

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR DE
Cinchona officinalis L. (Rubiaceae) BASADO EN UN
MODELO LINEAL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL
Y AMBIENTAL**

Autores: Bach. Karla Saith Tantalean Osoreo

Bach. Luis Jhoseph Pérez Delgado

Asesores: Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate

Línea de investigación: Conservación, manejo aprovechamiento de recursos naturales

JAÉN, 2023


Luis Jhoseph Pérez Delgado


Karla Saith Tantalean Osoreo


Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFORME FINAL TESIS_PEREZ DELGADO
- TANTALEAN OSORES.pdf**

AUTOR

Karla Saith Tantalean Osores y Luis Jhoseph Pérez Delgado

RECuento DE PALABRAS

5780 Words

RECuento DE CARACTERES

32338 Characters

RECuento DE PÁGINAS

41 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 6, 2023 11:23 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 6, 2023 11:24 AM GMT-5

● **17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN
Dr. Christian Saith Apaza Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
DE MANEJO DE INFORMES

Luis Jhoseph Pérez Delgado

Karla Saith Tantaleán Osores

Mg. Arnick Estefany Huaccha Castillo

Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD
"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 21 de agosto del año 2023, siendo las 11:00 horas, se reunieron de manera presencial integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Secretario : Dr. Alexander Huamán Mera
Vocal : Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava

Para evaluar la Sustentación del Informe final de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR DE *Cinchona Officinalis* L. (RUBIACEAE) BASADO EN UN MODELO LINEAL"**, presentado por los Bachilleres: Karla Saith Tantaleán Osoreo y Luis Jhoseph Pérez Delgado, de la Carrera Profesional de Ingeniería forestal y ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (13) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Presidente


Dr. Alexander Huamán Mera
Secretario


Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava
Vocal

Dirección: Jr. Cuzco N° 250 – Jaén – Cajamarca
E-mail: coordtecnologia@unj.edu.pe

Web: <http://www.unj.edu.pe>


Luis Jhoseph Pérez Delgado


Karla Saith Tantaleán Osoreo

iii


Mg. Arnick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
2.1. Ubicación y descripción del área de estudio	11
2.2. Materiales y equipos.....	11
2.3. Población y muestra	12
2.4. Variables de estudio	12
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
2.6. Análisis de datos.....	13
III. RESULTADOS.....	14
3.1. Selección de variables óptimas para predecir el área foliar de <i>C. officinalis</i>	14
3.2. Determinación de la relación que existe entre el peso y el área foliar de las hojas de <i>C. officinalis</i>	15
3.3. Determinación de modelos de regresión lineal para la estimación de forma rápida y no destructiva del área foliar de <i>C. officinalis</i>	16
IV. DISCUSIONES.....	20
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	22
6.1. Conclusiones	22
6.2. Recomendaciones.....	22
VI. REFERENCIAS.....	23
AGRADECIMIENTO.....	26
DEDICATORIA	27
ANEXOS.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Resumen de los cinco modelos evaluados para predecir el área foliar de <i>C. officinalis</i>	18
---	----

 
Luis Jhoseph Pérez Delgado

 
Karla Saith Tantaleán Osorio

v


Mg. Arnick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernández Zárate

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación del Centro Poblado La Cascarilla	11
Figura 2 Matriz de correlación Spearman entre las variables independientes y variable dependiente.....	15
Figura 3 Regresión lineal simple del peso verde (A) y peso seco (B) de las hojas de <i>C. officinalis</i> respecto a la estimación del área foliar.	16
Figura 4 Regresión lineal simple del ancho de la hoja (A), largo de la hoja (B) y largo*ancho de la hoja (C) respecto a la estimación del área foliar.....	17
Figura 5 Selección de plántones al azar de <i>C. officinalis</i>	33
Figura 6 Toma de la medida dasométricas (altura) de cada plantón.....	33
Figura 7 Toma de la medida dasométrica (diámetro) de cada plantón.....	34
Figura 8 Eliminación del peciolo en la toma de muestra.	34
Figura 9 Peso en verde de cada hoja de <i>C. officinalis</i>	35
Figura 10 Montaje de fotografía.....	35
Figura 11 Codificación de muestras.....	36
Figura 12 Secado de las hojas de <i>C. officinalis</i> . en la estufa.....	36
Figura 13 Peso en seco de las hojas de <i>C. officinalis</i> con ayuda de la balanza analítica. ..	37
Figura 14 Medida del área de las hojas de <i>C. officinalis</i> con el software de procesamiento de imágenes ImageJ.....	37
Figura 15 Certificado de identificación botánica de la especie <i>C. officinalis</i>	39

RESUMEN

La medición del área foliar es muy importante puesto que es un parámetro relacionado con la producción vegetal y se suele usar en modelos estructurales de las plantas. El estudio tuvo como objetivo estimar del área foliar de *C. officinalis* mediante un método no destructivo basado en regresión lineal. Se seleccionaron 220 hojas de plantas de *C. officinalis* de 10 meses de edad ubicadas en el vivero forestal de la familia Fernandez Zarate en el Centro Poblado La Cascarilla, provincia de Jaén, Perú, a cada hoja se midió el largo, ancho, peso y área foliar. Para estimar el área foliar se usó modelos de regresión lineal simple basados en el largo y ancho de las hojas de *C. officinalis*. Se obtuvieron cinco modelos matemáticos, de los cuales, el modelo $Y=0.6693x - 0.0345$ que usa la multiplicación de las variables largo*ancho mostró un mayor $r^2 = 0.9978$ y $RMSE = 0.987$. Finalmente, los resultados muestran que el área foliar de *C. officinalis* se puede estimar en base a regresión lineal que involucra a la multiplicación del largo*ancho de la hoja.

Palabras clave: *Árbol de la quina, cascarilla, morfología de la hoja, correlación lineal.*

ABSTRACT

The measurement of leaf area is very important since it is a parameter related to plant production and is often used in plant structural models. The study aimed to estimate leaf area of *C. officinalis* using a non-destructive method based on linear regression. A total of 220 leaves were selected from 10-month-old *C. officinalis* plants located in the Fernandez Zarate family's forest nursery in La Cascarilla, province of Jaen, Peru, and each leaf was measured for length, width, weight and leaf area. Simple linear regression models based on the length and width of the leaves of *C. officinalis* were used to estimate leaf area. Five mathematical models were obtained, of which, the model $Y=0.6693x - 0.0345$ using the multiplication of the variable length*width showed a higher $r^2 = 0.9978$ and RMSE = 0.987. Finally, the results show that leaf area of *C. officinalis* can be estimated based on linear regression involving multiplication of leaf length*width.

Key words: *Cinchona tree, husk, leaf morphology, linear correlation.*

I. INTRODUCCIÓN

Cinchona officinalis es una especie forestal medicinal que pertenece a la familia de las Rubiaceas (Raheem et al., 2004), se encuentra de forma natural en zonas andinas y amazónicas de Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú (Aymard, 2019). Su importancia radica en su corteza, que contiene una variedad de alcaloides, entre ellos la quinina que se utilizó durante más de tres siglos como único tratamiento para la malaria; esta propiedad hizo que los bosques de quina fueran sobreexplotados llevándola al borde de la extinción (Córdor et al., 2009; Kaufman y Rúveda, 2005). A la fecha, su hábitat está seriamente amenazado debido a la expansión urbana y tala indiscriminada (Huamán et al., 2019).

Existen diversos estudios que determinan el desarrollo de las plantas bajo condiciones controladas para lo cual necesitan muestras foliares (destructivas), sin embargo, esto es imposible en los estudios cuyo objetivo es monitorear la evolución de la misma hoja a lo largo del tiempo, ante esto, surge como alternativa el uso de modelos de regresión, mediante la entrada de datos como el largo, ancho, espesor y peso de la hoja se puede predecir el área foliar (Suárez Salazar et al., 2018).

Para evaluar el crecimiento de las plantas se usan modelos matemáticos a fin de describir la relación existente entre el desarrollo de una planta, la materia seca producida y la expansión del área foliar (AF). El análisis temporal de estas variables permite evaluar los efectos de diferentes condiciones ambientales y de manejo sobre el crecimiento de los cultivos (Suárez Salazar et al., 2018).

El área foliar (AF) es un parámetro importante para el análisis de las interacciones entre la atmósfera y las plantas, que permite explicar el comportamiento fisiológico y agronómico de las especies vegetales con respecto a la eficiencia fotosintética, la evapotranspiración, la cantidad de agua, la radiación y la respuesta a la fertilización (Blanco y Folegatti, 2005; Syvertsen et al., 2003). Existe relación estrecha entre el AF y la actividad fotosintética, parámetro fuertemente vinculado al almacenamiento de biomasa y productividad, por ende,

el AL es un parámetro que permite cuantificar el desarrollo y productividad agronómica de las plantas (Hernández et al., 2011).

La estimación del AF mediante métodos no destructivos es importante debido a que su fundamento radica en medidas lineales cuya capacidad de obtención es fácil, rápida y brinda buena precisión en estudios de crecimiento de diferentes especies vegetales, en las que el modelo matemático para determinar el AF puede obtenerse a partir de la correlación existente entre el ancho (W) y largo (L) de la hoja o largo por ancho (LW) de una hoja, esto permitirá tomar medidas directas de las hojas en campo, sin recurrir al muestreo destructivo (Keramatlou et al., 2015).

Bajo este contexto, la presente investigación tuvo por objetivos:

Objetivo general

- Estimar del área foliar de *C. officinalis* mediante un método no destructivo basado en un modelo lineal.

Objetivos específicos

- Seleccionar variables óptimas para predecir el área foliar de *C. officinalis*.
- Determinar la relación que existe entre el peso y el área foliar de las hojas de *C. officinalis*.
- Determinar modelos de regresión lineal para la estimación de forma rápida y no destructiva del área foliar de *C. officinalis*.

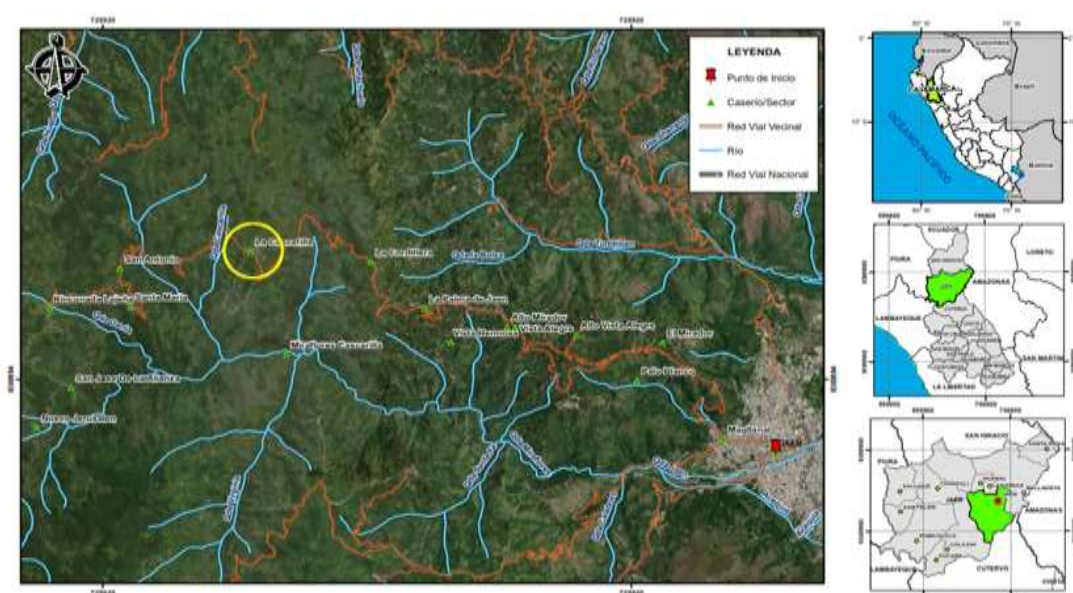
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y descripción del área de estudio

Los datos fueron colectados y procesados en junio de 2022 del vivero forestal de la familia Fernandez Zarate ubicado en el Centro Poblado La Cascarilla ($5^{\circ} 40' 21,12''$ S y $78^{\circ} 53' 55,65''$ O) provincia de Jaén a 1810 m.s.n.m. La precipitación anual es de 1730 mm, temperatura mínima de 13°C y máxima de 20.5°C (Figura 1).

Figura 1

Ubicación del Centro Poblado La Cascarilla



2.2. Materiales y equipos

Cuaderno de apuntes, bolígrafo, papel aluminio, resaltador, balanza analítica, estufa, laptop, USB, cámara fotográfica y vernier. Además, se usó Microsoft Office Profesional 2019 e ImagJ.

2.3. Población y muestra

- **Población:** Está formada por 300 plántones de *C. officinalis* existentes en el vivero forestal de propiedad de la familia Fernandez Zarate ubicado en La Cascarilla, Jaén.
- **Muestra:** Se eligieron 55 plántones de forma aleatoria. Se tomó en cuenta que el plánton tenga más de tres pares de hojas y que éstas estén en perfecto estado fitosanitario. Luego se extrajeron cuatro hojas de cada plánton, dos inferiores y dos superiores siguiendo la metodología establecida por Suárez et al.(2018).

2.4. Variables de estudio

- **Variables independientes**
 - Largo de las hojas de *C. officinalis*.
 - Ancho de las hojas de *C. officinalis*.
 - Peso de las hojas de *C. officinalis*.
- **Variable dependiente**
 - Área foliar de las hojas de *C. officinalis*.

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

- **Selección de hojas:** Se eligieron al azar 55 plántones de *C. officinalis* cuya edad fue de 10 meses, se midió la altura y el diámetro con un vernier de precisión de 0,1 cm; se seleccionaron sistemáticamente dos pares de hojas por cada plánton (parte inferior y superior) (Suárez Salazar et al., 2018).
- **Montaje de fotografía:** Con ayuda de una cámara fotográfica se tomó imágenes a las hojas a una altura de 20 cm, sobre un fondo blanco (cartulina de 15 x 10 cm) con una línea de referencia de 2 cm de longitud trazada junto a la ubicación de las hojas para mantener la escala en el procesamiento de la imagen. Para extender las hojas, se cubrieron con un cristal transparente de 15 x 10 cm y 3 mm de grosor, con una superficie esmerilada para evitar el deslumbramiento.

- **Determinación del peso y variables morfométricas de la hoja:** En cada hoja muestreada se eliminó el pecíolo para luego proceder con la obtención del peso fresco haciendo uso de una balanza electrónica de precisión de 0.01 g, se tomó la fotografía, se codificó y luego se determinó el largo máximo (L) (± 0.1 cm), ancho máximo (W) (± 0.1 cm) y área foliar de cada hoja haciendo uso del software de procesamiento de imágenes ImageJ. El largo de la hoja se consideró desde el ápice hasta la base del pecíolo, y el ancho se midió en el punto más ancho perpendicular al eje longitudinal de la hoja; luego las hojas fueron llevadas a estufa a fin de obtener el peso seco (Suárez Salazar et al., 2018).

2.6. Análisis de datos

Se realizaron estadísticas resumidas (cajas de bigotes) sobre las variables morfométricas evaluadas (peso, largo y ancho de las hojas y área foliar), se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman por pares para cada variable morfométrica evaluada. Sobre los datos se usaron modelos de regresión lineal simple (área foliar en función del largo, ancho y el producto de ambos) y lineal múltiple (área foliar en función del largo y ancho) a fin de predecir el valor esperado del área foliar de las hojas. Los datos fueron procesados en el software R.

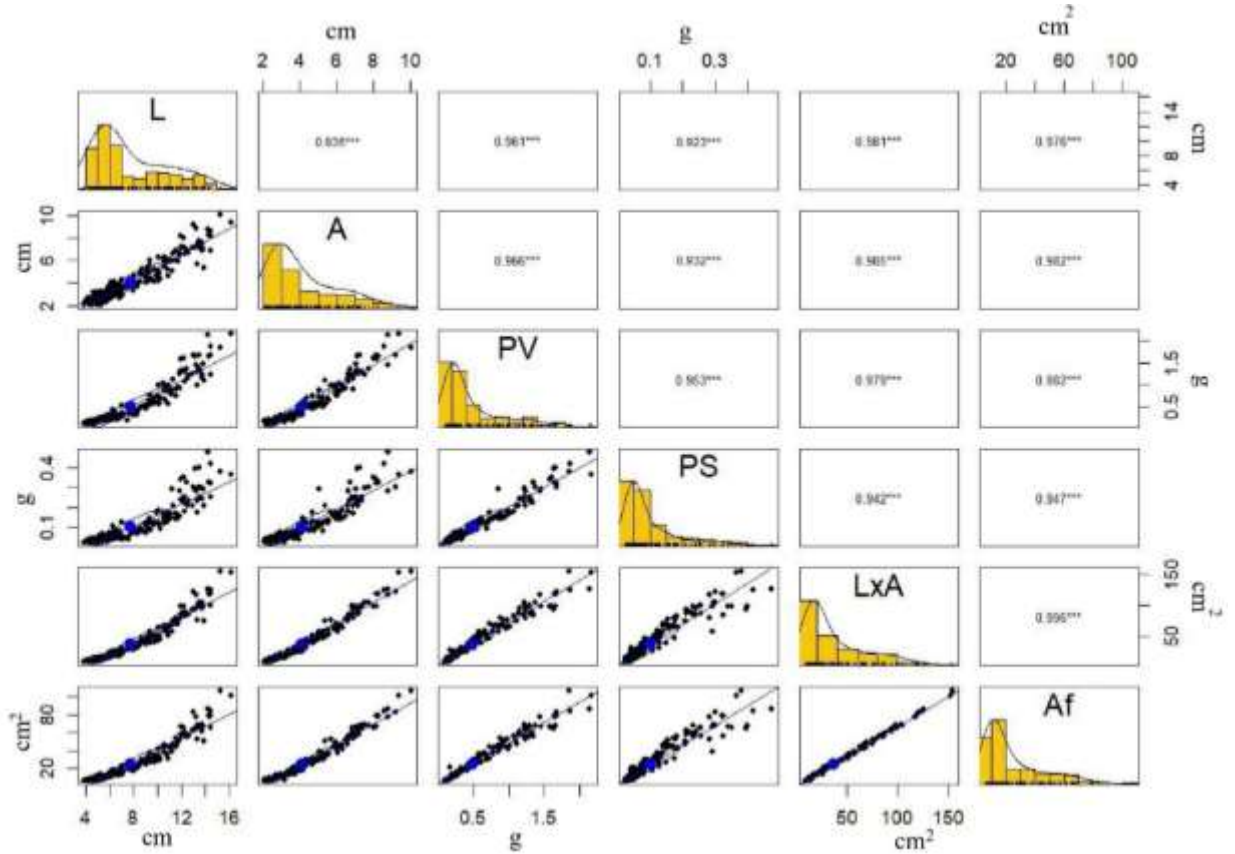
III. RESULTADOS

3.1. Selección de variables óptimas para predecir el área foliar de *C. officinalis*.

La Figura 2 muestra las relaciones existentes entre las variables independientes (Largo, ancho, peso verde, peso seco y “largo*ancho” de las hojas de *C. officinalis*) y la variable dependiente (área foliar). Se observan las gráficas de correlación (línea azul), en este caso muestran tendencias de correlación positivas. Los gráficos de barras indican la distribución de los datos, en este caso no presentan una distribución normal, razón por la cual se aplicó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman. Además, se aprecia que todas las variables independientes se correlacionan con la variable dependiente con un coeficiente de correlación $r_s > 0.94$. La variable “largo*ancho” tiene el coeficiente de correlación más alto $r_s = 0.996$, seguido del “peso verde”, “ancho de la hoja”, “largo” y “peso seco” con coeficientes de correlación de Spearman de $r_s = 0.982$; 0.982 ; 0.976 y 0.947 respectivamente. Puesto que todas las variables morfométricas presentaron un coeficiente de correlación superior a 0.90 se emplearon todas para estimar el área foliar de *C. officinalis*.

Figura 2

Matriz de correlación Spearman entre las variables independientes y variable dependiente.



Largo (L) (cm), ancho (A) (cm), peso verde (PV) (g), peso seco (PS) (g), largo*ancho (LxA) (cm²) y área foliar (Af) (cm²).

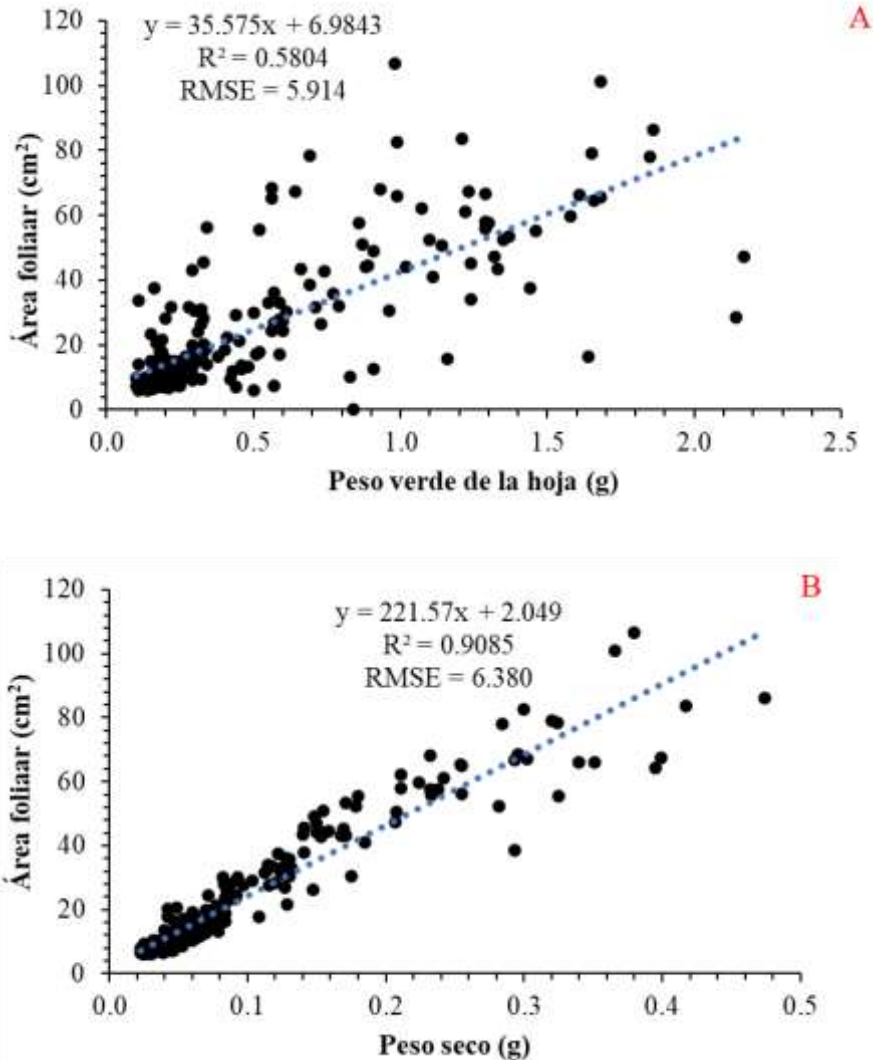
3.2. Determinación de la relación que existe entre el peso y el área foliar de las hojas de *C. officinalis*.

En la Figura 3 se muestra que el modelo matemático generado con el peso seco de las hojas alcanza un r^2 de 0.9083 (Figura 3B) mientras que para el peso verde de las hojas se alcanza un r^2 de 0.5804 (Figura 3A).

Además, se estimó la incertidumbre para cada modelo, resultando que para $y = 35.575x + 6.9843$ la incertidumbre fue de ± 0.3557 y para $y = 221.57x + 2.049$ la incertidumbre fue de ± 2.2157 .

Figura 3

Regresión lineal simple del peso verde (A) y peso seco (B) de las hojas de *C. officinalis* respecto a la estimación del área foliar.



3.3. Determinación de modelos de regresión lineal para la estimación de forma rápida y no destructiva del área foliar de *C. officinalis*.

En la Figura 4 se muestra que el modelo matemático generado con la variable “largo*ancho” alcanza r^2 de 0.9978 (Figura 4C), seguido de los modelos matemáticos generados con la variable “ancho de la hoja” y “largo de la hoja” que alcanzaron un r^2 de 0.9664 y 0.9278 respectivamente (Figura 4A, B).

Respecto al cálculo de incertidumbres, se determinó que para $y = 11.447x -$

22.247 la incertidumbre fue de ± 1.1447 , para $y = 6.7261x - 27.269$ la incertidumbre fue de ± 0.6726 y para $y = 0.6693x - 0.0345$ fue de ± 0.78869 .

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los cinco modelos matemáticos analizados, siendo el modelo número 3 el que alcanzó el más alto r^2 (0.9978).

Figura 4

*Regresión lineal simple del ancho de la hoja (A), largo de la hoja (B) y largo*ancho de la hoja (C) respecto a la estimación del área foliar.*

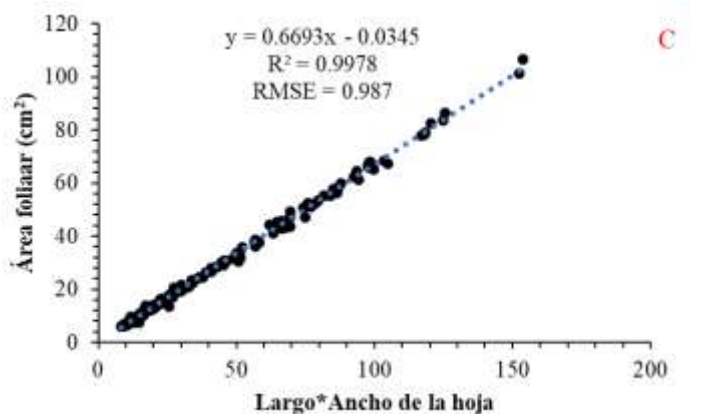
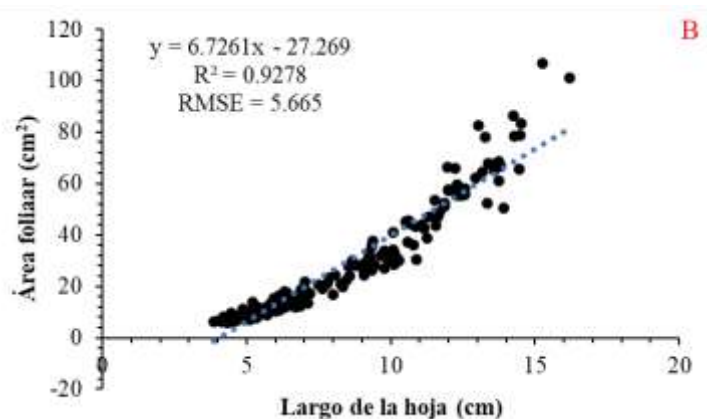
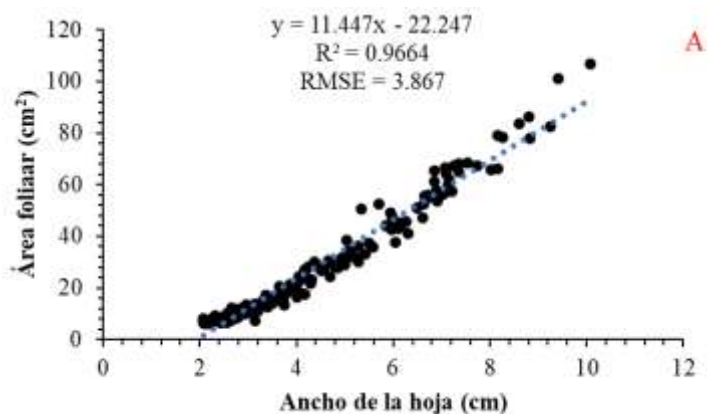


Tabla 1

Resumen de los cinco modelos evaluados para predecir el área foliar de C. officinalis.

Número	X	Y	Modelo matemático	R ²	RMSE	Número de variables
1	Ancho de la hoja (cm)	Área foliar	$Y=11.447x - 22.247$	0.9664	3.867	1

2	Largo de la hoja (cm)	Área foliar	$Y=6.7262x - 27.269$	0.9278	5.665	1
3	Largo * ancho de la hoja	Área foliar	$Y=0.6693x - 0.0345$	0.9978	0.987	2
4	Peso seco (g)	Área foliar	$Y=221.49x + 2.0734$	0.9083	6.380	1
5	Peso verde (g)	Área foliar	$Y=35.575x + 6.9843$	0.5804	5.914	1

RMSE: Error cuadrático medio.

IV. DISCUSIONES

Para todas las variables independientes se encontró correlaciones positivas con el área foliar de *C. officinalis*, con coeficientes de correlación superiores a 0.95 (Spearman). La correlación entre la variable “largo*ancho” y el área foliar fue mayor que el resto de variables estudiadas (Spearman=0.999), similares resultados fueron reportados por Serdar y Demirsoy (2006) quienes encontraron una relación cercana a 1 entre el ancho y la longitud de la hoja versus el área foliar del castaño, cuyos valores de correlación de Pearson oscilaban entre 0.95 y 0.98.

El cálculo del área foliar para especies vegetales perennes como el *Juglans regia* L. y *Jatropha curcas* L. (Keramatlou et al., 2015; Pompelli et al., 2012) se han desarrollado mediante el uso del ancho y largo de la hoja usando modelos de regresión polinómica incluyendo el producto cruzado entre ellos, de la misma forma que la presente investigación, en la que se obtuvo el mayor r^2 (0.9978) en la variable resultante del producto cruzado del largo y ancho, similares resultados a los reportados por Swart et al. (2004) quienes mostraron que un modelo polinomial de segundo orden en longitud y anchura (incluyendo el producto cruzado) era el mejor para evaluar el área foliar en *Capsicum annuum* L, para la presente investigación, dado que con modelos lineales se alcanzó un r^2 superior a 0.95 es que se planteó como una alternativa potencial para estimar el área foliar en *C. officinalis*, además los modelos lineales resultan más fáciles de operar en campo si los comparamos con los modelos polinómicos. Además, estos resultados están respaldados por diferentes estudios previos (Cristofori et al., 2007; Gyves et al., 2007; Roupheal et al., 2007) en los que los modelos de estimación del área foliar se generaron usando la ecuación multiplicativa (longitud \times ancho).

Para seleccionar el modelo matemático se debe considerar no sólo al r^2 sino también alguna medida de precisión, puesto que aun cuando el r^2 de un modelo resulte muy alto pueden generar subestimaciones en el área foliar (Antunes et al., 2008; Gao et al., 2012), en esta investigación consideramos al r^2 y RMSE para seleccionar el mejor modelo matemático para

estimar el área foliar de la misma forma que en diferentes estudios (Fascella et al., 2013; Gao et al., 2012; Keramatlou et al., 2015; Pompelli et al., 2012; Suárez et al., 2018). En otros casos, los modelos de estimación de LA mostraron sesgos debidos a variaciones morfológicas (Gao et al. 2012), esto no pasa en nuestro estudio debido a que las hojas de *C. officinalis* son elíptico-ovadas, simples y con borde entero (Huamán et al., 2019).

Finalmente, debemos mencionar que existen aplicaciones informáticas (apps) que estiman el LA (LI-3000C, CI-202, CI-203, LAI-2000, SunScan de Delta-T Devices) que suelen ser una alternativa a los métodos destructivos (Campos-Taberner et al., 2016; Garrigues et al., 2008); sin embargo estos suelen ser caros, tienen baja portabilidad y suelen tener un coste de mantenimiento alto (Confalonieri et al., 2013), además existen paquetes de software (aplicaciones) para teléfonos inteligentes (Qu et al., 2021) para determinar el LA en diferentes estudios ecológicos, (Confalonieri et al., 2013), sin embargo su precisión y la cantidad de tiempo que se suele tardar hasta lograr capturar una imagen idónea para obtener una estimación “precisa” del área foliar suelen ser su mayor desventaja, esto ha sido comprobado por los investigadores en otro estudio que está en proceso de publicación. Bajo este contexto consideramos que los modelos propuestos en esta investigación son los más fáciles de usar y tienen una alta precisión (si consideramos el r^2 y RMSE) para el cálculo del área foliar de *C. officinalis*.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Es necesario hacer hincapié en que los modelos que se han generado en la investigación han sido desarrollados en base a datos de plántones de *C. officinalis* de 10 meses, estando aún en la etapa de crecimiento a nivel de vivero, por lo que para usar estos modelos se deben tener en cuenta estas condiciones.
- De los modelos de regresión generados para predecir el área foliar de *C. officinalis* a partir del peso de la hoja, el modelo que obtuvo mayor r^2 fue el que considera el peso seco, sin embargo, fue el que obtuvo el mayor RMSE, razón por la cual no se recomienda el uso de este modelo.

6.2. Recomendaciones

- A los investigadores en este campo, se sugiere ampliar el presente estudio a la estimación del peso foliar en función de variables como el largo, ancho y/o largo*ancho de las hojas de *C. officinalis*, se debe verificar la aplicabilidad de los modelos matemáticos estudiados en la presente investigación considerando otras condiciones climáticas y edad de la plantación. Además, se recomienda que estudios posteriores sobre esta temática se sugiere realizar cálculos de incertidumbre de las mediciones a fin de informar que tan confiables son los resultados.

VI. REFERENCIAS

- Antunes, W. c., Pompelli, M. f., Carretero, D. m., y DaMatta, F. m. (2008). Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology*, 153(1), 33-40. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00235.x>
- 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, 234-241. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1079>
- Blanco, F. F., y Folegatti, M. V. (2005). Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*, 62, 305-309. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400001>
- Campos-Taberner, M., García-Haro, F. J., Confalonieri, R., Martínez, B., Moreno, Á., Sánchez-Ruiz, S., Gilabert, M. A., Camacho, F., Boschetti, M., y Busetto, L. (2016). Multitemporal Monitoring of Plant Area Index in the Valencia Rice District with PocketLAI. *Remote Sensing*, 8(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/rs8030202>
- Cóndor, E., de Oliveira, B. H., Loayza Ochoa, K., y Reyna Pinedo, V. (2009). Estudio químico de los tallos de *Cinchona pubescens* Vahl. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(1), 54-63.
- Confalonieri, R., Foi, M., Casa, R., Aquaro, S., Tona, E., Peterle, M., Boldini, A., De Carli, G., Ferrari, A., Finotto, G., Guarneri, T., Manzoni, V., Movedi, E., Nisoli, A., Paleari, L., Radici, I., Suardi, M., Veronesi, D., Bregaglio, S., ... Acutis, M. (2013). Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.019>

- Cristofori, V., Roupshael, Y., Gyves, E. M., y Bignami, C. (2007). A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.02.006>
- Fascella, G., Darwich, S., y Roupshael, Y. (2013). Validation of a leaf area prediction model proposed for rose. *Chilean journal of agricultural research*, 73(1), 73-76. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100011>
- Gao, M., Van der Heijden, G. W. A. M., Vos, J., Eveleens, B. A., y Marcelis, L. F. M. (2012). Estimation of leaf area for large scale phenotyping and modeling of rose genotypes. *Scientia Horticulturae*, 138, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.014>
- Garrigues, S., Shabanov, N. V., Swanson, K., Morisette, J. T., Baret, F., y Myneni, R. B. (2008). Intercomparison and sensitivity analysis of Leaf Area Index retrievals from LAI-2000, AccuPAR, and digital hemispherical photography over croplands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(8), 1193-1209. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.02.014>
- Gyves, E. M., Roupshael, Y., Cristofori, V., y Mira, F. R. (2007). A non-destructive, simple and accurate model for estimating the individual leaf area of kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Fruits*, 62(3), 171-176. <https://doi.org/10.1051/fruits:2007012>
- Huamán, L., 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(2), 145-153. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1333>
- Kaufman, T. S., y Rúveda, E. A. (2005). The Quest for Quinine: Those Who Won the Battles and Those Who Won the War. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(6), 854-885. <https://doi.org/10.1002/anie.200400663>
- Keramatlou, I., Sharifani, M., Sabouri, H., Alizadeh, M., y Kamkar, B. (2015). A simple linear model for leaf area estimation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *Scientia Horticulturae*, 184, 36-39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.017>
- Pompelli, M. F., Antunes, W. C., Ferreira, D. T. R. G., Cavalcante, P. G. S., Wanderley-Filho, H. C. L., y Endres, L. (2012). Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*, 36, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.010>

- Qu, Y., Wang, Z., Shang, J., Liu, J., y Zou, J. (2021). Estimation of leaf area index using inclined smartphone camera. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106514. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106514>
- Raheem, I. T., Goodman, S. N., y Jacobsen, E. N. (2004). Catalytic Asymmetric Total Syntheses of Quinine and Quinidine. *Journal of the American Chemical Society*, 126(3), 706-707. <https://doi.org/10.1021/ja039550y>
- Rouphael, Y., Colla, G., Fanasca, S., y Karam, F. (2007). Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. *Photosynthetica*, 45(2), 306-308. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0051-z>
- Serdar, Ü., y Demirsoy, H. (2006). Non-destructive leaf area estimation in chestnut. *Scientia Horticulturae*, 108(2), 227-230. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.025>
- Suárez, J. C., Melgarejo, L. M., Durán, E. H., Di Rienzo, J. A., y Casanoves, F. (2018). Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf area in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Scientia Horticulturae*, 229, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.034>
- Suárez Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Durán Bautista, E. H., Di Rienzo, J. A., y Casanoves, F. (2018). Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf area in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Scientia Horticulturae*, 229, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.034>
- Swart, E. A. M. D., Groenwold, R., Kanne, H. J., Stam, P., Marcelis, L. F. M., y Voorrips, R. E. (2004). Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(5), 764-770. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511840>
- Syvertsen, J. P., Goñi, C., y Otero, A. (2003). Fruit load and canopy shading affect leaf characteristics and net gas exchange of 'Spring' navel orange trees. *Tree Physiology*, 23(13), 899-906. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.13.899>

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar un sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios por habernos brindando salud, fortaleza y capacidad de hacer posible concluir con este proyecto de investigación.

A nuestra querida Universidad Nacional de Jaén, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental que con su sabiduría, conocimiento y apoyo nos motivaron a desarrollarse profesionalmente.

A nuestros asesores de tesis Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo y Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate por guiar esta investigación y formar parte de nuestro objetivo alcanzado.

Al Dr. Lenin Quiñones Huatangari quien estuvo ayudándonos, guiándonos académicamente con su experiencia y profesionalismo.

A nuestros familiares y amigos quienes de una u otra manera nos brindaron colaboración y se involucraron en este proyecto de investigación.


Luis Jhoseph Pérez Delgado


Karla Saith Tantaleán Osorio


Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, por darme fortaleza y sabiduría para seguir luchando por esta meta y poder alcanzarla.

A mi amado hijo Ian, por ser fuente de mi motivación e inspiración para poder superarme cada día.

A mi madre Francisca, que estuvo brindándome su apoyo y sus consejos.

A mis hermanas Ena y Diana, por sus palabras de aliento y apoyo en todo momento.

A mi abuelito Benjamín, que siempre estuvo a mi lado y desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo.

Karla Saith Tentalean Osores

A mis padres quienes me han educado y apoyado para poder llegar a esta pretensión de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y económicamente.

A mi hermana que de una u otra forma a lo largo de mi vida a estado apoyándome en las buenas y malas.

Luis Jhoseph Pérez Delgado

ANEXOS

Anexo 1: Código usado en R para generar la Figura 2.

```
pairs.panels (DATA_TESIS, smooth = TRUE, scale = TRUE, density = TRUE, pch = 20,  
lm = TRUE, method = "spearman", digits = 3, factor = 2, stars = TRUE, hist.col = 15,  
col="blue")
```

Anexo 2: Abreviaturas

AL : Área foliar.

W : Ancho de la hoja.

L : Largo de la hoja.

LW : Largo por ancho.

R^2 : Coeficiente de determinación.

RMSE : Error cuadrático medio.

Anexo 3: Tabla de registro de data en campo

Estimación no destructiva del área foliar de *Cinchona L.* (Rubiaceae) basado en un modelo lineal

Fecha: 01/06/2022

Registrado por: Luis Jhoseph Pérez Delgado y Karla Saith Tantaleán Osores.

Plantón	Ubicación de la hoja		Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso verde (g)	Peso seco (g) balanza analítica	Promedio largo (cm)	Promedio ancho (cm)	Promedio área foliar (cm ²)	
1	S	1	10.9	4.6						
	S	2								
	A	1			0.84	0.1592	0.500	0.500	0.386	
	A	2			0.89	0.1713	0.531	0.531	0.411	
2	S	1	14.6	5.3	1.37	0.3015	2.324	1.332	1.319	
	S	2			1.23	0.2955	0.763	0.763	0.607	
	A	1			0.56	0.1298	0.345	0.345	0.273	
	A	2			0.3	0.074	0.187	0.187	0.149	
3	S	1	15.5	4.2	0.59	0.1275	1.639	0.786	0.851	
	S	2			0.57	0.1116	0.341	0.341	0.264	
	A	1			0.22	0.0427	0.131	0.131	0.102	
	A	2			0.2	0.0321	0.116	0.116	0.088	
4	S	1	19.9	5.4	0.83	0.15	2.127	1.036	1.104	
	S	2			0.88	0.1714	0.526	0.526	0.408	
	A	1			0.29	0.0569	0.173	0.173	0.135	
	A	2			0.26	0.0448	0.152	0.152	0.117	
5	S	1	14.5	3.9	0.91	0.155	1.655	0.907	0.906	
	S	2			0.87	0.1405	0.505	0.505	0.384	
	A	1			0.33	0.0549	0.192	0.192	0.147	
	A	2			0.3	0.0474	0.174	0.174	0.132	
6	S	1	20	5.1	1.64	0.395	2.378	1.471	1.415	
	S	2			1.66	0.399	1.030	1.030	0.819	
	A	1								
	A	2								
7	S	1	9	3.2	0.64	0.1296	1.323	0.698	0.717	
	S	2			0.77	0.1406	0.455	0.455	0.350	
	A	1			0.16	0.023	0.092	0.092	0.069	
	A	2			0.13	0.0238	0.077	0.077	0.059	
8	S	1	10.1	1.9	0.57	0.1319	0.867	0.523	0.507	
	S	2			0.55	0.127	0.339	0.339	0.268	
	A	1			0.28	0.0526	0.166	0.166	0.128	
	A	2			0.2	0.048	0.124	0.124	0.099	
9	S	1	8	2.6			2.600	2.600	2.600	
	S	2								
	A	1			0.46	0.0845	0.272	0.272	0.210	
	A	2			0.32	0.0541	0.187	0.187	0.143	
10	S	1	10.1	3.3	0.51	0.1159	1.309	0.645	0.690	
	S	2			0.59	0.1268	0.358	0.358	0.281	
	A	1			0.32	0.0699	0.195	0.195	0.153	
	A	2			0.29	0.054	0.172	0.172	0.133	

11	S	1	23.2	5.6	1.16	0.242	2.334	1.245	1.274
	S	2			1.22	0.2539	0.737	0.737	0.576
	A	1							
	A	2							
12	S	1	14.8	5.3	1.68	0.3202	2.433	1.478	1.410
	S	2			1.65	0.3243	0.987	0.987	0.766
	A	1			0.69	0.1242	0.407	0.407	0.313
	A	2			0.71	0.1239	0.417	0.417	0.319
13	S	1	13.7	5.6			5.600	5.600	5.600
	S	2							
	A	1			0.59	0.1273	0.359	0.359	0.282
	A	2			0.57	0.1195	0.345	0.345	0.270
14	S	1	23.4	7.2	2.14	0.4744	3.271	1.962	1.903
	S	2			1.86	0.4169	1.138	1.138	0.898
	A	1			1.21	0.2325	0.721	0.721	0.558
	A	2			1.29	0.2549	0.772	0.772	0.600
15	S	1	13.1	3.9	0.56	0.1143	1.525	0.733	0.791
	S	2			0.79	0.1526	0.471	0.471	0.365
	A	1			0.74	0.1403	0.440	0.440	0.340
	A	2			0.66	0.1222	0.391	0.391	0.301
16	S	1	25.7	6.2	1.44	0.2838	2.641	1.455	1.460
	S	2			1.85	0.3796	1.115	1.115	0.870
	A	1			0.98	0.1775	0.579	0.579	0.445
	A	2			1.1	0.2084	0.654	0.654	0.506
17	S	1	17.9	5.2	1.14	0.2114	2.184	1.178	1.191
	S	2			1.29	0.2318	0.761	0.761	0.585
	A	1			0.93	0.1476	0.539	0.539	0.408
	A	2			0.91	0.1498	0.530	0.530	0.403
18	S	1	23.4	6	2.17	0.3662	2.845	1.794	1.668
	S	2			1.68	0.3004	0.990	0.990	0.760
	A	1			0.99	0.1681	0.579	0.579	0.442
	A	2			1.33	0.2236	0.777	0.777	0.592
19	S	1	17.5	6.3	1.58	0.3396	2.740	1.553	1.544
	S	2			1.61	0.3514	0.981	0.981	0.771
	A	1			0.99	0.1853	0.588	0.588	0.454
	A	2			1.11	0.2072	0.659	0.659	0.508
20	S	1	24.3	5.4	1.32	0.238	2.319	1.292	1.283
	S	2			1.3	0.232	0.766	0.766	0.588
	A	1			0.86	0.293	0.577	0.577	0.482
	A	2			0.69	0.0925	0.391	0.391	0.292
21	S	1	16.1	6.2	0.61	0.1472	2.319	1.025	1.164
	S	2			0.73	0.1754	0.453	0.453	0.360
	A	1							
	A	2							
22	S	1	24.2	4.8	0.96	0.1564	1.972	1.030	1.053
	S	2			1.02	0.1686	0.594	0.594	0.452
	A	1			1.24	0.2113	0.726	0.726	0.554
	A	2			1.07	0.18	0.625	0.625	0.477
23	S	1	17.8	4.4	0.52	0.1029	1.674	0.766	0.848
	S	2			0.44	0.0916	0.266	0.266	0.208
	A	1			0.6	0.115	0.358	0.358	0.277
	A	2							
24	S	1	23.1	5.9	1.24	0.2821	2.474	1.332	1.363
	S	2			1.35	0.3249	0.837	0.837	0.667
	A	1			1.46	0.2925	0.876	0.876	0.682
	A	2			1.29	0.255	0.773	0.773	0.600
25	S	1	7.2	3.7	0.34	0.0806	1.374	0.598	0.684
	S	2			0.27	0.0607	0.165	0.165	0.130
	A	1			0.28	0.0702	0.175	0.175	0.140
	A	2			0.31	0.0757	0.193	0.193	0.154
26	S	1	10.5	3.5	0.23	0.0696	1.267	0.522	0.619
	S	2			0.23	0.072	0.151	0.151	0.125
	A	1			0.25	0.072	0.161	0.161	0.131
	A	2			0.23	0.0696	0.150	0.150	0.123
27	S	1	8.9	2.9	0.23	0.0598	1.063	0.451	0.525
	S	2			0.18	0.0475	0.114	0.114	0.092
	A	1			0.26	0.0587	0.159	0.159	0.126
	A	2			0.34	0.0843	0.212	0.212	0.170
28	S	1	5.3	3.6	0.18	0.0503	1.277	0.502	0.610
	S	2			0.18	0.049	0.115	0.115	0.093
	A	1			0.17	0.0458	0.108	0.108	0.087
	A	2			0.18	0.0506	0.115	0.115	0.094
29	S	1	4.9	3.1	0.23	0.0525	1.128	0.470	0.550
	S	2			0.46	0.0914	0.276	0.276	0.214
	A	1			0.15	0.0306	0.090	0.090	0.070
	A	2			0.15	0.0304	0.090	0.090	0.070
30	S	1	10.9	2.7	0.5	0.0817	1.094	0.559	0.578
	S	2			0.5	0.0827	0.291	0.291	0.222
	A	1			0.33	0.0518	0.191	0.191	0.145
	A	2			0.38	0.0603	0.220	0.220	0.167

31	S	1	5.8	3	0.34	0.0415	1.127	0.503	0.557
	S	2			0.33	0.042	0.186	0.186	0.138
	A	1			0.18	0.0252	0.103	0.103	0.077
	A	2			0.19	0.0256	0.108	0.108	0.080
32	S	1	4.1	4.1	0.23	0.0507	1.460	0.580	0.697
	S	2			0.26	0.0562	0.158	0.158	0.124
	A	1			0.25	0.0522	0.151	0.151	0.118
	A	2							
33	S	1	4.6	3.6	0.2	0.0454	1.282	0.509	0.612
	S	2			0.23	0.0465	0.138	0.138	0.108
	A	1							
	A	2							
34	S	1	12.4	3.3	0.48	0.0968	1.292	0.623	0.671
	S	2			0.6	0.1166	0.358	0.358	0.278
	A	1							
	A	2							
35	S	1	8.6	3.4	0.11	0.0237	1.178	0.437	0.546
	S	2			0.14	0.0315	0.086	0.086	0.068
	A	1			0.19	0.0391	0.115	0.115	0.089
	A	2			0.23	0.0484	0.139	0.139	0.109
36	S	1	8.4	3.1	0.11	0.0316	1.081	0.407	0.507
	S	2			0.11	0.0318	0.071	0.071	0.058
	A	1			0.21	0.0536	0.132	0.132	0.106
	A	2			0.22	0.0483	0.134	0.134	0.106
37	S	1	5.3	4.3	0.16	0.0459	1.502	0.569	0.706
	S	2			0.19	0.0526	0.121	0.121	0.098
	A	1			0.23	0.0634	0.147	0.147	0.119
	A	2			0.29	0.0792	0.185	0.185	0.149
38	S	1	8.6	3.1	0.16	0.0441	1.101	0.435	0.527
	S	2			0.17	0.0441	0.107	0.107	0.086
	A	1			0.16	0.0446	0.102	0.102	0.083
	A	2			0.14	0.0391	0.090	0.090	0.073
39	S	1	6.2	2.6	0.16	0.0335	0.931	0.375	0.447
	S	2			0.19	0.033	0.112	0.112	0.085
	A	1			0.2	0.0409	0.120	0.120	0.094
	A	2			0.19	0.0335	0.112	0.112	0.086
40	S	1	14.8	5.8	0.32	0.0772	2.066	0.821	0.988
	S	2			0.3	0.0703	0.185	0.185	0.147
	A	1			0.27	0.065	0.168	0.168	0.133
	A	2			0.27	0.0683	0.169	0.169	0.136
41	S	1	5.1	3.5	0.15	0.0383	1.229	0.473	0.580
	S	2			0.15	0.037	0.094	0.094	0.075
	A	1			0.24	0.0525	0.146	0.146	0.115
	A	2			0.24	0.0515	0.146	0.146	0.114
42	S	1	10.3	3.2	0.15	0.0387	1.130	0.439	0.536
	S	2			0.15	0.0334	0.092	0.092	0.072
	A	1			0.16	0.0329	0.096	0.096	0.075
	A	2			0.14	0.0293	0.085	0.085	0.066
43	S	1	9.2	3.9	0.44	0.0722	1.471	0.661	0.735
	S	2			0.56	0.088	0.324	0.324	0.245
	A	1			0.2	0.0334	0.117	0.117	0.089
	A	2			0.27	0.0398	0.155	0.155	0.117
44	S	1	8.5	3.6	0.27	0.0689	1.313	0.551	0.644
	S	2			0.29	0.0689	0.179	0.179	0.143
	A	1			0.19	0.0392	0.115	0.115	0.089
	A	2			0.2	0.0439	0.122	0.122	0.096
45	S	1	8.8	2.9	0.42	0.1079	1.143	0.557	0.602
	S	2			0.52	0.129	0.325	0.325	0.259
	A	1			0.19	0.0516	0.121	0.121	0.098
	A	2			0.2	0.0467	0.123	0.123	0.098

46	S	1	7.7	3.1	0.19	0.0444	1.111	0.449	0.535
	S	2			0.2	0.048	0.124	0.124	0.099
	A	1			0.26	0.0613	0.161	0.161	0.128
	A	2			0.27	0.0562	0.163	0.163	0.127
47	S	1	6.3	3	0.23	0.0661	1.099	0.465	0.543
	S	2			0.23	0.0596	0.145	0.145	0.116
	A	1			0.28	0.0706	0.175	0.175	0.140
	A	2			0.32	0.0842	0.202	0.202	0.163
48	S	1	8.6	2.8	0.4	0.0765	1.092	0.523	0.564
	S	2			0.45	0.0835	0.267	0.267	0.206
	A	1			0.31	0.0587	0.184	0.184	0.142
	A	2			0.33	0.0619	0.196	0.196	0.151
49	S	1	7.1	2.9	0.19	0.0491	1.046	0.428	0.508
	S	2			0.19	0.0437	0.117	0.117	0.092
	A	1			0.18	0.0452	0.113	0.113	0.090
	A	2			0.19	0.047	0.119	0.119	0.095
50	S	1	5.6	2.6	0.16	0.0425	0.934	0.379	0.452
	S	2			0.15	0.0404	0.095	0.095	0.077
	A	1			0.1	0.0296	0.065	0.065	0.053
	A	2			0.14	0.0352	0.088	0.088	0.070
51	S	1	9.9	2.9	0.22	0.0536	1.058	0.444	0.518
	S	2			0.18	0.0449	0.112	0.112	0.090
	A	1			0.17	0.0457	0.108	0.108	0.087
	A	2			0.19	0.0464	0.118	0.118	0.094
52	S	1	6.6	2.8	0.29	0.0617	1.051	0.467	0.527
	S	2			0.3	0.0645	0.182	0.182	0.143
	A	1			0.18	0.0462	0.113	0.113	0.091
	A	2			0.22	0.0472	0.134	0.134	0.105
53	S	1	9.9	2.3					
	S	2							
	A	1			0.43	0.0852	0.258	0.258	0.200
	A	2			0.41	0.0805	0.245	0.245	0.190
54	S	1	9.7	2.9	0.18	0.035	1.038	0.418	0.497
	S	2			0.13	0.0258	0.078	0.078	0.061
	A	1			0.13	0.0226	0.076	0.076	0.058
	A	2			0.15	0.0283	0.089	0.089	0.069
55	S	1	8.5	2.9	0.25	0.0578	1.069	0.459	0.529
	S	2			0.24	0.0597	0.150	0.150	0.120
	A	1			0.16	0.0363	0.098	0.098	0.078
	A	2			0.18	0.0424	0.111	0.111	0.088
56	S	1	7.2	2.8	0.15	0.0361	0.995	0.394	0.475
	S	2			0.18	0.0439	0.112	0.112	0.089
	A	1			0.13	0.031	0.081	0.081	0.064
	A	2			0.14	0.0312	0.086	0.086	0.067
57	S	1	5.6	2.5	0.2	0.0459	0.915	0.387	0.449
	S	2			0.18	0.053	0.117	0.117	0.095
	A	1			0.19	0.0446	0.117	0.117	0.093
	A	2			0.2	0.0467	0.123	0.123	0.098
58	S	1	6.7	2.8	0.21	0.057	1.022	0.430	0.503
	S	2			0.22	0.0536	0.137	0.137	0.109
	A	1			0.2	0.0508	0.125	0.125	0.101
	A	2			0.21	0.0505	0.130	0.130	0.104
59	S	1	6.7	2.7	0.24	0.0479	0.996	0.428	0.491
	S	2							
	A	1			0.17	0.0367	0.103	0.103	0.081
	A	2			0.23	0.0447	0.137	0.137	0.106
60	S	1	7.1	2.8	0.1	0.026	0.975	0.367	0.456
	S	2			0.11	0.0247	0.067	0.067	0.053
	A	1			0.12	0.0257	0.073	0.073	0.057
	A	2			0.16	0.0334	0.097	0.097	0.076

De acuerdo con la ubicación de la hoja en la planta, S: hoja superior y A: hoja inferior.

Anexo 4: Panel fotográfico

Figura 5

Selección de plantones al azar de C. officinalis.



Figura 6

Toma de la medida dasométricas (altura) de cada plantón.



Figura 7

Toma de la medida dasométrica (diámetro) de cada plantón.



Figura 8

Eliminación del peciolo en la toma de muestra.



Figura 9

Peso en verde de cada hoja de C. officinalis.



Figura 10

Montaje de fotografía

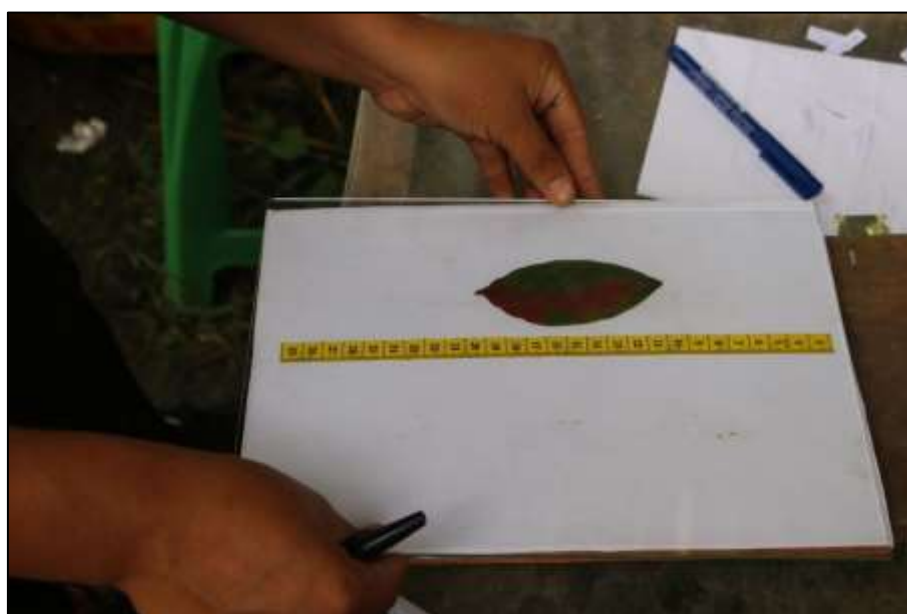


Figura 11

Codificación de muestras.



Figura 12

Secado de las hojas de C. officinalis. en la estufa.



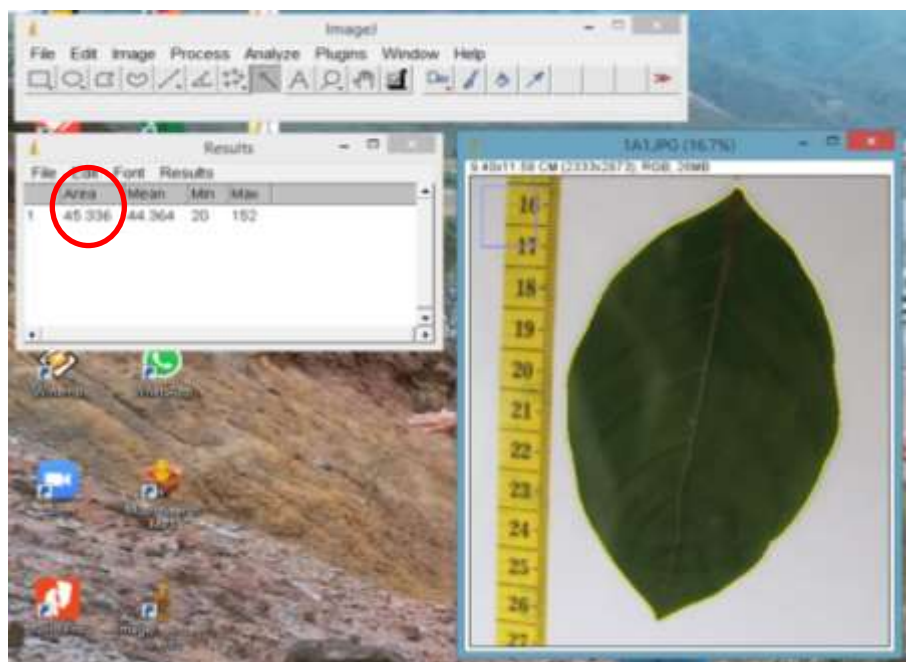
Figura 13

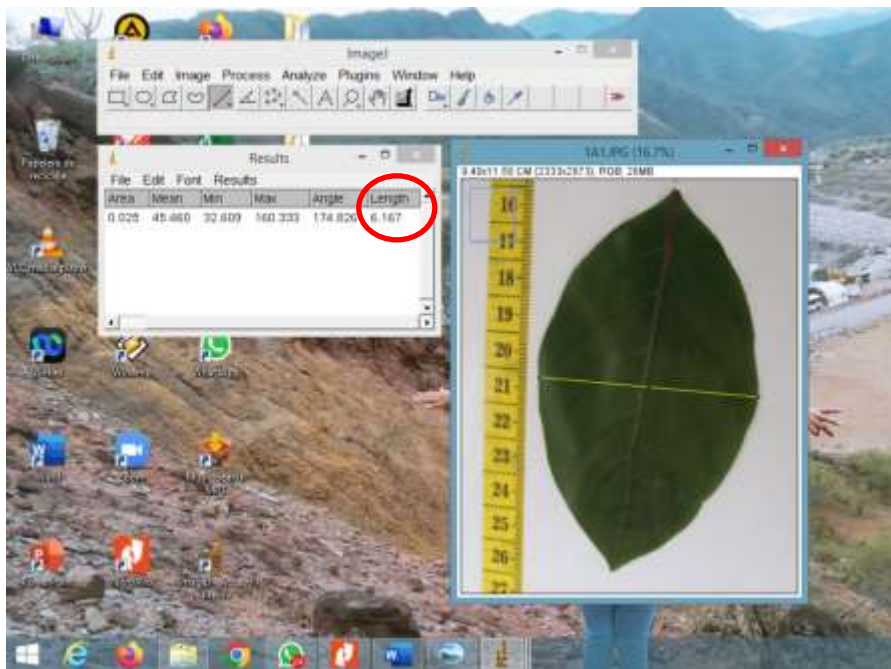
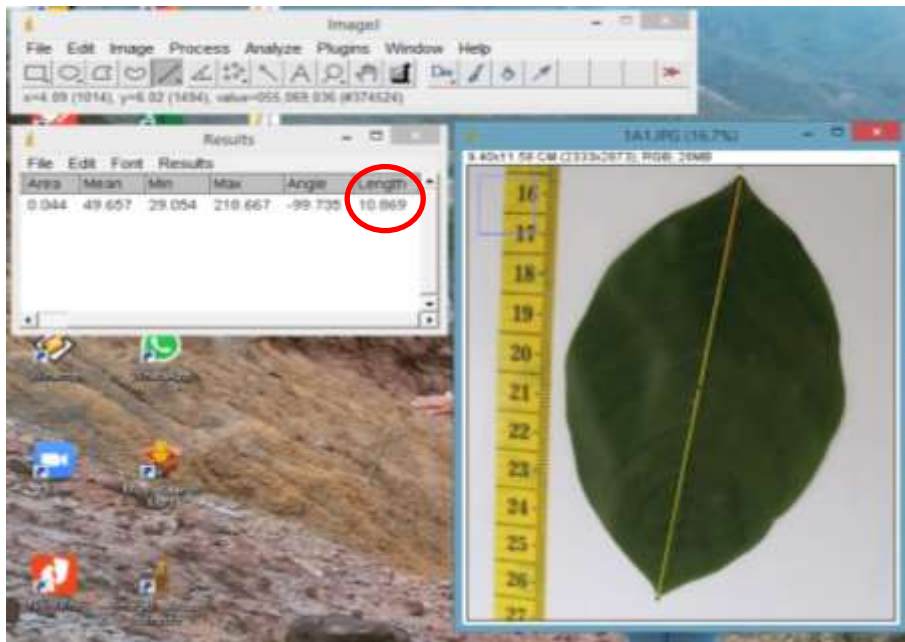
Peso en seco de las hojas de C. officinalis con ayuda de la balanza analítica.



Figura 14

Medida del área de las hojas de C. officinalis con el software de procesamiento de imágenes ImageJ.





 
Luis Joseph Pérez Delgado

 
Karla Smith Tanteleán Osoreo


Mg. Arnick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate

Figura 15

Certificado de identificación botánica de la especie *C. officinalis*.

JOSÉ R. CAMPOS DE LA CRUZ
CONSULTOR BOTÁNICO
C. B. P. 3796
Cel: 963689079
Email: jocamde@gmail.com

CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACIÓN BOTÁNICA

JOSÉ RICARDO CAMPOS DE LA CRUZ. BIÓLOGO COLEGIADO. CBP 3796 – INSCRITO EN EL REGISTRO DE PROFESIONALES QUE REALIZAN CERTIFICACIONES DE IDENTIFICACION TAXONÓMICA DE ESPECÍMENES Y PRODUCTOS DE FLORA – RESOLUCIÓN DIRECTORAL N.º 0311-2013- MINAGRI-DGFFS-DGEFFS.

CERTIFICA:

Que, KARLA SAITH, TANTALEAN OSORES y LUIS JHOSEPH PEREZ DELGADO, egresados de la Universidad Nacional de Jaén, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, con fines de investigación para desarrollar el proyecto de tesis titulado: ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR DE *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) BASADO EN UN MODELO LINEAL. Para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental, han solicitado la identificación y certificación botánica de una planta conocida con el nombre vulgar de “cascarilla”, la muestra ha sido identificada como *Cinchona officinalis* L. Según la base de datos de W³Tropicos del Missouri Botanical Garden que sigue el sistema moderno de clasificación de las angiospermas (APG), publicado en 1998 por el Grupo para la Filogenia de las Angiospermas, revisado por APG II (2003), APG III (2009) y APG IV (2016), el sistema APG evita el uso de la nomenclatura taxonómica clásica por arriba de orden. Mark W. Chase & James L. Reveal en APG III (2009) consideran a todas las plantas verdes en la Clase Equisetopsida. Teniendo en cuenta los datos de la base de W³Tropicos, la especie identificada tiene las siguientes categorías taxonómicas y clados:

Reino: Plantae
División: Angiospermae
Clase: Equisetopsida
Subclase: Magnoliidae
Superorden: Asteranae
Orden: Gentianales
Familia: Rubiaceae
Género: *Cinchona*
Especie: *Cinchona officinalis* L.

Nombre vulgar: “cascarilla”

Se expide la presente certificación botánica para fines de investigación científica.

Lima, 14 de diciembre del 2022

José R. Campos de la Cruz
BIÓLOGO
C. B. P. 3796

Jr. Sánchez Silva 156 – Piso 2-Urb. Santa Luzmila -Lima 07-Lima

Luis Jhoseph Pérez Delgado

Karla Saith Tantaleán Osores

Mg. Arnick Estefany Huaccha Castillo

Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate

FORMATO 01: COMPROMISO DE ASESORA

Yo, Annick Estefany Huaccha Castillo con Grado de Magister y Profesión Ingeniero Ambiental con DNI 72552959 con conocimiento del vigente Reglamento General de Grado Académico y Título Profesional de la UNJ, dejo constancia de las orientaciones a los tesis egresados Luis Jhoseph Pérez Delgado y Karla Saith Tantaleán Osores de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, en la formulación del: **Informe final de tesis** titulado: **Estimación no destructiva del área foliar de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) basado en un modelo lineal.**

Por lo expuesto, mi persona da testimonio y visto bueno de que los tesis formularon el Informe Final de Tesis, por lo que suscribo la presente en fe a la verdad.

Jaén, 11 de septiembre de 2023

Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

Luis Jhoseph Pérez Delgado

Karla Saith Tantaleán Osores

Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

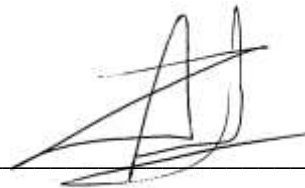
Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate

FORMATO 01: COMPROMISO DE ASESOR

Yo, Franklin Hitler Fernandez Zarate con Grado de Magister y Profesión Ingeniero Forestal y Ambiental con DNI 74420282 con conocimiento del vigente Reglamento General de Grado Académico y Título Profesional de la UNJ, dejo constancia de las orientaciones a los tesisistas egresados Luis Jhoseph Pérez Delgado y Karla Saith Tantalean Osores de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, en la formulación del: **Informe final de tesis** titulado: **Estimación no destructiva del área foliar de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) basado en un modelo lineal.**

Por lo expuesto, mi persona da testimonio y visto bueno de que los tesisistas formularon el Informe Final de Tesis, por lo que suscribo la presente en fe a la verdad.

Jaén, 11 de septiembre de 2023



Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate



Luis Jhoseph Pérez Delgado



Karla Saith Tantalean Osores



Mg. Anrick Estefany Huaccha Castillo



Mg. Franklin Hitler Fernandez Zarate

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Luis Jhoseph Pérez Delgado, identificado con DNI N° 73010770, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ); **bajo juramento declaro que:** Soy el autor del **Informe final de tesis**, con nombre: **Estimación no destructiva del área foliar de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) basado en un modelo lineal.**

El cual presento para optar el Título Profesional.

1. Este **Informe**, no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, respetando las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
2. Este **Informe**, no atenta contra los derechos de terceros.
3. Este **Informe**, no ha sido presentado ni publicado anteriormente para obtener un grado académico previo o un título profesional.
4. Los datos de los resultados son reales, no son falsificados, ni duplicados ni son copiados.

Es por lo que con esta declaración jurada asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de este **Informe Final de Tesis**, así como por los derechos sobre la obra presentada. Además, me comprometo a asumir las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del **Informe final de tesis**.

En caso de identificarse piratería, fraude, falsificación, plagio, o que el **Informe final de tesis**, haya sido anteriormente publicado; asumo consecuencias, sanciones civiles - penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 11 de septiembre de 2023



Luis Jhoseph Pérez Delgado
DNI: 73010770



Luis Jhoseph Pérez Delgado



Karla Smith Tantaleán Osoreo



Mg. Anrick Estefany Huaccha Castillo



Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Karla Saith Tantaleán Osóres, con DNI N° 73488042, egresada de la Escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ); **bajo juramento declaro que:** Soy la autora del presente **Informe Final de Tesis**, con nombre: **Estimación no destructiva del área foliar de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) basado en un modelo lineal.**


El cual presento para optar el Título Profesional.

1. Este **Informe**, no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, respetando las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
2. Este **Informe**, no atenta contra los derechos de terceros.
3. Este **Informe**, no ha sido presentado ni publicado anteriormente para obtener un grado académico previo o un título profesional.
4. Los datos de los resultados son reales, no son falsificados, ni duplicados ni son copiados.

Es por lo que con esta declaración jurada asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de este **Informe Final de Tesis**, así como por los derechos sobre la obra presentada. Además, me comprometo a asumir las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del **Informe final de tesis**.

En caso de identificarse piratería, fraude, falsificación, plagio, o que el **Informe final de tesis**, haya sido anteriormente publicado; asumo consecuencias, sanciones civiles - penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 11 de septiembre de 2023


Karla Saith Tantaleán Osóres
DNI: 73488042


Luis Joseph Pérez Delgado


Karla Saith Tantaleán Osóres


Mg. Anrick Estefany Huaccha Castillo


Mg. Franklin Hitler Fernández Zarate