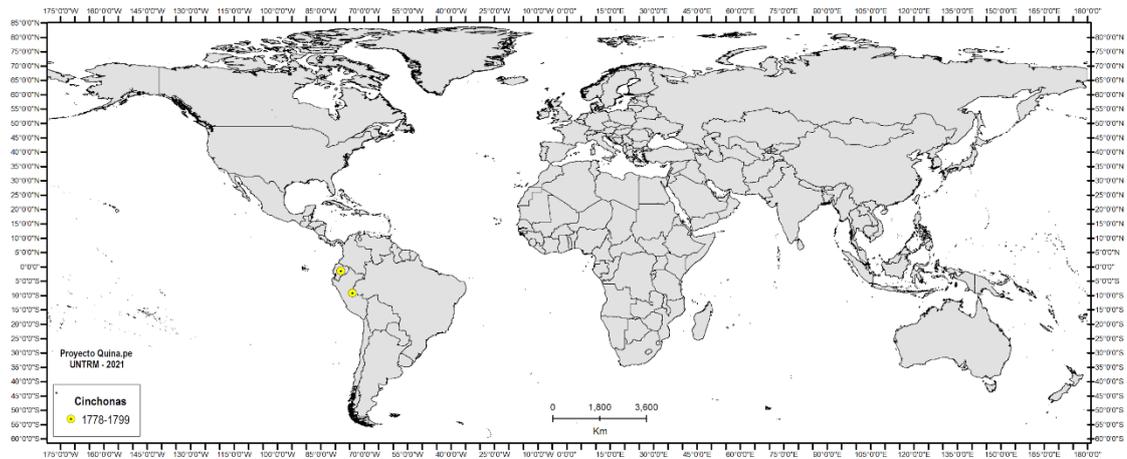
El repositorio de dónde se descargaron las variables climáticas se llama Worldclim (<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>) (Verela *et al.*, 2015). Worldclim es libre y accesible. Además, facilita descargar las 19 variables climáticas en diversos formatos ráster con una resolución de 1 km obtenidas de estaciones meteorológicas

de entre 1950-2000 (con una matriz ya georreferenciada en formatos SIG) y en diferentes resoluciones espaciales. También nos da la interpolación espacial actual (Hijmans *et al.*, 2005). Las 19 variables bioclimáticas (López- Mata *et al.*, 2014; Tabla 1) son derivadas de la precipitación multianual, temperatura media anual, temperatura mínima anual y temperatura máxima anual (Hijmans *et al.* 2006).

### III. RESULTADOS

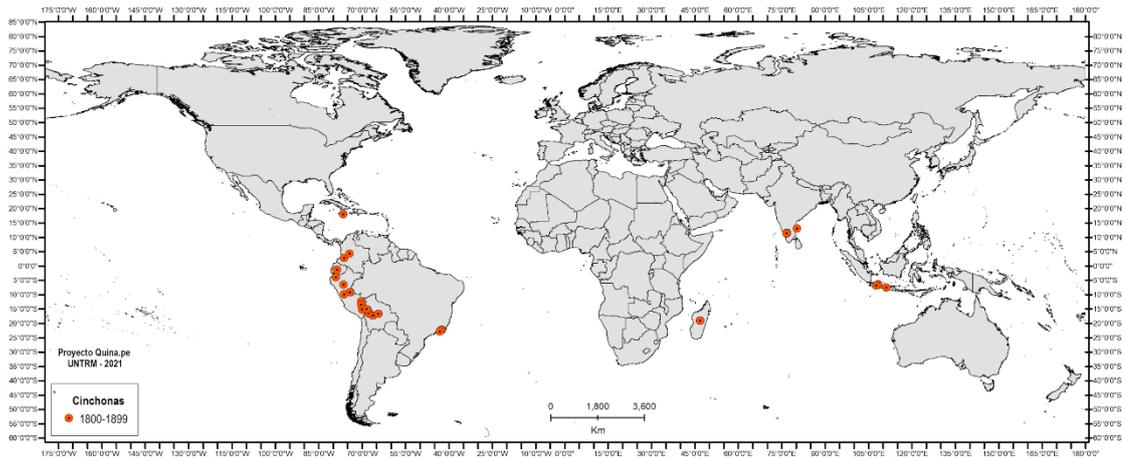
#### 3.1. Mapas históricos de la distribución geográfica de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú.

Se presentan a continuación cuatro mapas referentes a las georreferencias a nivel histórico encontradas en libros, artículos científicos, tesis, bases de datos especializadas, herbarios, entre otros.



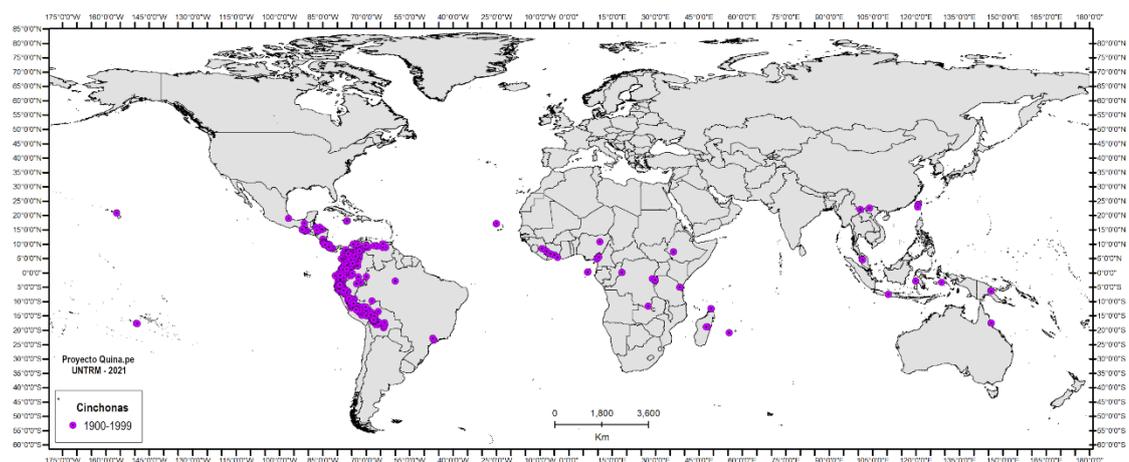
**Figura 1.** Georreferencias históricas de especies de *Cinchona* entre 1700 -1799

Respecto a las referencias geográficas históricas entre el centenario de 1700 a 1799, los puntos de color amarillo representan a las dos primeras georreferencias históricas que datan de 1738, para los países de Perú y Ecuador en el Departamento de Ucajali y en la Provincia de Tungurahua, respectivamente (Fig. 1). El Herbario del Field Museum (2020), sugiere que ambas georreferencias corresponden a *Cinchona calisaya*.



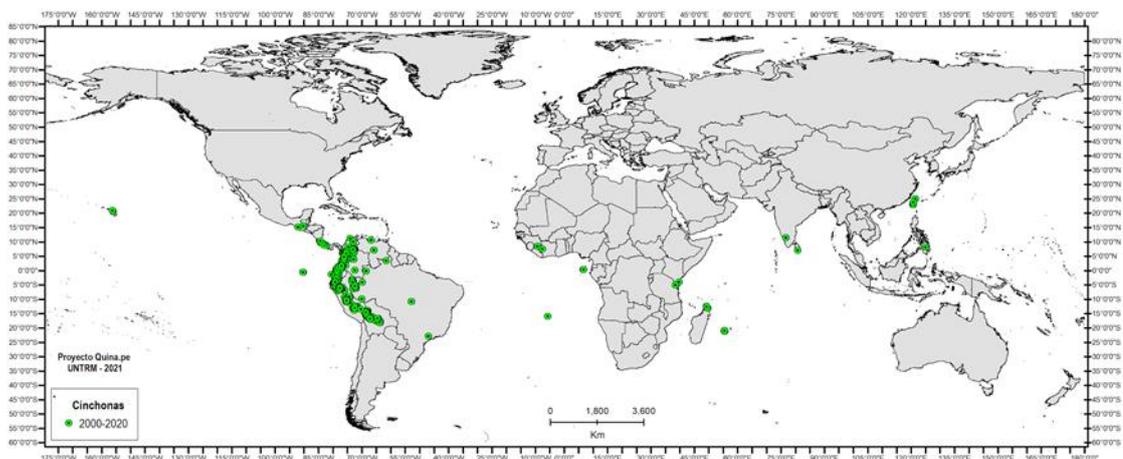
**Figura 2.** Georreferencias históricas de especies de *Cinchona* entre 1800 -1899

Las referencias geográficas históricas entre 1800 a 1899, están plasmadas en el mapa de la Fig. 2, en el mapa que tiene los puntos de color naranja que representan datos registrados en 9 países: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Bolivia, Jamaica, Madagascar, India e Indonesia, con un total de 70 georreferencias. El país que tuvo mayor número de colectas es la India (19 colectas), seguido con Bolivia (12 colectas) y los países con menores georreferencias son Colombia y Jamaica con 2 colectas para cada país. Para finalizar, si hablamos de nuestro país, el Perú ocupa el cuarto lugar con 9 colectas en las georreferencias histórica para los años 1800-1899.



**Figura 3.** Georreferencias históricas de especies de *Cinchona* entre 1900 -1999

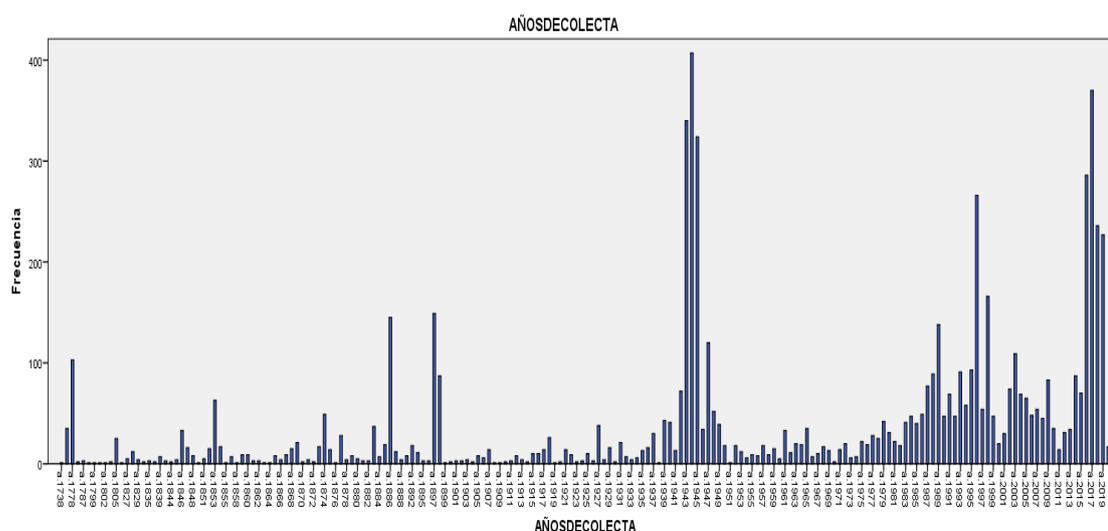
La Fig. 3, muestra los puntos de color morado, georreferencias encontradas en 34 países de los cuales son: Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Nigeria, Nicaragua, Honduras, Taiwán, Australia, México, Madagascar, Etiopía, Costa de Marfil, Camerún, República Democrática del Congo, Papúa Nueva Guinea, Malasia, Burundi, Brasil, Jamaica, China, Santo Tomé y Príncipe, Reunión, Porto Novo, Polinesia Francesa, Hawái, Indonesia, Ruanda, Guinea, Guatemala y Tanzania. Con un total de 1472 georreferencias en todo el mundo. El país que tuvo número de colectas históricas entre los años 1900-1999 fue Colombia con 514 georreferencias seguidos de Ecuador y Perú con 342 y 245 georreferencias, respectivamente. Los países con menores georreferencias fueron Nigeria y Nicaragua con 1 georreferencia para cada país y la otra gran mayoría de países ni siquiera registran 10 georreferencias. Es importante mencionar que en la Región de Amazonas (Perú) sí existen georreferencias históricas para este tercer centenario, que han sido encontradas en las provincias de Bagua (9), Bongará (7), Chachapoyas (4), Rodríguez de Mendoza (3), Utcubamba (2), Condorcanqui (2) y Luya (1).



**Figura 4.** Georreferencias históricas de especies de *Cinchona* entre 2000 -2020

La Fig. 4, muestra los puntos de color verde, que detalla las referencias geográficas históricas entre 2000-2020, en un total de 20 países registrados: Perú, Bolivia, Ecuador, Brasil, Colombia, México, Tanzania, Islas Galápagos, India, Guinea, Reunión, Santa Elena, Taiwán, Hawái, Filipinas, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Santo Tomé y Príncipe y Madagascar. En total, se consiguió registrar un total de 2502 georreferencias en todo el mundo para los primeros 20 años de este

centenario. El país que tuvo mayor porcentaje de colectas históricas entre los años 2000-2020 fue el Perú con 822 colectas, seguido de Ecuador y Colombia con 713 y 377 colectas respectivamente. Los países con menores georreferencias son Panamá y Santa Elena. Es importante mencionar que, en el Departamento de Amazonas (Perú) al igual que en las colectas históricas de los años 1900-1999, sí existen georreferencias históricas que han sido encontradas en las provincias de Chachapoyas, Luya, Bagua, Bongará y Rodríguez de Mendoza.

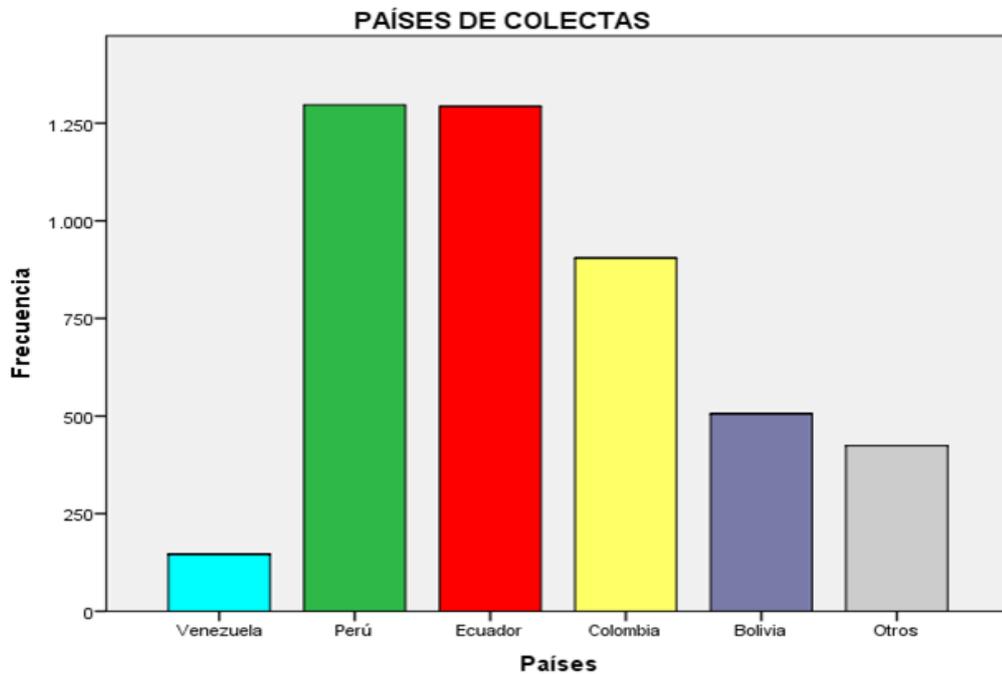


**Figura 5.** Datos históricos para años de colecta de *Cinchona* a nivel mundial.

Se identificaron los años en los que se realizaron las colectas de *Cinchona* según las fuentes de información, tanto a nivel de género o a nivel de especie. La Fig. 5, compila la información histórica por años, y muestra que en el año 1738 se registraron las primeras colectas con referencias geográficas, encontradas en el Herbario del Field Museum (2020), en los países de en Perú y Ecuador. Con respecto al año 2020 en Perú se hicieron 17 colectas del género *Cinchona*, destacándose así los artículos científicos de Barrutia *et al.*, (2020) y Sánchez *et al.*, (2020). Estas colectas tuvieron un fin de conservación.

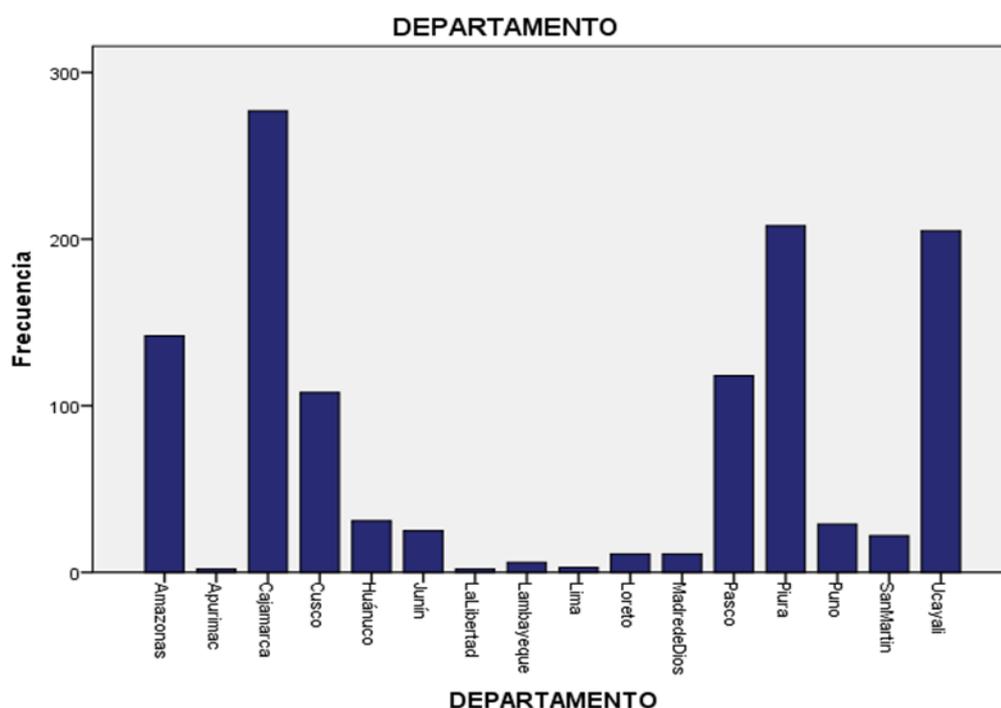
La Fig. 5 también muestra que 1944, fue el año que tuvo mayor número de colectas registradas (407 registros), superando a los registrados del año 2017 (370 registros). Entre los que más destacan con sus colectas de Karst en 1944 (Andersson, 1994) y las colectas de Ruiz y Pavón (1944) depositadas en el Herbario del Field Museum

(2020). Algunas de estas muestras se encuentran en una situación de georreferencia desconocida. Por otro lado, en los años 1738; 1798; 1799; 1800; 1801; 1802 entre otros, se muestra que, solamente existe registro de una sola colecta anual.



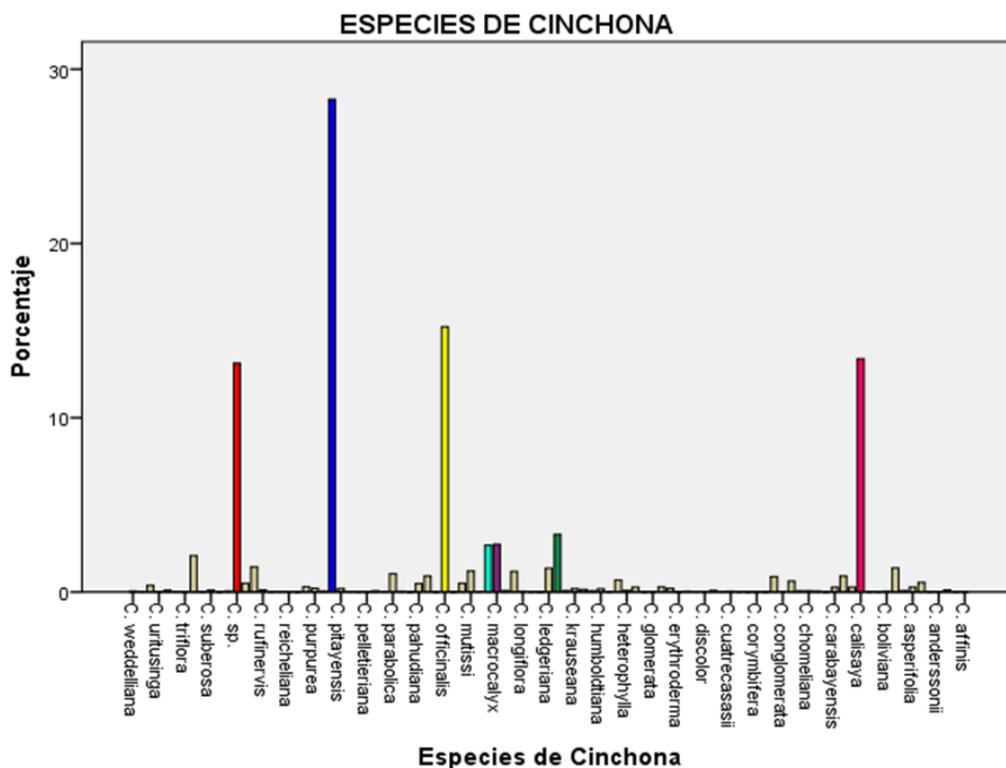
**Figura 6.** Países dónde se han recolectado *Cinchonas* a nivel mundial.

La Fig. 6, muestra datos históricos respecto a las georreferencias en 41 países donde se han colectado especies del género *Cinchona* a nivel mundial. Los mayores valores de georreferencias corresponden a Perú (color rojo) con 1297 colectas, con solamente 4 georreferencias adicionales respecto a Ecuador con 1293 colectas (color verde). Además, Colombia (color amarillo) presenta 904 colectas, Bolivia (color azul) y Venezuela (color celeste) con 505 y 145 colectas respectivamente. Finalmente, los países (color plomo) como Guatemala, Brasil, Panamá junto a los 33 países se han caracterizado en el grupo de otros, por tener un número de georreferencias menor a 10 por país.



**Figura 7.** Departamentos dónde se han recolectado *Cinchonas* en el Perú.

Las regiones con registros donde se han recolectado *Cinchonas* en el Perú se muestran en la Fig. 7. Las colectas mostraron que el género *Cinchona* fue reportada en 16 de los 24 departamentos del país. Cabe mencionar que en el Perú registra la mayor cantidad de especies reportadas (19) en esta investigación respecto de las 24 existentes. La Región de Cajamarca registro el mayor número de colectas (277), y donde se registran también deforestación de *Cinchona*, para la extracción de quinina e instalación de pasturas para la actividad de la ganadería (Zevallos, 1989).



**Figura 8.** Récord de especies del género *Cinchonas* dónde se han recolectado *Cinchonas* en el Perú.

Las regiones que tienen menor número de colectas se registraron en Apurímac y La Libertad (2 para cada Departamento); colectados para estudios de conservación del Género *Cinchona* en ambos casos (Andersson, 1998; Barrutia *et al*, 2020). La Región Amazonas, ocupa el cuarto lugar respecto al número de colectas, con (142 registros). Las provincias con más colectas son Luya y Bongará con sus distritos de San Jerónimo y Yambrasbamba (El Progreso) respectivamente, y en ambos Distritos la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza ha hecho estudios con la finalidad de la conservación (Sánchez *et al.*, 2020; Vázquez *et al.*, 2018).

La Fig. 8, muestra un récord histórico de especies del género *Cinchona* que se han encontrado en diferentes herbarios, fuentes bibliográficas y bases de datos a nivel mundial. El número de nombres designados como especies según nuestros registros históricos, desde 1738 hasta 2020 fueron de 97. El mayor número de registros es la de la barra azul, de la *Cinchona pubescens* (3070 georreferencias), seguida la barra amarilla de *Cinchona officinalis* (1653 georreferencias), luego la de la barra fucsia la *Cinchona calisaya* (1453 georreferencias) y la de la barra roja,

que es *Cinchona* sp. (1426 georreferencias). El resto de las especies se han registrado en menos proporción a las ya mencionadas; sin embargo, es necesario mencionar que, a través de los años, los nombres científicos varían por sinonimia, por ejemplo 330 nombres fueron considerados inicialmente como especies del género *Cinchona*, que posteriormente, Anderson (1998) los clasificó en 24 especies.

### 3.2. Lugares climáticamente potenciales para la distribución actual de *Cinchona* sp.

#### 3.2.1. Registro de presencia y bases de datos climáticos

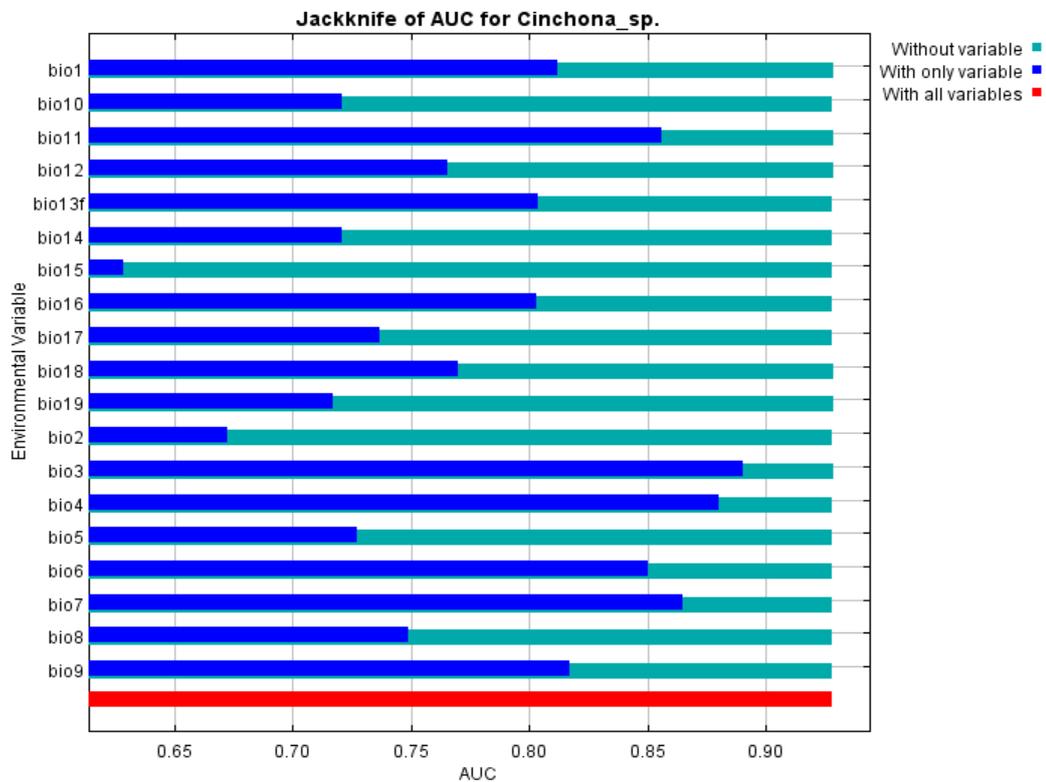
Se utilizó un total de 4046 georreferencias de las del género *Cinchona* encontradas en el mundo, obtenidas de colecciones bibliográficas y bases de datos. La Tabla 01, muestra un total de 19 variables bioclimáticas con una resolución espacial de 1km obtenidas de estaciones meteorológicas de entre 1950-2000 (Hijmans *et al.*, 2005). Se muestra también, el nivel de contribución relativa de cada variable climática, determinándose que, las variables: bio1, bio3, bio4, bio9, bio14 y bio17 son las que ayudan a predecir de manera más efectiva la distribución potencial de *Cinchona* en la Región de Amazonas y el Perú, siendo la temperatura estacional la más importante.

**Tabla 1.** Estimación de la contribución relativa para las variables bioclimáticas del MAXENT según López- Mata *et al.* (2014)

| Variable     | Variable  | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación |
|--------------|---|----------------------------|----------------------------|
| <b>bio4</b>  | Temperatura estacional (Desviación estándar *100) en °C | <b>49.5</b>                | <b>8.4</b>                 |
| <b>bio3</b>  | Isotermalidad (Bio1/Bio7) * 100                         | <b>23.9</b>                | <b>71.2</b>                |
| <b>bio1</b>  | Temperatura media anual en °C                           | <b>12.7</b>                | <b>0.1</b>                 |
| <b>bio9</b>  | Temperatura promedio en el trimestre más seco en °C     | <b>6.2</b>                 | <b>1.4</b>                 |
| <b>bio17</b> | Precipitación en el trimestre más seco en mm            | <b>2.5</b>                 | <b>4.5</b>                 |

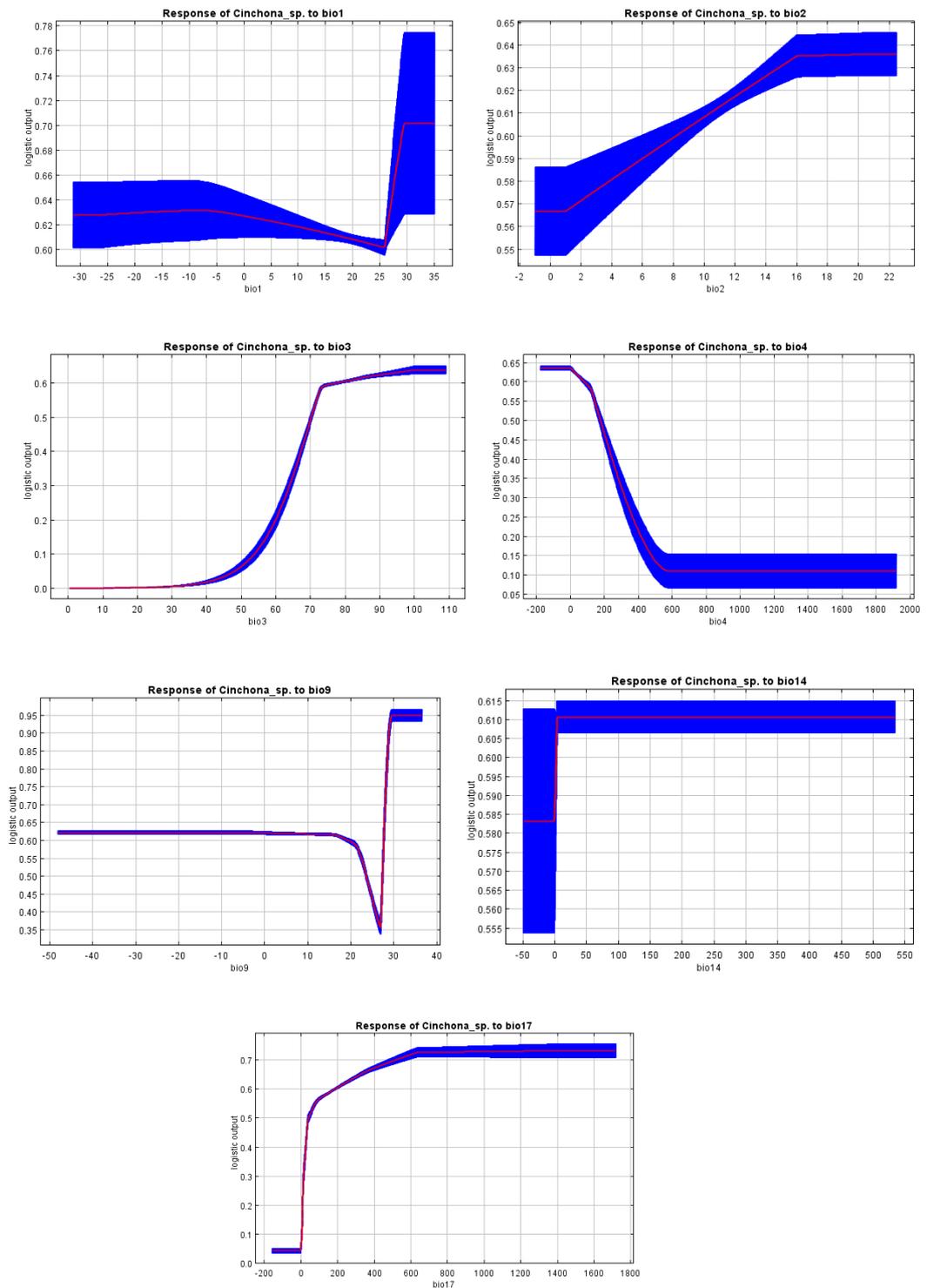
|              |   |            |            |
|--------------|---|------------|------------|
| <b>bio14</b> | Precipitación en el periodo más seco en mm                            | <b>2.1</b> | <b>0</b>   |
| <b>bio5</b>  | Temperatura máxima del mes más caliente en °C                         | <b>1.1</b> | <b>12</b>  |
| <b>bio10</b> | Temperatura promedio en el trimestre más caluroso en °C               | <b>0.4</b> | <b>0.2</b> |
| <hr/>        |   |            |            |
| <b>bio12</b> | Precipitación anual en mm   | <b>0.4</b> | <b>0.2</b> |
| <b>bio18</b> | Precipitación en el trimestre más caluroso en mm                      | <b>0.3</b> | <b>0.2</b> |
| <b>bio7</b>  | Rango anual de temperatura (Bio5-Bio6) en °C                          | <b>0.2</b> | <b>0.1</b> |
| <b>bio8</b>  | Temperatura media en el trimestre más lluvioso en °C                  | <b>0.2</b> | <b>0.6</b> |
| <b>bio16</b> | Precipitación en el trimestre más lluvioso en mm                      | <b>0.1</b> | <b>0</b>   |
| <b>bio11</b> | Temperatura promedio en el trimestre más frío en °C                   | <b>0.1</b> | <b>0</b>   |
| <b>bio6</b>  | Temperatura mínima del mes más frío en °C                             | <b>0.1</b> | <b>0.4</b> |
| <b>bio15</b> | Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)         | <b>0.1</b> | <b>0.4</b> |
| <b>bio13</b> | Precipitación en el periodo más lluvioso en mm                        | <b>0.1</b> | <b>0.3</b> |
| <b>bio2</b>  | Promedio del rango diario (Promedio mensual (T° máx. - T° min.) en °C | <b>0</b>   | <b>0</b>   |
| <b>bio19</b> | Precipitación en el trimestre más frío en mm                          | <b>0</b>   | <b>0</b>   |
| <hr/>        |   |            |            |

## Pruebas Jackknife



**Figura 9.** Test de Jackknife (AUC) para las variables bioclimáticas en el modelado MAXENT.

La prueba de Jackknife (AUC) está representado en la Fig. 9, y explica la importancia de las variables climáticas (barras azul oscuro) utilizadas en el modelado MAXENT en relación con todas las variables (barra inferior), de datos obtenidos de las presencias de *Cinchona* a nivel mundial. Los mayores valores se presentan en las variables: bio1, bio3, bio4, bio9, bio14, bio17. La longitud de la barra celeste muestra el grado de estimación de la importancia de cada variable en la distribución del género *Cinchona* en la Región Amazonas y el Perú.



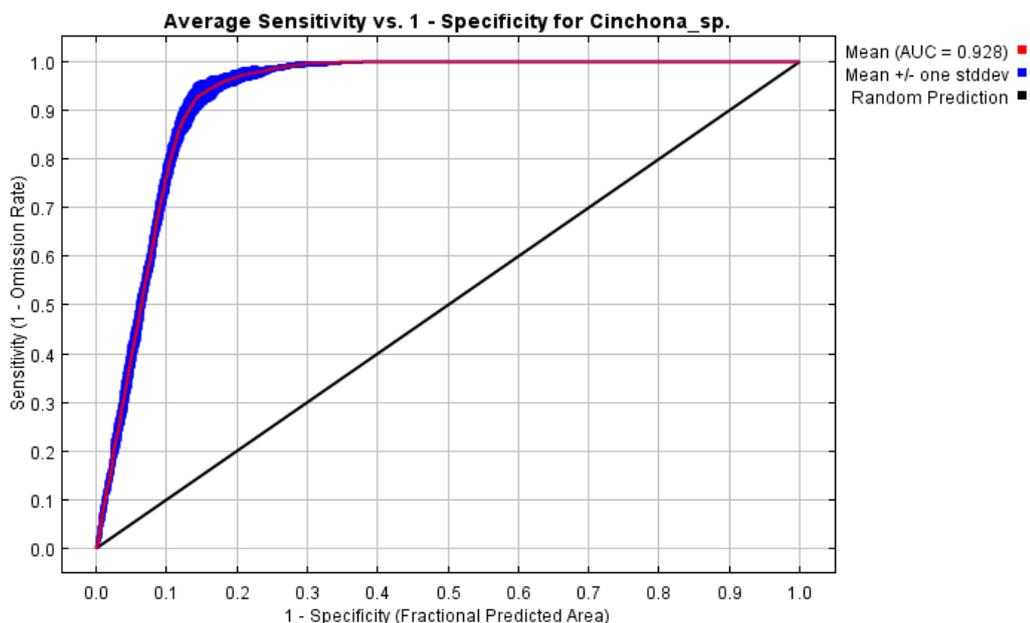
**Figura 10.** Curvas de respuesta del MAXENT para *Cinchona sp.* en Perú.

Se presentan las curvas de respuesta del MAXENT para *Cinchona sp.*, en el Perú (Fig. 10), con la información para las variables: bio1, bio3, bio4, bio9, bio14 y bio17, por tener el mayor nivel de contribución relativa y que ayudan a predecir de manera más efectiva la distribución geográfica potencial actual en el país. En

el eje de las “x” representa valores de la variación del valor climático, y el eje de las “y” explica valores para la probabilidad de hallar *Cinchona* sp. en el Perú.

Para la bio1 existe más probabilidades de hacer *Cinchona* sp. cuándo la variación del valor climático empieza a subir considerablemente. En la bio2 existe más probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. de forma temprana pues en la imagen donde muestra la bio2 la variación climática se da desde 2. En la bio3 la probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. se da cuándo la variación climática se da a partir de 40 y va aumentando considerablemente de 10 en 10. En la bio4 la probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. se reduce de 200 en 200 hasta llegar a un punto constante, el cual se muestra en la figura donde muestra la bio4. En la bio9 la probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. va de forma constante hasta el punto de bajar a partir de la variación del valor climático de 20 de eje x. en la bio14 la probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. es alta y constante. Y por último en la bio17 la probabilidad de encontrar *Cinchona* sp. aumenta de considerablemente cuándo la variación del valor climático va desde 0 en adelante.

### 3.2.2. Pruebas omisión- sensibilidad



**Figura 11.** Prueba de omisión- sensibilidad para *Cinchona* sp. en la corrida del MAXENT.

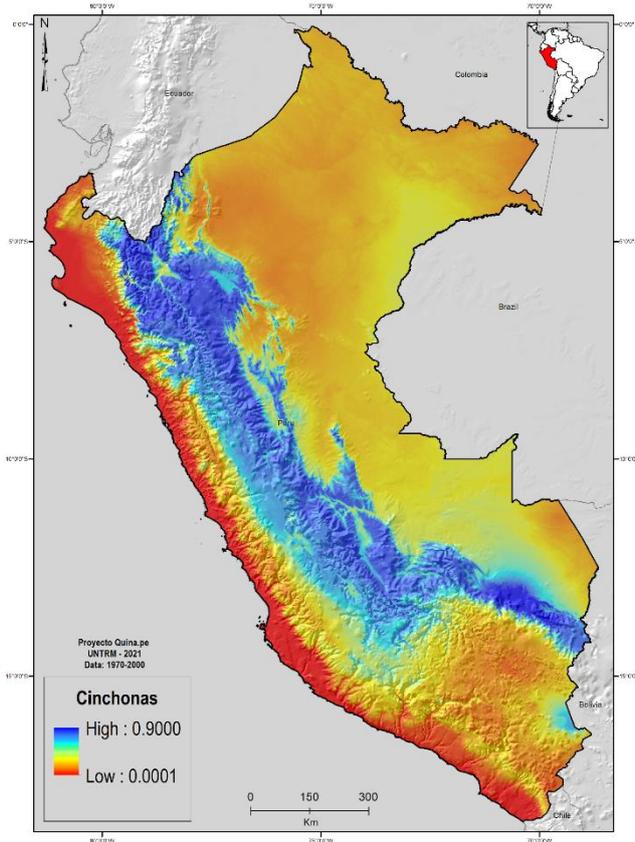
La Fig. 11 muestra la capacidad de predicción del modelo MAXENT en el género *Cinchona*, mediante el método de umbral de independencia del área bajo la curva operada por el receptor (más conocidos como AUC, “area under the curve” en inglés (Área bajo la curva) y ROC, “receiver operating characteristics curves” en inglés (Curva Característica Operativa del Receptor) (Hanley y Mcneil, 1982). En este estudio, resultó un AUC = 0.928, valor muy cercano a 1 que es la perfecta discriminación del modelo, y que indica un buen desempeño del modelo para discriminar las áreas con y sin presencia de la especie (Phillips *et al.*, 2006; Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2008).

### 3.2.3. Distribución geográfica de *Cinchona* sp. en Perú y la Región Amazonas

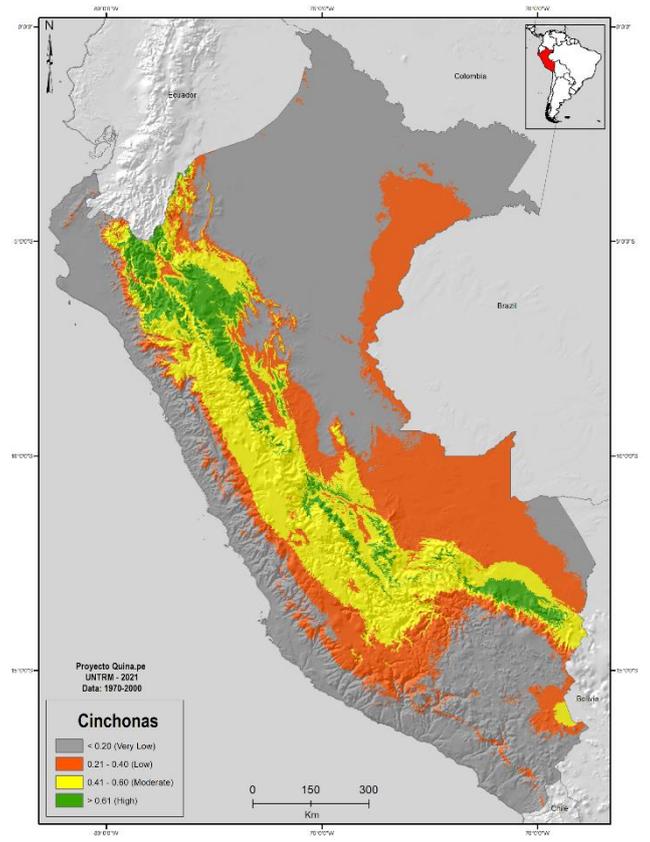
La Tabla 2, Figs. 12-13, detallan las áreas geográficas y niveles de probabilidad de presencia del género *Cinchona* sp. en el Perú (área = 1 285 216.60 km<sup>2</sup>) y específicamente en la Región Amazonas (área= 42 050.38 km<sup>2</sup>). En este sentido, la región Amazonas presenta 10 228 km<sup>2</sup> con alta probabilidad de presencia para este género en su territorio, lo que representa el 24.32% del territorio de esta región. En tanto que, el Perú presenta 59 244.5 km<sup>2</sup> de alta probabilidad de presencia. Seguidamente, se determinaron las áreas para las siguientes clasificaciones de ocurrencia como moderada, baja y muy baja para Amazonas y Perú (Tabla 2).

**Tabla 2.** Áreas y niveles de probabilidad de presencia potencial de *Cinchona* sp. a nivel Perú y en la Región Amazonas.

|                 | <b>Amazonas km<sup>2</sup></b> | <b>Perú km<sup>2</sup></b> |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Muy bajo</b> | 5784.1                         | 55 2859.2                  |
| <b>bajo</b>     | 7004.9                         | 28 1345.9                  |
| <b>Moderado</b> | 9510.0                         | 19 0217.4                  |
| <b>Alto</b>     | 10 228.0                       | 59 244.5                   |



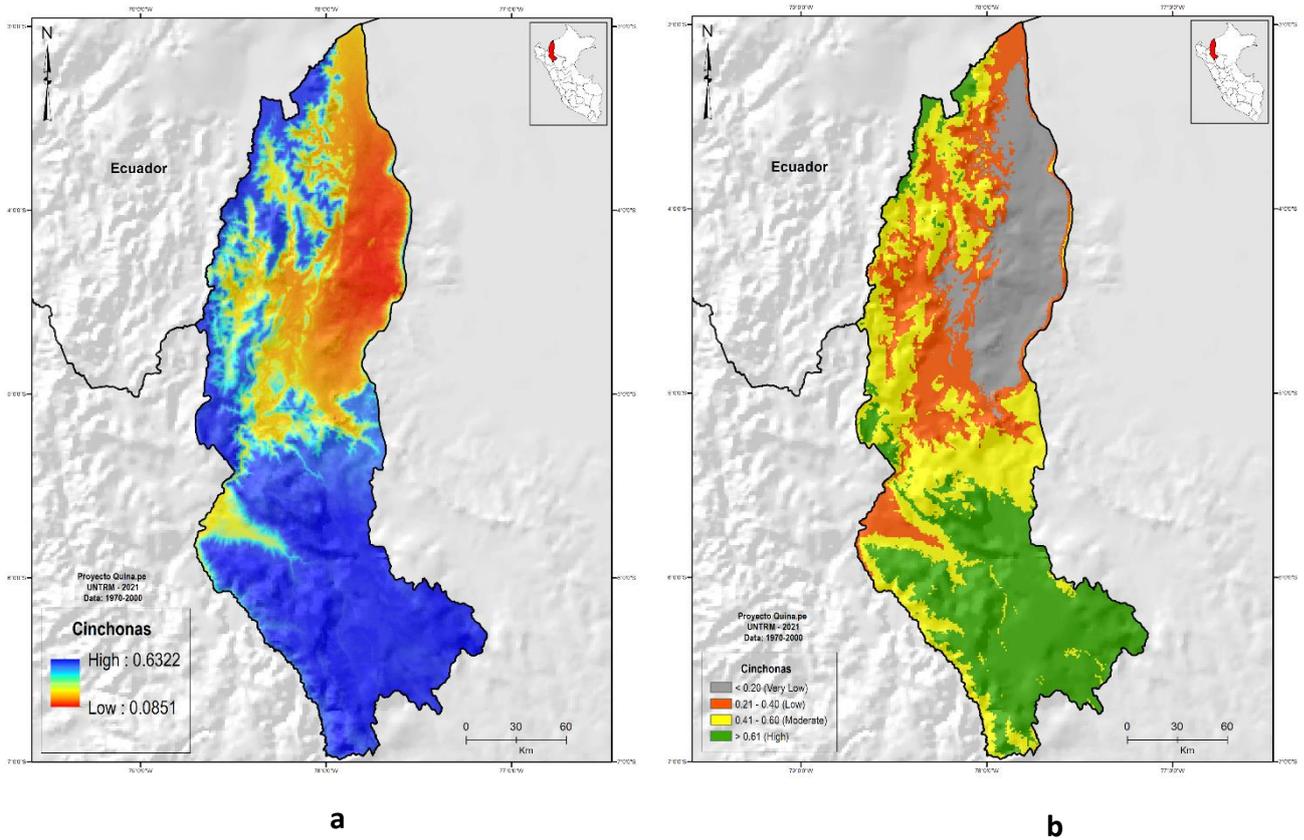
a



b

**Figura 12.** Probabilidad de ocurrencia para la *Cinchonas* en Perú

La Fig. 12 del lado izquierdo (a) indica el valor numérico de probabilidad para la presencia de *Cinchonas* en el Perú. Estos valores van desde 0.01% (Color Rojo) hasta el 90% (Color azul oscuro). De otra manera, al lado derecho (b) se muestra la probabilidad para la presencia de *Cinchonas* en el Perú con la siguiente clasificación muy bajo (menor a 0.20), bajo (desde 0.21 a 0.40), moderado (desde 0.41 hasta 0.60) y alto (mayor a 0.61) con los siguientes colores plomo, naranja, amarillo y verde respectivamente.



**Figura 13.** Probabilidad de ocurrencia para las *Cinchonas* en la Región Amazonas

La Fig. 13, muestra del lado izquierdo (a) indica el valor numérico de probabilidad para la ocurrencia de *Cinchonas* en la Región Amazonas. Estos valores van desde 8.51% (Color Rojo) hasta el 63% (Color azul oscuro). De otra manera al lado derecho (b) se muestra la probabilidad para la ocurrencia de las *Cinchonas* en esta región, con la siguiente clasificación muy bajo (menor a 0.20), bajo (entre 0.21 y 0.40), moderado (entre 0.41 y 0.60) y alto (mayor a 0.61) con los siguientes colores plomo, naranja, amarillo y verde respectivamente.

#### IV. DISCUSIÓN

La prueba Jackknife, tiene como función principal correr cada modelo con cada variable por sí sola para medir el aporte de la variable particular, variables climáticas son la combinación de temperatura y precipitación, por lo que pueden estar correlacionadas entre sí (Shcheglovitova y Anderson, 2013).

Además, podemos deducir que la Isotermalidad, es el índice de variabilidad de la temperatura  $(P2/P7) * 100$  (Razón del rango diario promedio con respecto al rango anual) (Hijmans *et al.*, 2005).

$$\text{Isotermalidad} = (Bio2/Bio7) * 100, \text{ en cada estación}$$

Los registros del género *Cinchona*, a nivel genérico o de especies, fue rastreada a través de la historia en el presente estudio. Esta información recopilada es valiosa al generar una base de datos para estudios de conservación de la biodiversidad, para el entendimiento de la sostenibilidad y la resiliencia de los ecosistemas (Fonseca *et al.*, 2010).

Desde principios del siglo XVI, se conoce que los pueblos originarios de la cordillera de los Andes le dieron un uso medicinal al árbol de la quina (Jaramillo, 1951). Con el tiempo, se ha intentado difundir en el mundo las especies de este género expandiendo geográficamente su distribución debido a que el género *Cinchona* en la actualidad corre peligro de extinguirse (Aymard, 2019), con poco o nulo éxito en la mayoría de los casos, así lo demuestran las georreferencias históricas de la presente investigación. Desde los primeros registros (año 1738) de *Cinchona* y al establecerse la ruta de la quina (Crawford, 2016), se reportan presencias, desde la zona central de Bolivia hasta los límites de Colombia con Venezuela en el departamento del Norte del Santander. A la presente fecha, existen los mayores registros: Perú, Bolivia, Ecuador, así como, en cada uno de los siglos transcurridos hasta la actualidad (1738-1799; 1800-1899; 1900-1999; 2000-2020).

En el primer centenario (1738-1799), las colectas de *Cinchona* sp. se restringen solo Perú y Ecuador (Fig. 1). Mostrando importancia inicial que se le dio al valor medicinal de la corteza del árbol de la quina en el siglo XVII, y, que fue descubierto por primera vez en Loxa (ahora Loja, Ecuador) por los monjes jesuitas (Roersch van der Hoogte y Pieters, 2015) para combatir la malaria y fuertes fiebres (Verveen, 1984). Para el

segundo centenario desde el primer registro (1800-1899), las colectas se extienden a más países de Sudamérica (Fig. 2), así, por ejemplo, Sandoval y Echandía (1986), explicaron que, en Colombia, los tres auges quínicos más importantes en este país, se han dado en este centenario (años 1850-1882), obedeciendo a la demanda externa de esos años. En 1852, se recibió en Java (Indonesia), la primera planta viva de quina del tipo *Cinchona calisaya*, que se cultivó a partir de semillas recolectadas por Weddell en Bolivia (Ferwerda, 1969).

Para el tercer centenario (1900-1999), la expansión del árbol de la quina se demuestra en las 1472 georreferencias en 35 países alrededor del mundo (Fig. 3). Eventos como la segunda guerra mundial y el aumento de casos de malaria, provocaron importaciones de corteza de *Cinchona* a USA desde Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia (Hodge, 1948). Además, se generó un importante suministro de aproximadamente del 95% de la quinina del mundo en medio siglo (1950) desde las plantaciones de quina del lejano oriente, principalmente en India y Java (Indonesia) (Ferwerda, 1969), llevadas como semillas y plántulas después de muchas dificultades como la oposición hostil durante el siglo pasado de América del Sur andina (Hodge, 1948). Poco después de la Segunda Guerra Mundial, al árbol de la quina, se le empezó a considerar como maderable (Acosta, 1960) y se estableció su valor, por su buena calidad para tablas y mueblería. Todo esto, provocó devastación y deforestación en los bosques hasta el punto de que casi ser arrasadas por completo (Hodge, 1947).

En el centenario de 1800-1899, el continente africano solamente registra una georreferencia en Madagascar, y para el centenario de 1990-1999 aumentaron significativamente las datas de colectas (Figs. 3-4), extendiéndose a tal punto que, en 1911 se registran importaciones de corteza de *Cinchona* desde África a Europa (Hodge, 1948; Roersch van der Hoogte y Pieters, 2015). Según el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), hubo 451.000 muertes en todo el mundo por malaria, y 219 millones de casos de infección en el 2017, el 92% de los casos infectados se han notificado en el continente africano (OMS, 2018), por lo que se presume el aumento de georreferencias de colectas de *Cinchonas* en este continente.

En 1865, un inglés llamado Ledger, había recolectado material vegetal del árbol de la quina en Bolivia (Aymard, 2019). A partir de esta semilla, se cultivaron aproximadamente 12 000 plantas en Indonesia, que para el año 1890 ya era llamada C.

*ledgeriana* (Ferwerda, 1969). Con el pasar de los años, Hodge (1948) describió al complejo botánico de *Cinchona pubescens* como la más amplia gama de las especies, información ahora reforzada por el mayor número de registros históricos de la *Cinchona pubescens* (3070 georreferencias) de esta investigación. Esta especie más utilizada para tratar la malaria, especialmente la proveniente de la región de Loja, Ecuador (Aymard, 2019). Por otro lado, Calisaya" (*C. calisaya* Wedd.) fue una de las más ricas de todas las cortezas de quinina silvestre, y fue la última de las especies importantes por descubrir a principios del siglo XIX en Bolivia y sur del Perú (Hodge, 1948).

Aunque la gama natural de *Cinchona* se registró desde sus inicios como extensa a través de aproximadamente 30 grados de latitud norte y sur del Ecuador y desde el nivel del mar hasta los límites superiores de crecimiento de árboles alrededor de 11 000 pies (Hodge, 1948), se ha ido extendiendo aún más en el mundo tal como se muestra en la presente investigación (Figs. 1-4). Humboldt, acompañado de Bonpland, ingresó desde Loja (Ecuador) al Perú en agosto de 1802, y en diciembre del mismo año, abandonó el país (Herrera, 1939). En su exploración botánica en Jaén, Cajamarca, Humboldt encontró la presencia de cascarilla, de tan buena calidad como la de Loja, Tulusa, Sallique y Tabacona (Sánchez y Sánchez, 2012).

Respecto a los registros históricos de las especies del género *Cinchona*, durante los siglos XVIII y XIX, nuevas especies fueron descritas por Mutis (1793), Ruíz-López, Pavón y Jiménez (1799, 1802); von Humboldt (1805) y Bonpland (1808). Entre 1804-1805; el botánico e ilustrador navarro Tafalla y Nabasques herborizó intensamente material de *Cinchona* al sur del Ecuador y norte del Perú (Aymard, 2019). José Antonio Pavón y Jiménez, reportó posibles nuevas especies de *Cinchona*, que nunca publicó oficialmente. Posteriormente, Lambert en 1821, P. de Candolle en 1829 y J. Lindley en 1838, publicaron varias especies de *Cinchona* (Aymard, 2019). Sin embargo, Howard adquirió el manuscrito de Pavón y le añadió ilustraciones, y entre 1859 y 1862 culminó este trabajo (Andersson, 1998).

El aporte de Karsten al conocimiento del género *Cinchona*, se centra en sus exploraciones botánicas durante 12 años en los territorios de Venezuela, Colombia y Ecuador (Röhl, 1944). En este sentido, hasta 1859, Karsten enumeró 18 especies del género *Cinchona* ubicadas en el noreste de sudamérica (Aymard, 2019), mismas que Anderson (1998), luego reclasificó, en algunos casos, ubicándoles como especies

sinónimas (por ejemplo: *C. corymbosa* H. Karst., y *C. trianae* H. Karst. fueron sugeridos como sinónimos de *C. pitayensis* (Wedd.), en otros casos, validando o invalidando sus nombres (*C. corifolia* var. *peruviana* Howard = nombre inválido; *Cinchona barbacoensis* H. Karst. = especie válida), y hasta incluso ubicándolas dentro de otros géneros (por ejemplo, *C. henleana* H. Karst. pasó a ser *Ladenbergia muzonensis* (Goudot Standl.).

Es de importancia, mencionar que, basados en información de dos análisis filogenéticos (Andersson y Antonelli, 2005 y Manns y Bremer, 2010), la tribu *Cinchoneae* es considerada un grupo monofilético *sensu stricto* (es decir que descienden de un antepasado común). Los géneros *Cinchona*, *Cinchonopsis*, *Joosia*, *Ladenbergia*, *Remijia* y *Stilpnophyllum*, también han sido considerados monofiléticos (Taylor, 2017). Alcaloides tipo *Cinchona* también se han encontrado en los géneros relacionados *Ladenbergia* y *Remijia* (Okunade *et al.*, 2001; Ruiz-Mesia *et al.*, 2005; Cosenza *et al.*, 2013), donde el contenido de quinina no solo varía entre especies (Nair, 2010), sino también entre poblaciones de diferentes sitios, complicando la identificación de la *Cinchona* más productiva de corteza (Townley, 1922; Holland, 1932).

Se hace imprescindible que, en adelante, los estudios del género *Cinchona* y sus especies se realicen, en base a análisis filogenéticos, que permitan facilitar rápidamente la construcción de los árboles de la vida, mejorando la clasificación taxonómica y desenredando complejas historias evolutivas (Wen *et al.*, 2017). Pese a ello, y mientras eso suceda, los esfuerzos de los científicos por evitar la deforestación y promover la conservación y estudios de *Cinchona*, no debe cesar.

En la presente investigación, se calculó además las áreas de presencia más probables para *Cinchona* sp. en el Perú, haciendo énfasis en la Región Amazonas (Phillips *et al.*, 2006). Para ello, se usó el modelo de Máxima entropía (MAXENT), que es uno de los más populares específicamente por los óptimos resultados (Villar y Perez, 2015). La potencialidad del modelo utilizó los sitios con presencia de *Cinchona* confirmada, del cual obtuvo las características del hábitat (pese a que, en los datos históricos, se tuvo información de lugares a nivel general, se usó para el modelo, solamente información con georreferencia), y luego predijo la existencia de áreas potenciales con las mismas condiciones ambientales donde la especie no ha sido registrada aún (Phillips *et al.*, 2006).

Los mapas de probabilidad de ocurrencia para las *Cinchonas* en la Región Amazonas (10 228.0 km<sup>2</sup> de alta probabilidad) y en el Perú (59 244.5 km<sup>2</sup> de alta probabilidad) obtenidos en la presente investigación, se propone que sea usada como una herramienta que refuerce el Plan de Acción para el repoblamiento Forestal con Especies del género *Cinchona* (Árbol de la Quina) 2020-2022 en el Perú (Albán *et al.*, 2020), en al menos dos de sus bases.

Por ejemplo, dentro de las áreas identificadas con mayor probabilidad de presencia del árbol de la quina, debe revisarse las áreas a priorizar de los planes de servicios ecosistémicos acorde a la identificación de las variables bioclimáticas óptimas. Esta investigación muestra áreas potenciales en las Regiones de Piura, Cajamarca, Amazonas, San Martín, La Libertad, Huánuco, Pasco, Junín, Cusco, Madre de Dios, Puno y Ayacucho, mientras que, la Resolución Directoral Ejecutiva excluye, a las Regiones San Martín, La Libertad, Madre de Dios, Puno y Ayacucho, además que, contradictoriamente, enlista a las Regiones como: Lambayeque y Lima, donde las probabilidades para la distribución son muy bajas y nulas respectivamente. En este mismo sentido, la resolución excluye en la Región Amazonas las provincias de: Rodríguez de Mendoza, y Chachapoyas, donde se observa que, más de 90% del territorio tiene potencial muy alto para la distribución del árbol de la quina. En este mismo sentido, va la identificación de lugares potenciales de presencia de especies del género *Cinchona* para el recojo de semillas y uso priorizado de tres especies de ese mismo género en la Resolución mencionada.

Finalmente, se advierte que, antes de intentar repoblar el Perú de *Cinchona* según el Plan Nacional propuesto, deben asegurarse que, las semillas colectadas, pertenezcan al menos, a especies del género *Cinchona*, y que, para conservar el hábitat natural de los ecosistemas, las estrategias a tomarse en cuenta, deben tener presentes que, las especies de *Cinchona* se prestan a la hibridación cuando se encuentran (Anderson, 1988) y que, el muestreo de *Cinchona* en el sur, sigue siendo menor en comparación con el norte del país, tal como se muestran en las georreferencias descritas en esta investigación.

## V. CONCLUSIONES

- ✓ Los resultados demostraron que el Perú es en donde se encontró mayor registro de *Cinchonas* con 1297 colectas. La especie que tuvo el mayor número de registros es la *Cinchona pubescens* (3070 georreferencias), desde 1738 hasta 2020. El año en el que hubo mayor registro de colectas de *Cinchona* fue en 1944 (407 registros), superando a los registrados del año 2017 (370 registros). Además, la probabilidad de presencia de *Cinchona* en el Perú está en los Departamentos de Puno, Cajamarca y Amazonas que se notó la presencia de *Cinchona* en las Provincias Luya y Rodríguez de Mendoza. En total se registró 97 especies del género *Cinchona* se encontraron a partir del siglo XVIII, desde 1738 que fue la georreferencia más antigua que se encontró, estas 97 especies son descritas por varios autores, pero Andersson en 1998 aclara y menciona que actualmente existen 24 especies a nivel mundial.
- ✓ Las colectas mostraron que el género *Cinchona* fue reportada en 16 de los 24 Departamentos del país. Cabe mencionar que en el Perú registra la mayor cantidad de especies reportadas (19) en esta investigación respecto de las 24 existentes. La Región de Cajamarca registro el mayor número de colectas (277), y donde se registran también deforestación de *Cinchona* y que la *Cinchona officinalis*, especie que se encuentra en el escudo nacional del Perú tiene menores registro en el país en comparación con *Cinchona pubescens*.
- ✓ Con respecto a los programas, MaxEnt y su entorno en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como en el ArcGIS; fueron esenciales para poder generar los mapas históricos de la distribución geográfica de *Cinchona* sp. y en la determinación de lugares climáticamente potenciales para la distribución del mismo género.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda dar más importancia al género *Cinchona* sp. no sólo por lo que contiene (quinina) y su excesiva deforestación de dicho género, sino que también sea en el tema social, económica y ambiental. Además de su estricta conservación y preservación de flora y fauna que quizás pueda ser modelados bajo escenarios del cambio climático en los últimos años que viene cambiando y el uso razonable de la deforestación.

La metodología empleada en esta investigación fue buena, está puede aplicarse con otros programas ya se en R o Climex, para la distribución geográfica histórica y actual de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú.

Dentro de esta investigación, se recomienda ampliar estudios que profundice significativamente la distribución geográfica histórica y actual de *Cinchona* sp. en la Región Amazonas y el Perú antes los escenarios de cambio climático, en el sentido de conservación y preservación de sí misma.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán-Castillo, J.; Chilquillo, E.; Melchor-Castro, B.; Arakaki, M.; León, B.; y Suni, M. (2020). *Cinchona L. "Árbol de la Quina": repoblamiento y reforestación en el Perú*. Revista Peruana de Biología, 27(3), 423-426. ISSN 1727-9933.
- Álvarez, J. (2013). *El árbol de la calentura*. Boletín Instituto Nacional de Salud, vol. 19, pp. 214-215. Disponible en: <https://repositorio.ins.gob.pe/handle/INS/296>
- Andersson, L. (1998). *A revision of the genus Cinchona (Rubiaceae-Cinchoneae)*. *Memoirs of The New York Botanical Garden*. 80: 1-75.
- Andersson, L. (1994). *Tribe Cinchoneae*. Pp. 3---82 in: Rubiaceae, part. 2, G. Harling. & L. Andersson (eds.), Flora of Ecuador, vol. 50. Berlings, Arlöv.
- Andersson, L. y A. Antonelli. (2005). *Phylogeny of the tribe Cinchoneae (Rubiaceae), its position in Cinchonoideae, and description of a new genus, Ciliosemina*. Taxon. 54:17-28.
- Aymard, G. (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(suplemento):234-241, noviembre de 2019.
- Barrutia, R.; Barreto, I.; y Velásquez, T. (2020). *Germinación de semillas de Cinchona officinalis L. en tres tipos de suelos de Cajamarca, Perú*. Revista Cubana de Ciencias Forestales [en línea] vol. 8, no. 1, pp. 75-87. ISSN 2310-3469.
- Crawford, M. (2016). *The Andean wonder drug: Cinchona bark and imperial science in the Spanish Atlantic 1630--1800*. The University Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA. 336 p.
- Cosenza, G.; Somavilla, N.; Fagg, C.; y Brandão, M. (2013). *Bitter plants used as substitute of Cinchona spp. (quina) in Brazilian traditional medicine*. *J. Ethnopharmacol.* 149, 790–796. doi: 10.1016/j.jep.2013.08.004.
- Delprete, P.; y Cortés-Ballén, R. (2016). *Rubiaceae*. 2: 2252--2343. In R. Bernal-González, S. R. Gradstein & M. Celis (eds.) Cat. Pl. & LÍq. Colombia. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá), Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, Colombia.

- Elith, J.; y Graham, C. (2006). *Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data*. *Ecography*, 29: 129-151.
- ESRI. (2016). *How Raster Calculator works*. Obtenido de Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Ferwerda, F. (1969). *Outlines of perennial crop breeding in the tropics*. <https://edepot.wur.nl/455436#page=121>.
- Fielding, A.; y Bell, J. (1997). *A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models*. *Environmental Conservation*, 24: 38-49.
- Fonseca, V.; Carvalho, G.; Sung, W. (2010). *Second-generation environmental sequencing unmasks marine metazoan biodiversity*. *Nat Commun* 1, 98 (2010).
- Gómez, A.; Beraun, L.; Gómez, O.; y Llatas, E. (2016). *Procesos de regeneración natural de la quina o cascarilla (Cinchona spp.): en los bosques de neblina del distrito de Kañaris, región Lambayeque*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), [en línea] pp. 7.
- Hernández, P. A.; Graham, C.; Master, L.; y Albert, D. (2006). *The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods*. *Ecography*, 29: 773-785.
- Herrera, F. (1939). *Exploraciones botánicas en el Perú*. Pp. 3—90. En Catálogo Alfabético de los Nombres Vulgares y Científicos de Plantas que Existen en el Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- Hijmans, R.; Cameron, S.; Parra, J.; Jones, P.; Jarvis, A.; y Richardson, K. (2006). *World-Clim version 1.4*. (En línea). Consultado 11 mar. 2017.
- Hijmans, R.; Cameron, S.; Parra, J.; Jones, P.; y Jarvis, A. (2005). *Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hodge, W. (1948). *Wartime Cinchona Procurement in Latin America*. *Economic Botany*, 2(3), 229-257. Retrieved January 10, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/4251902>.
- Hodge, W. (1947). *Cinchona Procurement in Latin America*. *Economic Botany*. University of Massachusetts (229-257 p.).

- Holland, J. (1932). *Ledger bark and red bark*. Bull. Misc. Inform. 1, 1–17. doi: 10.2307/4107725.
- Humboldt, A. y Bonpland, A. (1815). *Novo Genera et Species Plantarum*, volúmenes 1-2. De la Universidad de California.
- La Condamine, C. M de la. (1738). *Sur l'arbre du Quinquina*. Mém. Acad. Roy. Sci. (París) 1738: 226-246.
- León, B.; Nigel, P.; y Roque, J. (2006). *Introducción a las plantas endémicas del Perú*. Rev. Revista Peruana de Biología, ISSN 1561-0837. vol. 13(2), 9-22.
- Linnaeus, C. (1753). *Cinchona*. Species Plantarum vol. 1. Salvius. Stockholm, 172p.
- López-Mata, L.; Villaseñor, L; Cruz-Cárdenas, G.; Ortiz, E.; y Ortiz-Solorio, C. (2014). *Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México*. Botanical Sciences, 90(1), 27. <https://doi.org/10.17129/botsci.383>
- Macbride, F. (1936). *Flora of Perú*. Field. Mus. Nat. Hist. Chicago V. 13.
- Manns, U.; y Bremer, B. (2010). *Towards a better understanding of intertribal relationships and stable tribal delimitations within Cinchonoideae s.s. (Rubiaceae)*. Molecular phylo-genetics and evolution. 56: 21-39
- Mostacero, L.; Mejía, C.; y Gamarra, T. (2009). *Fanerógamas del Perú - Taxonomía, utilidad y Ecogeografía*. Universidad nacional de Trujillo. Edición. CONCYTEC. Primera edición. Edit. Graficart. Trujillo - Perú. 1331 p
- Nair, K. (2010). *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*. Amsterdam: Elsevier.
- Okunade, A.; Lewis, W.; Elvin-Lewis, M.; Casper, S.; y Goldberg, D. (2001). *Cinchonicine-derived alkaloids from the bark of the Peruvian Ladenbergia oblongifolia*. Fitoterapia 72, 717–719. doi: 10.1016/S0367-326X (01)00298-2.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *El Informe mundial sobre el paludismo 2018*. Recuperado de: <https://www.who.int/malaria/media/world-malaria-report-2018/es/>.
- Pérez-García, B.; y Liria, J. (2013). *Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género Thraulodes (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae)*. Revista Mexicana de Biodiversidad, 84: 600-611.

- Phillips, S.; y Dudík, M. (2008). *Modeling of species distribution with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation*. *Ecography*, 31: 161-175.
- Phillips, S.; Anderson, R.; y Schapire, R. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Roersch van der Hoogte, A.; y Pieters, T. (2015). *Science, industry and the colonial state: a shift from a German-to a Dutch-controlled cinchona and quinine cartel (1880–1920)*. *Hist. Techno.* 31, 2–36. doi: 10.1080/07341512.2015.1068005.
- Rodríguez, L.; y Young, K. (2000). *Biological diversity of Peru: Determining priority areas for Conservation*. *Ambio* 29(6): 329—337.
- Röhl, E. (1944). *Hermann Karsten, 1817–1908: Dr. Fil. y Med. y Prof. de Botánica. 1817–1908*. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. 10 (8): 991-1027.
- Ruiz, E.; y Pavon, J. (1957). *Flora Peruviana et chilensis. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Madrid. Tomo IV. 246 pp.
- Ruiz-Mesia, L.; Ruiz-Mesía, W.; Reina, M.; Martínez-Díaz, R.; De Inés, C.; Guadaño, A. (2005). *Bioactive cinchona alkaloids from Remijia peruviana*. *J. Agric. Food. Chem.* 53, 1921–1926. doi: 10.1021/jf048880e.
- Sandoval, Y.; y Echandía, C. (1986). *La historia de la quina desde una perspectiva regional: Colombia, 1850-1882*. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura*, (13-14), 153-187.
- Sánchez, I.; y Sánchez, A. (2012). *La Diversidad Biológica en Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca, GIZ, ACSUR y GRUFIDES & AECID. (2012). Cajamarca, Perú.
- Sánchez, T.; Silva, G.; Chichipe, A.; Trigoso, M.; Bobadilla, L.; y Jiménez, G. (2020). *Influencia de sustratos y concentraciones de ácido indol butírico en la propagación vegetativa de Cinchona officinalis L. (quina) en Amazonas, Perú*.
- Sastre, P. (2010). *Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España
- Stell, R. (1982). *Flores para el Rey*. Ed. del Serbal, Barcelona. 347 pp. 22.
- Taylor, C. (2017). *Another taxonomic review of the Neotropical genus Joosia (Rubiaceae, Cinchoneae)*. *Novon*.25(2): 214-237.

- Taylor, C. (2016). *Cinchoneae*. Available from: <http://www.tropicos.org> (Revisado: octubre 2019).
- Townley, W. (1922). *Trade with the Netherlands East Indies*. J. R. Soc. Arts 70, 174–182.
- Ulloa Ulloa, C.; Acevedo-Rodríguez, S.; Beck, M.; Belgrano, R.; Bernal, P.; Berry, L. Brako, M.; Celis, G.; Davidse, S.; Gradstein, O.; Hokche, B.; León, S.; León-Yáñez, R.; Magill, D.; Neill, M.; Nee, P.; Raven, H.; Stimmel, M.; Strong, J.; Villaseñor Ríos, J. Zarucchi, F.; Zuloaga, O.; y Jørgensen, P. (2018 Onwards]. *An integrated Assessment of Vascular Plants Species of the Americas (Online Updates)*. <http://tropicos.org/projectwebportal.aspx?pagename=Home&projectid=83> (consultad: Octubre, 2019).
- Ulloa Ulloa, C.; Acevedo-Rodríguez, S.; Beck, M.; Belgrano, R.; Bernal, P.; Berry, L. Brako, M.; Celis, G.; Davidse, S.; Gradstein, O.; Hokche, B.; León, S.; León-Yáñez, R.; Magill, D.; Neill, M.; Nee, P.; Raven, H.; Stimmel, M.; Strong, J.; Villaseñor Ríos, J. Zarucchi, F.; Zuloaga, O.; y Jørgensen, P. (2017). An integrated assessment of vascular plants species of the Americas. *Science*. 358: 1614-1617.
- Vásquez, J.; Lapid, E.; Barboza, M.; Vasquez, S.; y Quispe, L. (2018). *Comparación de sustratos en la propagación sexual y asexual del árbol de la quina (Cinchona officinalis)*. *Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable*, 2(3).
- Varela, S.; Terribile, L.; de Oliveira, G.; Diniz-Filho, J.; González-Hernández, J.; y Lima-Ribeiro, M. (2015). *ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía*. *Ecosistemas* 24(3): 88-92. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-3.11.
- Veneros, J. (2014). *Análisis de la distribución potencial de Phthorimaea Operculella (Zeller), bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático*. UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA.
- Verveen, G. (1984). *Hexágono Roche; La Malaria*. Año 2(3). Lima, (11-16 p.).
- Villar-Hernandez, J.; y Perez E. (2015). *Modelos bayesianos para modelar distribuciones de especies con registros de solo presencias*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1

- Wen, J; Harris, A.; Ickert-Bond, M.; Dikow, R.; Wurdack, K.; y Zimmer, E. (2017). *Developing integrative systematics in the informatics and genomic era, and calling for a global Biodiversity Cyberbank*. Journal Systematics and Evolution. 55 (4): 308-321.
- Zevallos, P. A. (1989). *Taxonomía, distribución geográfica y status del género Cinchona en el Perú*. Centro de datos para la conservación. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 74 p.