



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Forestal

### Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” en la hoya de Loja

Trabajo de Integración  
Curricular previo a la obtención  
del título de Ingeniera Forestal

**AUTORA:**

Eimy Maria Illescas Cueva

**DIRECTOR:**

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

## Certificación

Loja, 28 de enero de 2025

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” en la hoya de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, de la autoría de la estudiante **Eimy Maria Illescas Cueva**, con cédula de identidad Nro. **1104648025**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS FERNANDO MUÑOZ  
CHAMBA**

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Eimy Maria Illescas Cueva**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1104648025

**Fecha:** 30 de enero de 2025

**Correo electrónico:** [eimy.illescas@unl.edu.ec](mailto:eimy.illescas@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0980757106

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, Eimy Maria Illescas Cueva, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” en la hoya de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta días de enero del dos mil veinticinco.



**Firma:**

**Autora:** Eimy Maria Illescas Cueva

**Cédula:** 1104648025

**Dirección:** Barrio Clodoveo

**Correo electrónico:** [eimy.illescas@unl.edu.ec](mailto:eimy.illescas@unl.edu.ec)

**Celular:** 0980757106

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

Director del trabajo de integración curricular: Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Agradezco a mis abuelos principalmente porque sin ellos no hubiera conseguido esta meta.

A mi padrino Galton Esparza que me ha enseñado a trabajar, y a luchar por mis sueños, que nunca me ha faltado, ni me ha fallado.

A mis padres; a mis hermanos; a mi familia paterna; tíos y primos; a mis amigos más cercanos. A todas esas personas que, en última instancia, motivaron parte del proceso.

Esta tesis está dedicada a ustedes, con todo mi amor y gratitud.

*Eimy Maria Illescas Cueva*

## **Agradecimiento**

A la Universidad Nacional de Loja, por la oferta de la Carrera de Ingeniería Forestal, y sus docentes, quienes siempre brindan ayuda y están dispuestos en todo momento.

Al Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc le agradezco su paciencia, responsabilidad y su disposición para ayudarme en el proyecto de investigación.

Al Ing. Leonardo Paúl González por orientarme en el proyecto ejecutado, permitiéndome continuar con su evaluación, además, expreso mi agradecimiento a los técnicos del herbario, al personal técnico del laboratorio de suelos por su contribución a la investigación.

A mis compañeros por su comprensión, capacidad para escucharme y su ayuda tanto en lo académico como personal.

Agradezco a todos aquellos que contribuyeron a mi proceso académico. Mil gracias.

***Eimy Maria Illescas Cueva***

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras .....	xi
Índice de anexos .....	xii
1. Título .....	2
2. Resumen .....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción .....	4
4. Marco teórico .....	6
4.1. La Cascarilla, <i>Cinchona officinalis</i> L.....	6
4.1.1. Descripción botánica .....	6
4.1.2. Descripción taxonómica .....	6
4.1.3. Historia .....	6
4.1.4. Distribución geográfica .....	7
4.1.5. Estado de amenaza .....	7
4.1.6. Propagación y reproducción.....	7
4.1.7. Experiencias de reforestación.....	8
4.2. Restauración de bosques.....	8
4.2.1. Concepto y objetivos de la restauración de bosques .....	8
4.2.2. Principios de la restauración .....	9

4.2.3.	Estrategias de restauración .....	10
4.2.4.	Importancia de la restauración .....	10
4.2.5.	Uso de especies forestales para la restauración.....	11
4.2.6.	Plantaciones forestales con fines de restauración .....	11
4.3.	Caracterización de bosques relictos.....	12
4.3.1.	Definición de bosque relicto .....	12
4.3.2.	Estado de conservación de bosques relictos.....	12
4.3.3.	Factores que influyen en el crecimiento inicial de las plantas en ambientes boscosos .....	12
4.3.4.	Metodología para el estudio de las condiciones biofísicas en ambientes boscosos	14
5.	Metodología .....	19
5.1.	Área de estudio .....	19
5.1.1.	Descripción del bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. ....	20
5.2.	Metodología para caracterizar el estado actual de un bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas.....	20
5.2.1.	Medición de variables en plantas de <i>Cinchona officinalis</i> L. ....	20
5.2.2.	Caracterización de condiciones biofísicas.....	22
5.3.	Metodología para Determinar la Supervivencia y Crecimiento de <i>Cinchona officinalis</i> L. Plantado en un Bloque Bajo un Relicto Boscoso de la Hoya de Loja .....	29
5.4.	Análisis de la información.....	30
6.	Resultados .....	31
6.1.	Caracterización del estado actual de un bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas .....	31
6.1.1.	Estado actual del bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. ....	31
6.1.2.	Características biofísicas del bosque relicto.....	35

6.2.	Sobrevivencia y crecimiento de un bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. bajo un relicto boscoso.....	43
6.2.1.	Sobrevivencia .....	43
6.2.2.	Crecimiento total en altura y diámetro a la altura de la base .....	43
6.2.3.	Incremento medio anual (IMA) para altura y diámetro basal .....	44
7.	Discusión.....	45
7.1.	Caracterización del estado actual de un bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas .....	45
7.1.1.	Estado actual del bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. ....	45
7.2.	Sobrevivencia y crecimiento de un bloque plantado con <i>Cinchona officinalis</i> L. bajo un relicto boscoso.....	49
8.	Conclusiones .....	51
9.	Recomendaciones.....	52
10.	Bibliografía.....	53
11.	Anexos.....	63

## Índice de tablas

Tabla 1. Descripción taxonómica de la especie <i>Cinchona officinalis</i> L.....	6
Tabla 2. Variables medidas a cada planta de <i>Cinchona officinalis</i> L. ....	21
Tabla 3. Cálculo de la diversidad florística para el bosque relicto. ....	24
Tabla 4. Fórmulas para calcular los parámetros estructurales del bosque relicto. ....	25
Tabla 5. Hoja de campo para la evaluación del espesor de la capa de hojarasca bajo el bosque relicto. ....	26
Tabla 6. Métodos para la determinación de las propiedades físicas y químicas. ....	28
Tabla 7. Descripción de suelos.....	29
Tabla 8. Fórmulas para calcular sobrevivencia, crecimiento total en altura y diámetro basal. ....	29
Tabla 9. Composición florística del estrato arbóreo y aburstivo del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”. ....	35
Tabla 10. Composición florística del estrato herbáceo del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”. ....	36
Tabla 11. Parámetros de diversidad para los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del bosque relicto en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”. ....	36
Tabla 12. Parámetros físico-químico del suelo en el bosque relicto. ....	39
Tabla 13. Perfil del suelo de la parte alta. ....	39
Tabla 14. Perfil del suelo de la parte media. ....	40
Tabla 15. Perfiles del suelo de la parte baja. ....	41
Tabla 16. Variables físicas del bosque relicto. ....	42
Tabla 17. Estadísticas descriptivas para el crecimiento en altura y diámetro basal de las plantas de <i>C. officinalis</i> L.....	44
Tabla 18. Incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro de la especie <i>C. officinalis</i> ...	44

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del PUFVC y del bosque andino relicto. ....	19
Figura 2. Diseño del bloque de <i>Cinchona officinalis</i> L., establecido en el bosque relicto del PUFVC. .....	20
Figura 3. Evaluación de la presencia de plagas y enfermedades en plantas de <i>C. officinalis</i> : A) Toma de muestras con síntomas de enfermedades y plagas; B) Análisis directo de la hoja de <i>Cinchona officinalis</i> L.; C) Fragmentos de tejido foliar en medio de cultivo (PDA). .....	22
Figura 4. Distribución de transectos. ....	23
Figura 5. Diseño para la toma de muestra de hojarasca del bosque relicto.....	26
Figura 6. Medición de cobertura del dosel. ....	27
Figura 7. Obtención de muestras para la caracterización del suelo: A) Muestreo de suelo en zigzag; B) Extracción de muestras con barreno; C) Tamizado de muestras.....	28
Figura 8. Altura de <i>Cinchona officinalis</i> agrupado por clases en altura (5 cm) en un bloque plantado en el PUFVC. ....	31
Figura 9. Altura de rebrote de 4 individuos de <i>Cinchona officinalis</i> en un bloque plantado en el PUFVC. .....	32
Figura 10. Diámetro basal de <i>Cinchona officinalis</i> agrupado por clases diamétricas (5 cm) en un bloque plantado en el PUFVC. ....	32
Figura 11. Número de hojas en individuos de <i>Cinchona officinalis</i> en un bloque plantado en el PUFVC. .....	33
Figura 12. Número de brotes de <i>Cinchona officinalis</i> en un bloque plantado en el PUFVC...33	
Figura 13. Estado fitosanitario de <i>Cinchona officinalis</i> agrupado por categorías en un bloque plantado en el PUFVC. ....	34
Figura 14. Plagas y enfermedades identificadas en el bloque plantado con <i>C. officinalis</i> : A) <i>Tetranychus urticae</i> (araña roja); B) Hongo <i>Cercospora</i> sp.....	34
Figura 15. Valor de importancia ecológica de las especies arbóreas del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.....	37
Figura 16. Valor de importancia ecológica de las especies arbustivas del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.....	38
Figura 17. Supervivencia de la plantación en bloque de la especie <i>C. officinalis</i> por clases en altura de la línea base y la medición uno.....	43

## Índice de anexos

Anexo 1. Hoja de campo para caracterizar el estado actual de la plantación mediante variables dasométricas. ....	63
Anexo 2. Hoja de campo para la colección de datos de hierbas.....	64
Anexo 3. Hoja de campo para la colección de datos de arbustos.....	65
Anexo 4. Hoja de campo para la recolección de datos de los individuos $\geq 5$ cm de DAP.....	66
Anexo 5. Hoja de campo para datos de variables físicas del bosque relicto.....	67
Anexo 6. Parámetros estructurales del estrato arbustivo del bosque relicto ubicado en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro. ....	68
Anexo 7. Certificado de traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular.....	69

## **1. Título**

Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” en la hoya de Loja

## 2. Resumen

Evaluación del estado actual de una plantación en bloque de *C. officinalis* L., dentro de un relicto ubicado en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, donde se caracterizó la condición de las plantas y se identificaron condiciones biofísicas del entorno. En principio se evaluó la sobrevivencia y se tomaron variables dasométricas y ecológicas, después de dos años establecidas presentó un porcentaje de sobrevivencia de 81,33 % (61 individuos). Donde, el 60% de los individuos fueron evaluados como “aceptablemente sano”, con una altura promedio de 39,98 cm y un diámetro basal de 4,90 mm. En cuanto al bosque relicto, se instalaron cinco parcelas temporales de 20 m x 10 m, en donde se evaluó el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo, en el cual, se identificaron 38 especies, donde predominó el estrato arbóreo con 13 especies. La diversidad florística fue media, presentando un índice de *Shannon* de 1,89 para árboles y un IVI destacando la especie *Sciodaphyllum* sp con 28,59%. Por otro lado, del estrato arbustivo la especie más destacada fue *Piper asperilimum* con un valor de 24,52 %. Las variables físicas del bosque relicto incluyen un grosor promedio de 8,42 cm, un peso húmedo de 36,21 ton/ha, y un peso seco de 3,31 ton/ha. La cobertura del dosel presentó un promedio de 86,37 % y un porcentaje de de 37,2 en la pendiente, por consiguiente, para la evaluación del suelo se caracterizó en tres zonas (alta, media y baja), con ayuda de muestras disturbadas, encontrando así un pH más alto de 4,2 en la zona alta. Mientras que, la materia orgánica es mayor en la parte media 23,83 % y baja 23,13 %. La capacidad de intercambio catiónico es mayor en la parte media 44,1 Me1/100 g y baja 34,3 Meq/100 g. El color del suelo varía de 10YR 4/2 en la parte alta a 7,5YR 3/2 en las partes media y baja, con textura franco arenosa en las tres zonas. Se concluye que la plantación presenta un estado de salud y crecimiento aceptable, gracias al estrato arbóreo que contribuye a la retención de agua y proporciona sombra, factores necesarios en el estado inicial que se encuentra la plantación.

**Palabras clave:** Relicto, variables, diversidad florística, sobrevivencia, variables físicas.

## Abstract

Initial growth of *Cinchona officinalis* L. under a forest relict inside the University Park “Francisco Vivar Castro” in the Loja broad valley.

Evaluation of the current status of a block plantation of *C. officinalis* L., inside a relict located in the University Park “Francisco Vivar Castro”, where the condition of the plants was characterized and biophysical conditions of the environment were identified. In principle, survival was evaluated and dasometric and ecological variables were taken, after two years established, it presented a survival percentage of 81.33% (61 individuals). Where 60% of the individuals were evaluated as “acceptably healthy”, with an average height of 39.98 cm and a basal diameter of 4.90 mm. As for the relict forest, five temporary plots of 20 m x 10 m were installed, where the arboreal, shrub and herbaceous stratum was evaluated, in which 38 species were identified, where the arboreal stratum predominated with 13 species. Floristic diversity was average, with a Shannon index of 1.89 for trees and an IVI of 28.59% for the species *Sciodaphyllum* sp. On the other hand, in the shrub stratum, the most outstanding species was *Piper asperilimum* with a value of 24.52%. The physical variables of the relict forest included an average thickness of 8.42 cm, a wet weight of 36.21 ton/ha, and a dry weight of 3.31 ton/ha. The canopy cover presented an average of 86.37 % and a percentage of 37.2 on the slope, therefore, for the evaluation of the soil it was characterized in three zones (high, medium and low), with the help of disturbed samples, thus finding a higher pH of 4.2 in the high zone. Meanwhile, organic matter is higher in the middle zone 23.83 % and 23.13 % in the low zone. The cation exchange capacity is higher in the middle part 44.1 Me/100 g and low 34.3 Meq/100 g. Soil color varies from 10YR 4/2 in the upper part to 7.5YR 3/2 in the middle and lower parts, with sandy loam texture in the three areas. It is concluded that the plantation presents an acceptable state of health and growth, thanks to the tree layer that contributes to water retention and provides shade, necessary factors in the initial state of the plantation.

Key words: Relict, variables, floristic diversity, survival, physical variables.

### 3. Introducción

El género *Cinchona*, es conocido en todo el mundo, especialmente en América del Sur, donde se utiliza desde hace mucho tiempo para tratar enfermedades antidiarreicas y febrífugas (Ferreira et al., 2012). En Ecuador, la especie *Cinchona officinalis* L., conocida como “casarilla”, es una especie forestal emblemática (Eras et al., 2019) ha sido utilizado en actividades de reforestación, por ende, el establecimiento de plantaciones de *C. officinalis* L. en relictos boscosos se plantea como una estrategia para salvaguardar la biodiversidad y, además, para llevar a cabo la restauración ecológica (Aguirre et al., 2021), se reconoce que esta especie desempeña una función vital en la recuperación de bosques andinos (Quintero et al., 2018).

El conocimiento actual sobre la sobrevivencia y el crecimiento inicial de *C. officinalis* L. plantada en remanentes de bosques nativos es un verdadero reto, en especial en el contexto de su aplicación como estrategia de restauración, pues el Plan Nacional de Restauración Forestal 2019-2030 (PNRF), destaca y promueve la introducción de especies nativas para incrementar la diversidad florística y acelerar la recuperación de áreas degradadas (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2019).

La práctica de restauración en el Bosque Protector Cerro Blanco ha mostrado que, mediante acciones de plantación de árboles y enriquecimiento del área, es posible revitalizar bosques antiguos que han sufrido daños. Además, se ha destacado que al mantener un cuidado constante y realizar un seguimiento periódico, se estimula el crecimiento inicial (Mazón et al., 2017).

Las plantaciones forestales con especies nativas, como *C. officinalis* L., con fines de restauración juegan un papel crucial en la recuperación de terrenos degradados y la prevención de erosión, así como la conectividad de fragmentos de bosque (Muñoz et al., 2018). Sin embargo, uno de los desafíos principales de afrontar en estas iniciativas es la alta mortalidad de individuos, principalmente por el estrés hídrico experimentado después del trasplante (Vaca et al., 2021). Los bosques relictos, con su densa cobertura vegetal, mantienen condiciones húmedas que facilitan la captación y retención de agua, ayudando a mitigar el estrés hídrico en las plántulas, promoviendo su supervivencia y crecimiento inicial (Elizalde et al., 2016).

El crecimiento y la adaptación específica de *C. officinalis* L. es fundamental para comprender su adaptabilidad en diferentes entornos. Según Poorter et al. (2012), distintos elementos inciden en el crecimiento de las plántulas, entre ellos la cantidad de agua disponible, sombra, el suministro del nutriente, presencia de especies invasoras, entre otros. Esto posibilita y permite diseñar estrategias de restauración más efectivas y adaptables a condiciones locales (Vásquez et al., 2018). Por lo tanto, maximiza el éxito de los programas de restauración con

esta especie al dirigir los esfuerzos hacia áreas donde ha tenido presencia previa o las condiciones biofísicas, topográficas y edáficas son óptimas para su desarrollo (Lopez, 2016). Por último, brinda información valiosa para ajustar o mejorar las prácticas de restauración con respecto a la especie (García et al., 2022).

La propagación vegetativa de *C. officinalis* L. enfrenta desafíos debido a la perpetuación del mismo genotipo, lo que reduce la variabilidad genética (Vásquez et al., 2018; Sánchez et al 2020). Por otro lado, la propagación por semillas, presenta dificultades en cuanto al alto número necesario y el porcentaje variable de germinación. Según Barrutia et al (2020), la mayoría de las semillas germinan en aproximadamente 13 días, con un promedio de 58, 1 %. Por lo que la técnica de cultivo de tejidos vegetales in vitro emerge como una alternativa viable, ya que facilita una mayor densidad de población y conservación del material vegetal (Rivera et al., 2018).

Como parte del proyecto de investigación 01-DI-FARNR intitulado: Procesos ecológicos de la vegetación en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, UNL, Fase III, financiado por la Universidad Nacional de Loja, se estableció en el año 2022 un bloque de *C. officinalis* L. en un relicto boscoso del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, esta acción forma parte de las iniciativas destinadas a enriquecer los bosques con el propósito de restaurar su biodiversidad y funcionalidad ecológica. En este contexto, los objetivos de la investigación fueron:

#### **Objetivo general**

Contribuir al conocimiento de la restauración activa con especies forestales nativas mediante la evaluación de un bloque plantado de *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.

#### **Objetivos específicos**

- Caracterizar el estado actual de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. en un relicto boscoso en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” y sus condiciones biofísicas asociadas.
- Determinar la sobrevivencia y crecimiento de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.

## 4. Marco teórico

### 4.1. La Cascarilla, *Cinchona officinalis* L.

#### 4.1.1. Descripción botánica

Según Loján (2003) las especies del género *Cinchona* son distintas por lo que tienen características individuales, lo general de esta especie son sus hojas simples y opuestas, con estípulas en la unión con el tallo, una característica singular de las hojas es que se ponen rojizas al momento de caer y renovarse porque son caducifolias. Las flores son pequeñas, las cuales polinizan con la ayuda de insectos, se presentan en inflorescencias terminales, sus frutos son cápsulas y semillas pequeñas.

#### 4.1.2. Descripción taxonómica

*C. officinalis* L., se clasifica taxonómicamente (Zevallos, 1989)

Tabla 1. Descripción taxonómica de la especie *Cinchona officinalis* L.

	Taxonomía
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Gentianales
Familia	Rubiaceae
Género	<i>Cinchona</i>
Especie	<i>Officinalis</i>
Nombre común	Cascarilla; quina



#### 4.1.3. Historia

La especie *C. officinalis* L. conocida como “cascarilla”, fue una sustancia clave en el tratamiento del paludismo en el siglo XIX. Su descubrimiento y explotación tuvieron un impacto significativo en la historia de la medicina y en los conflictos bélicos de la época. Inicialmente comercializada por la corona española, en las coronas americanas, la quina fue objeto de comercio y explotación. Sin embargo, fue el comerciante australiano Charles Ledger quien, en 1865 logró obtener semillas de cascarilla. Estas semillas fueron vendidas a los gobiernos de Inglaterra y Holanda, este último país manteniendo un monopolio mundial sobre la producción de cascarilla durante 80 años.

Durante la segunda Guerra mundial la cascarilla fue vital para fuerzas aliadas, pero las plantaciones en Asia estaban bajo control japonés, lo que llevó a la búsqueda de cascarilla en los bosques de los países andinos.

Actualmente, la cascarilla no solo se utiliza como tratamiento antimalárico, sino, que tiene diversas aplicaciones en medicina, industria alimentaria, química y elaboración de polímeros.

Aunque ya no existe un monopolio de la producción, la cascarilla sigue siendo cultivada en varios países con una producción significativa (Lopez, 2016).

#### **4.1.4. Distribución geográfica**

El género *Cinchona* pertenece a árboles neotropicales principalmente andinos, *C. officinalis* L, se distribuye en los países Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (Aymard, 2019). En Ecuador se encuentra ampliamente distribuido en las provincias del Oro, Cañar, Azuay, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Bolívar, Chimborazo y Loja (Jorgensen y León, 1999).

#### **4.1.5. Estado de amenaza**

Actualmente *C. officinalis* L. no ha sido registrada de manera oficial con una categoría de amenaza de acuerdo con los criterios y categorías de la UICN. Sin embargo, un estudio realizado por Huamán (2020) sobre la evaluación morfológica y del estado de conservación de seis especies del género *Cinchona* L. (Rubiaceae) en los Andes del norte y centro de Perú, se observó que la especie se encuentra clasificada como Vulnerable (VU). Esto se le debe al valor de su Extensión de Ocurrencia (EOO) fue menor a 20 000 km<sup>2</sup> y su escala de Ocupación (AOO) fue menor a 100 km<sup>2</sup> a escala mundial. Además, en el contexto peruano los valores de AOO y EOO son aún más reducidos. Se ha observado que las poblaciones de esta especie están siendo amenazadas por la deforestación y el crecimiento urbano lo que sugiere que su categoría de amenaza podría ser aún mayor.

Por otro lado, el hábitat potencial de *C. officinalis* L, en la provincia de Loja se estima en alrededor de 9 836 km<sup>2</sup>. Sin embargo, se ha perdido aproximadamente el 78,45% de este hábitat, y solamente el 17,88% se encuentra conservado dentro del Sistema Nacional de Áreas protegidas, que incluye el Parque Nacional Podocarpus y Yacuri (Eras et al, 2019).

#### **4.1.6. Propagación y reproducción**

El género *Cinchona*, en condiciones naturales, presenta una baja tasa de germinación y regeneración, y tiende a encontrarse únicamente en lugares apartados y pequeños grupos. Esta característica es una de las razones por las cuales *C. officinalis* L. es una especie prioritaria tanto para la conservación como para su estudio (Eras, 2019).

Estudios de germinación han demostrado que el sustrato compuesto por turba presenta el más alto porcentaje de germinación en semillas de *C. officinalis* L. a nivel de invernadero alcanzando un 88,33 %. Este proceso de germinación comienza aproximadamente en 20 días y se estabiliza alrededor de los 50 días. Por otro lado, el sustrato compuesto por tierra exhibe el

más bajo porcentaje de germinación con un 20 % (Conde et al., 2017).

#### **4.1.7. Experiencias de reforestación**

Aunque en el Ecuador, especialmente en la región sur del Ecuador se centran en una reproducción bajo condiciones controladas de laboratorio de la especie *C. officinalis* L. (Eras, 2019). Se han documentado proyectos en donde utilizan a la especie *C. officinalis* L. como parte de estrategias de restauración activa.

En el marco de restauración de ecosistemas forestales del Ecuador, se llevó a cabo un estudio para evaluar el impacto de la introducción de árboles nativos en plantaciones de *Pinus patula* en el valle del Río San Francisco. La iniciativa surgió como respuesta a la deforestación y pérdida de biodiversidad en el país.

La experiencia se basó en entender como la presencia de árboles puede influir en la supervivencia y el crecimiento de especies nativas dentro de esas plantaciones. El estudio partió de la premisa de que la introducción de árboles en plantaciones podría crear microambientes favorables, para el establecimiento de especies nativas, incluida la especie *C. officinalis* L., contribuyendo así a la restauración de la biodiversidad y funcionalidad.

Los resultados sugieren que la introducción de árboles en las plantaciones de *Pinus patula* puede tener un impacto positivo en la supervivencia y el crecimiento de las especies nativas, aunque se observaron diferencias según las preferencias lumínicas de las diferentes especies (Aguirre et al., 2006).

En Perú hay una creciente preocupación por la preservación de la especie *C. officinalis* L., por lo que se implementan proyectos, uno de ellos es el “Plan de Acción para el Repoblamiento Forestal con Especies del género *Cinchona* (Árbol de quina) 2020-2022. Donde, tres fueron las bases para aprobar el plan: el reconocimiento del nivel de amenaza hacia el género *Cinchona*, el repoblamiento forestal con fines de obtención de servicios ecosistémicos, y priorización a otros proyectos con este género al implementar la recolección de sus semillas. Sin embargo, no se han registrado los resultados de este proyecto (Albán, 2020).

## **4.2. Restauración de bosques**

### **4.2.1. Concepto y objetivos de la restauración de bosques**

El concepto de restauración, según el Código Orgánico Ambiental (COA, 2017), abarca un conjunto de actividades dirigidas a recuperar y reestablecer las condiciones que favorecen la evolución de los procesos naturales y el mantenimiento de los servicios ambientales.

Desde una perspectiva ecológica, este enfoque surge como respuesta al deterioro y la pérdida del ecosistema, con el objetivo de recuperar aquellos que han sido perturbados para evitar su continua degradación o desaparición (SER, 2004)

La restauración se percibe como una estrategia multidisciplinaria e integral cuyos resultados se alcanzan a mediano y largo plazo, basada en un conocimiento científico que guía la gestión y el manejo de los ecosistemas, especialmente en la necesidad de rehabilitar aquellos que han sufrido degradación (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2019).

#### **4.2.2. Principios de la restauración**

La restauración ecológica se fundamenta en una serie de principios que guían su enfoque integral hacia la recuperación de ecosistemas degradados (Gann et al., 2019, p. 63)

- Principio 1. Involucramiento de las partes interesadas. Reconocer y comprometer a todas las partes involucradas en un proyecto de restauración ecológica es crucial para su éxito, ya que sus expectativas e intereses pueden determinar el curso y resultados del proyecto
- Principio 2. Valoración de múltiples conocimientos: La restauración ecológica se beneficia de una variedad de conocimientos, incluyendo científicos, tradicionales y locales, para abordar de manera efectiva los desafíos ambientales.
- Principio 3. Basados en ecosistemas de referencia nativos: La identificación de ecosistemas nativos a restaurar y el desarrollo de modelos de referencia son fundamentales. Estos modelos describen la condición aproximada del sitio si no hubiera ocurrido alteración o degradación, considerando la capacidad de los ecosistemas para adaptarse a cambios ambientales
- Principio 4. Apoyo a procesos de recuperación natural: La restauración ecológica busca restaurar las condiciones adecuadas para que los procesos naturales de recuperación se reanuden. Se prioriza la utilización de las especies remanentes para regenerarse, en algunos casos se requiere intervención adicional
- Principio 5. Evaluación en función de objetivos claros: La recuperación de los ecosistemas se evalúa utilizando objetivos y metas claras, con indicadores medibles que guíen el progreso y permitan la adaptación continua de los proyectos
- Principio 6. Búsqueda del máximo nivel de recuperación posible: Los proyectos de restauración ecológica aspiran a alcanzar el mayor nivel de recuperación posible, adoptando políticas de mejoramiento continuo respaldadas por un monitoreo sólido.

- Principio 7. Valor acumulado a gran escala: Si bien todos los proyectos de restauración pueden tener resultados positivos, la restauración a gran escala es fundamental para abordar eficazmente los desempeños ecológicos y ambientales a niveles regionales y globales.
- Principio 8. Parte de un continuo de actividades recuperativas: La restauración ecológica se integra en un conjunto de actividades recuperativas que incluyen reducción de impactos o conflictos sociales, remediación rehabilitación y restauración ecológica, con el fin de conservar la biodiversidad e integridad ecológica

#### ***4.2.3. Estrategias de restauración***

La restauración ecológica presenta dos enfoques principales: la restauración pasiva y la restauración activa. La primera se basa en permitir que los ecosistemas se recuperen de manera natural, eliminando factores estresantes que causan la degradación del área. Esta técnica es recomendada en áreas donde la degradación no es extensa y el ecosistema conserva la capacidad de resiliencia, se caracteriza por no tener intervención humana (SER, 2004).

Por otro lado, restauración activa implica la intervención directa del ser humano mediante diversas técnicas con el fin de revertir los procesos de degradación, estos procesos están estrechamente ligados a tres conceptos fundamentales: recuperación, rehabilitación y restauración (Sanchún, 2016).

#### ***4.2.4. Importancia de la restauración***

La década 2021 - 2030, considerada como la Década de la Restauración de Ecosistemas por la Asamblea General de las Naciones Unidas, representa un hito histórico en el reconocimiento global de la importancia de los procesos de restauración. Esta iniciativa refleja la urgencia de revertir la tendencia de pérdida de biodiversidad y degradación ambiental, así como la necesidad de proteger la salud humana y satisfacer las necesidades básicas de la sociedad. La restauración ecológica de ecosistemas emerge como un puente esencial que conecta las agendas de desarrollo, clima y medio ambiente, alineándose con acuerdos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este contexto se busca contrarrestar el impacto negativo sobre la naturaleza, restablecer los servicios ecosistémicos, lo que no solo encamina a la recuperación de ecosistemas, sino también la protección de la vida humana (WWF España. 2021).

#### **4.2.5. Uso de especies forestales para la restauración**

El estudio realizado por Castañeda et al (2006) destaca la escasez de conocimiento científico y técnico en la reproducción de especies nativas para fines de restauración ecológica. La falta de material vegetal de calidad dificulta la implementación efectiva de proyectos de reforestación a gran escala.

Los proyectos de restauración enfrentan dificultades relacionadas con la disponibilidad y calidad del material vegetal. La baja supervivencia de las plantas trasplantadas se atribuye a un manejo inadecuado y la falta de producción de material vegetal, según estudios específicos de vegetación y ecosistemas de referencia.

Se recomienda que los viveros se enfoquen en la producción de especies nativas prioritarias y poco conocidas para la restauración. Además, es crucial investigar y divulgar el conocimiento sobre los procesos de domesticación y propagación de estas especies. La producción de plántulas debe incorporar el concepto del gremio ecológico y aprovechar las innovaciones tecnológicas en la propagación de material vegetal, como el uso de contenedores especializados, nutrición, y manejo de plagas y enfermedades. Esto asegurara que los proyectos de restauración con especies forestales sean ejecutables y a largo plazo (Villota, 2019).

#### **4.2.6. Plantaciones forestales con fines de restauración**

Según el estudio de Aguirre et al. (2006) el efecto de la plantación de *Pinus patula* en la sobrevivencia y crecimiento de especies forestales nativas para fines de restauración ecológica. Se observó que la mayoría de las especies entre ellas *C. officinalis* L., presentaron altas tasas de sobrevivencia, especialmente en áreas con claros naturales dentro de la plantación. Además, se registró un crecimiento significativo en altura de las plántulas.

Las conclusiones preliminares resaltaron la viabilidad de enriquecimiento de plantaciones monoespecíficas, como las de *Pinus patula*, para restaurar la biodiversidad y mejorar las funciones ecológicas. Sin embargo, se señala la importancia de desarrollar modelos de manejo más efectivos para maximizar el potencial de estos ambientes en la restauración ecológica. Se destaca que la cobertura del dosel resulta crucial para el desarrollo de las plantas nativas

Bajo este contexto, se evidencia que las plantaciones forestales de *Pinus patula* pueden facilitar la sobrevivencia y crecimiento de especies nativas en proyectos de restauración.

Dentro del proyecto de forestación y reforestación de la provincia de Imbabura, se incluyó el uso del género *Cinchona*, la cual es comúnmente encontrada en flancos andinos y de manera más limitada en zonas bajas. Esta elección se realizó con el propósito de contribuir a la recuperación de ecosistemas y, a largo plazo, mejorar la hidrología de la cuenca. Se espera que esta acción resulte en beneficios tales como la reducción de la sedimentación etc. (Prefectura de Imbabura y Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador [CONGOPE], 2012).

### **4.3. Caracterización de bosques relictos**

#### ***4.3.1. Definición de bosque relicto***

Los bosques relictos boscosos son ecosistemas desestructurados por causas naturales o antrópicas, son considerados como frágiles por el grado de aislamiento geográfico en que se encuentran en terrenos inestables y por la deficiencia de recuperación o regeneración natural ante disturbios, teniendo un alto grado de vulnerabilidad debido a su ubicación topográfica y presiones antrópicas (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2022).

#### ***4.3.2. Estado de conservación de bosques relictos***

En un taller sobre los Bosques Relictos de las Vertientes Occidentales Andinas del Norte del Perú y Sur del Ecuador, celebrado en 2004, se destaca la riqueza biológica de esta región, considerada una de las más diversas del mundo, con una alta concentración de bosques relictos, que albergan una gran cantidad de especies endémicas. Sin embargo, se resalta que estos ecosistemas están en peligro debido a la actividad humana, con aproximadamente el 80% de su área ya destruida (Weigend et al., 2005).

Se conoce que los bosques relictos son los ecosistemas más amenazados de extinción total del Perú, y su destrucción generara graves consecuencias en el ciclo hídrico, afectando el caudal de los ríos y, por ende, a las poblaciones y la agricultura que dependen de estos factores ambientales. A pesar de ello, estos bosques poseen alto potencial para el ecoturismo, gracias a su belleza paisajística.

#### ***4.3.3. Factores que influyen en el crecimiento inicial de las plantas en ambientes boscosos***

El crecimiento en entornos boscosos de plantas en estado inicial está condicionado por una interacción de factores que varía según la especie de planta, las condiciones del bosque y de la región geográfica. Aspectos como la disponibilidad de luz, la competencia por recursos,

la composición del suelo, la humedad, temperatura, la topografía, las interacciones bióticas, los disturbios naturales y la presencia de especies invasoras (Blanco, 2019). Entre los factores que inciden en el crecimiento están:

- **Humedad**

La humedad y sequía está relacionada con la distribución natural de todas las plantas leñosas, estas han desarrollado mecanismos adaptativos al déficit hídrico que incluyen cambios morfológicos fisiológicos y bioquímicos, como cambios en la tasa de crecimiento, defensas antioxidantes entre otros (Kozlowski y Pallardy, 2002)

- **Temperatura**

El crecimiento inicial está sometido a diferentes factores uno de ellos es la temperatura que provocan cambios en sus patrones de expresión genética. Esta plasticidad permite adaptarse a las condiciones ambientales morfológicos. El objetivo del Centro Nacional de Biotecnología junto con la colaboración de la Universidad Monash (Australia) demuestran que la interacción genética regula el ciclo de división celular, alterando el tamaño de la célula y así alterando el crecimiento de las plantas en zonas de alta temperatura. La duplicación genética es un mecanismo evolutivo que incrementa la diversidad (Mendez et al., 2019).

Este factor influye sobre las enzimas que ajustan la velocidad de las reacciones bioquímicas que suceden en la semilla después de la absorción de agua. La acción de cada enzima tiene un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un intermedio, las semillas sólo germinan cuanto tienen la temperatura ideal, por lo que, si la temperatura es muy alta o muy deficiente, la germinación no se da, a pesar de que las demás condiciones sean favorables (Cerqueda, 2010).

- **Luminosidad.**

La cantidad de luz tiene una influencia considerable en los rasgos de calidad de las plantas, y entender como está relacionada con su crecimiento y desarrollo es fundamental para valorar la idoneidad de especies arbóreas en iniciativas de revegetación. Este elemento es esencial entre los factores determinantes que influyen en las propiedades de crecimiento y calidad de las plantas (Scalon et al., 2006). Bajo condiciones de sombra, las plantas tienden a experimentar un aumento en altura como respuesta morfogénica, que se atribuye a un mayor alargamiento celular inducido por la escasa luminosidad, lo que constituye un mecanismo importante de adaptación.

Además, el efecto de sombra sobre el crecimiento de las plantas actúa sobre el balance hídrico, se ha confirmado que la respiración total de la plantación es mayor en presencia de árboles de sombra, por lo que la sombra disminuye la evaporación del agua del suelo, por el motivo de la intercepción de la luz solar y a la presencia de mantillo que protege el suelo. La sombra provoca cambios en la morfología foliar, por ejemplo, el aumento del área individual de las hojas, disminución del espesor de las hojas, menor número de estomas por cm<sup>2</sup>, la relación parte aérea/raíz puede aumentar, la reducción en el área basal de las plantas y, por último, la rapidez a la que las hojas se renuevan tiende a ser menor en comparación con una plantación a pleno sol (Villarreyna, 2016).

#### ***4.3.4. Metodología para el estudio de las condiciones biofísicas en ambientes boscosos***

##### **4.3.4.1. Cobertura vegetal y suelo.**

La cobertura vegetal se define como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo características fisonómicas y ambientales, así como una amplia gama de biomásas que van desde bosques naturales hasta áreas antrópicas como los pastizales. También se agregan las coberturas vegetales que son ocasionadas por el resultado de la acción humana como las áreas de cultivo (Bennett, 1999). La cobertura vegetal tiene distintos beneficios como la minimización de la erosión del suelo, mejora la suficiencia del suelo de infiltración del agua, además, posibilitan el asentamiento de insectos polinizadores que desarrollan la productividad en un cultivo o bosque, proporcionan abono orgánico natural que se incorpora al suelo y mejora las características físico-químicas, permite la fijación del nitrógeno atmosférico, por último mejoran la diversidad de un bosque y reducen la infestación de plagas al desarrollar el sistema ecológico (Rocalba, 2022).

Por otro lado, el suelo tiene un proceso de miles de años para formarse y en poco tiempo se puede degradar a causa de factores como la agricultura intensiva, así como el uso inapropiado de prácticas de riesgo causantes de la erosión (Konijnenburg y Matarrese, 2006).

##### **4.3.4.2. Composición florística.**

La composición florística de un bosque se caracteriza por su naturaleza predominante casual, compuesta por una combinación de sobrevivientes, plántulas germinadas y especies inmigrantes, especialmente las pioneras agresivas con altos requerimiento de luz (Lamprécht, 1990). Esta descripción se basa en el recuento de familias, géneros y especies durante el inventario forestal, centrándose en aspectos como la diversidad, la riqueza de especies y la similitud con otros bosques (Louman et al., 2001)

Los estudios de vegetación desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones, manejo y conservación de los ecosistemas. Proporcionan información crucial para comprender la dinámica de la comunidad vegetal (Louman et al., 2001).

Para su determinación se utilizan parcela o transectos rectangulares o cuadradas con áreas amplias de tal modo que puede cubrir y apreciar con facilidad la zona que se desea analizar, es importante recalcar que se deben hacer repeticiones ya que existe la posibilidad que en 500 m se produzcan cambios de tipo de bosque, además el efecto borde puede arrojar datos erróneos. “La dimensión de las subparcelas puede ser fijada, según los requerimientos, p.ej. en 10 x 20, 20 x 25, 40 x 25 m, etc.” (Lamprécht, 1990, p. 45).

#### **4.3.4.3.Estructura florística.**

Para su estudio se evalúa la estructura florística, vertical y horizontal y determinar la densidad de individuos dentro de la zona boscosa proporciona información crucial sobre la naturaleza y la salud de la masa forestal. Este análisis se fundamenta en la comprensión de la diversidad biológica, la composición de especies y la distribución espacial de las mismas, así como en su abundancia en los difusos estratos altitudinales que conforman las comunidades vegetales. Con los datos de muestreo se obtienen parámetros estructurales: densidad, abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia (IVI) e índices de diversidad que posibilitan medir la diversidad y estado de conservación de un área (Aguirre, 2002).

#### **4.3.4.4.Hojarasca.**

Los árboles proporcionan un beneficio importante mediante la contribución de hojarasca, que al depositarse en el suelo forma el mantillo. Este mantillo juega un papel crucial al prevenir cambios bruscos en la temperatura y la humedad del suelo (Wang et al., 2008). Además, la hojarasca actúa como una vía primaria de transferencia de materia orgánica al suelo, ya que al descomponerse libera nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Chakravarty et al., 2020). Estos nutrientes constituyen una parte significativa, entre el 70% y el 90%, del total de nutrientes requerido por las plantas.

El estudio de hojarasca se centra en investigaciones sobre combustibles forestales y biomasa. Para su estudio generalmente se utiliza cuadrantes o parcelas de tamaños variados que van desde 50 cm o 1 m. Generalmente se suele pesar su peso en húmedo y se lleva a laboratorio para determinar su peso en seco (Díaz et al., 2012).

#### **4.3.4.5. Estudio de propiedades del suelo.**

El suelo, elemento de los bosques relictos, se estudia en función de sus propiedades químicas y físicas, que están estrechamente vinculadas con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes esenciales para las plantas. Entre las propiedades químicas, destacan el pH, la cantidad de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, mientras que entre las físicas se encuentran la textura y color del suelo. Estas características físicas del suelo influyen en su capacidad para almacenar y suministrar agua a las plantas, facilitando así el desarrollo de sus sistemas radiculares (Bautista et al., 2004). Para el estudio de las propiedades del suelo se utilizan una serie de pruebas de laboratorio y terreno.

Entre las principales propiedades del suelo que se estudian en investigaciones de suelo se tienen:

- **pH**

La medición de pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad, además, ofrece una guía para comprender ciertas cualidades del suelo, especialmente en lo que respecta a su capacidad para utilizar y disolver nutrientes, así como para comprender su funcionamiento general (Pineda et al., 2020). Existen diversas formas de medir el pH, la más conocida la prueba de tornasol que es un tinte vegetal que cambia de color. Las medidas y pruebas de pH que consta de un sistema de electrodos consistente en un electrodo de vidrio, esta contiene una solución ácida que al momento de sumergirse produce una fuerza eléctrica entre el ácido y el agua, además, existen equipos como los colorímetros analíticos que se basa en un indicador de tinta que cambia de color (Moreno, 2013).

- **Materia orgánica**

La materia orgánica surge como resultado de la descomposición de materiales vegetales y animales en descomposición, constituyendo un reservorio significativo de agua y minerales. Su presencia en el suelo es fundamental, ya que, junto con los microorganismos, facilita la liberación y el aporte de nutrientes, así como la unión de las partículas minerales entre sí. Estas interacciones crean un entorno propicio para que las plantas puedan realizar procesos vitales como la respiración, la absorción de agua y nutrientes, y el desarrollo de sus sistemas radiculares (FAO, 2019). Para la determinación de MO se utilizan diversos métodos, uno de ellos es la oxidación húmeda postulado por Walkley y Black en 1934, por otro lado, está el método de la determinación de MO por calcinación el cual fue propuesto por Schulte y Hopkins en 1996.

- **Capacidad de Intercambio Catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se refiere a la carga eléctrica negativa de las arcillas y la materia orgánica presentes en el suelo, la cual puede ser constante o estar sujeta a cambios según el pH, dependiendo del tipo de arcilla (López et al., 2019). Su relevancia radica en que permite determinar el porcentaje de saturación de bases o la cantidad relativa de bases en el suelo, lo que a su vez influye en su fertilidad. Se expresa en miliequivalentes por cada 100 grs de suelo seco y se representa como meq/100grs. Existen distintos métodos para calcular CIC uno de ellos la por saturación de Acetato de Amonio 1N a pH 7.0 consiste en la agitación del suelo con la solución de acetato de amonio, filtrado, para posteriormente ser calculado mediante una fórmula determinada por el autor (Sumner y Miller, 1996).

- **Textura**

La textura del suelo refleja la proporción de partículas de arena, limo y arcilla presentes en él. Esta característica del suelo también ejerce influencia sobre otras propiedades, como la densidad aparente y la porosidad, las cuales a su vez afectan el movimiento y la retención de fluidos, como el agua y el aire, dentro del suelo (Lacasta et al., 2005). Para calcular el método más conocido es el método de Bouyoucos, en el cual se toman 50 gr de muestra en un vaso de plástico junto con agua destilada, hidróxido de sodio 1N y oxalato de sodio. Tras 30 minutos de reposo se agita la muestra, para luego trasvasar la suspensión a una probeta donde se completará hasta 1000 ml con agua destilada, se medirá con un hidrómetro, registrando la lectura tras 40 segundos y la temperatura. Tras 2 horas se realiza la segunda y última lectura. (Alvarado., et al 2000).

- **Color y horizontes del suelo**

En el ámbito de la ciencia del suelo, el color es una de las características intrínsecas más destacadas y frecuentemente observadas. Su evaluación se considera esencial tanto en la descripción morfológica del suelo como en la identificación de sus componentes químicos, físicos y mineralógicos (Han et al., 2016). Además, el color es un atributo de diagnóstico necesario para la clasificación del suelo en ciertos sistemas taxonómicos. El método más utilizado para determinar el color del suelo es mediante el uso de tablas de color escala de Munsell (1975), este método se puede aplicar en laboratorio, como directamente en campo

Por otro lado, después de un largo periodo de tiempo, el suelo tiende a desarrollar distintas capas horizontales llamadas horizontes del suelo. El número y tipo de estos horizontes,

así como su espesor, están influenciados por varios factores, entre ellos el tiempo y procesos fundamentales como turbaciones de los componentes minerales y orgánicos del suelo. Los horizontes se designan con las letras O, A, B, C y R, en un orden que indica desde el horizonte más superficial, donde se acumula la materia orgánica, hasta el más profundo, donde se encuentra la roca madre (Gardi et al., 2014). La calicata es el único medio que permite ver y examinar un perfil de suelo en su estado natural, es importante que debe examinarse nada más acabe de excavar (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009, p.21).

## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

La investigación se realizó en la parte alta del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, específicamente en un bosque andino relicto. Este parque pertenece a la Universidad Nacional de Loja, ubicado en el cantón y ciudad Loja, parroquia San Sebastián. Geográficamente se ubica en las coordenadas: 79° 11' 07" y 79° 12' 03" O; 04° 01' 37" y 04° 02' 02" S (Aguirre y Yaguana, 2014) (Figura 1).

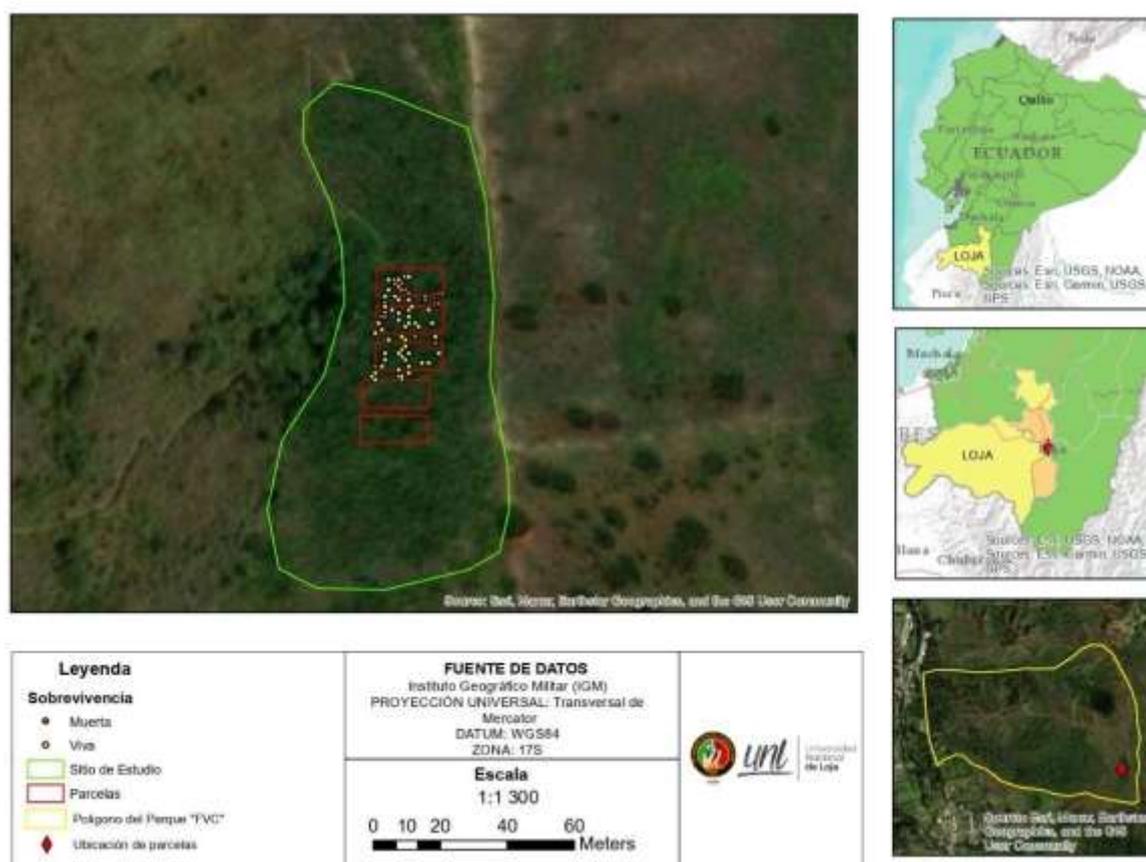


Figura 1. Ubicación geográfica del PUFVC y del bosque andino relicto.

Esta área es considerada un remanente de bosque andino dentro de la ciudad, esta es el hábitat de aves, mamíferos, plantaciones de especies exóticas, y especies forestales de alto valor como el nogal, matorral y páramo antrópico. El PUFVC posee un área de 96 ha, está comprendido dentro del rango altitudinal que va desde 2 130 hasta los 2 520 m s.n.m. La topografía del terreno es accidentada, presenta pendientes que fluctúan entre 40-90 %. Presenta una temperatura media anual de 16,6° C, una humedad relativa media de 71,96 %, el tipo de clima que posee es templado lluvioso (Aguirre, 2001).

### 5.1.1. Descripción del bloque plantado con *Cinchona officinalis* L.

En abril del año 2022, se estableció en un relicto boscoso del PUFVC un bloque conformado por 75 plantas de *Cinchona officinalis* L. El distanciamiento de las plantas fue de manera sistemática con un diseño de marco real, a una distancia entre planta cada 2 metros. A cada planta se asignó un código único y fueron medidas las variables; diámetro basal, altura total y la variable morfológica; estado fitosanitario, constituyendo así la línea base del estudio (Figura 2). En promedio, las plantas de *C. officinalis* presentaron una altura de 29,92 cm, diámetro basal de 0,35 cm, y un estado fitosanitario donde la mayoría de individuos poseen la zona terminal curva o su fuste retorcido.

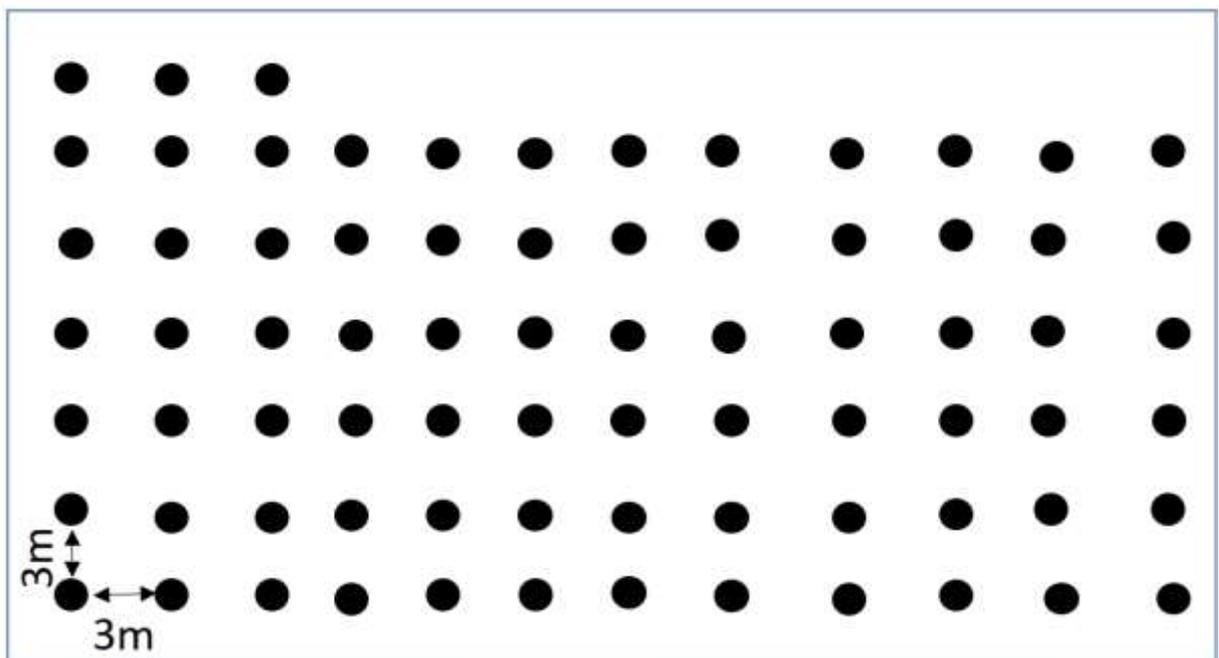


Figura 2. Diseño del bloque de *Cinchona officinalis* L., establecido en el relicto del PUFVC.

## 5.2. Metodología para caracterizar el estado actual de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas

### 5.2.1. Medición de variables en plantas de *Cinchona officinalis* L.

Cada planta de *C. officinalis* fue identificada en campo y colocada una etiqueta con un código único para facilitar su identificación y posterior monitoreo. En cada planta se midieron las variables altura, diámetro a la altura de la base y estado fitosanitario tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables medidas a cada planta de *Cinchona officinalis* L.

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Forma de medición</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Altura de la planta	Distancia entre la base de una plántula y la parte más alta del mismo (Lamprécht, 1990).	Línea recta, desde el cuello de la planta hasta el ápice de la planta, en centímetros.	Flexómetro
Diámetro a la altura de la base	Se refiere al diámetro medido a la altura de la base de la plántula, proporciona datos sobre el crecimiento secundario, es decir crecimiento en grosor (Reyes, 2022).	A partir de un centímetro del suelo, se midió el diámetro a la base, en milímetros (Reyes, 2022).	Calibrador o pie de rey Vernier metálico
Estado fitosanitario	Se refiere a la sanidad o salud de la planta (Murillo, y Camacho, (1997).)	Mediante observación directa se determinó el estado de las hojas, tallo y ápices para corroborar síntomas causados por plaga o enfermedad.	Categorías de medición (Murillo, y Camacho, (1997).) 1: Sano 2: Aceptablemente sano 3: Enfermo
Número de hojas	El número de hojas es una variable que indica el nivel de actividad fotosintética de la planta, a su vez desarrollo de la misma	Se realizó un conteo del número de hojas existentes a los después de la siembra (Arora, 2012)	-

Adicionalmente, para el estado fitosanitario, se determinó la presencia de enfermedades o plagas. Con la ayuda de una podadora de mano, se recolectaron tres muestras de material vegetal sin aplicar ningún tratamiento previo contra enfermedades o plagas, que fueron trasladadas en fundas plásticas al Laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad Nacional de Loja. Las presencias de plagas fueron observadas con la ayuda de microscopio y en cuanto a las enfermedades, se cortaron pequeños trozos de tejido de la zona de transición entre la planta sana y la afectada de la muestra, los cuales fueron sometieron a un proceso de desinfección utilizando varias soluciones estériles: agua destilada durante cuatro minutos, hipoclorito de sodio al 2%, agua destilada durante dos minutos, alcohol al 70%, y nuevamente agua destilada durante dos minutos. Finalmente, las muestras se secaron y se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), que luego se incubaron a 25°C durante cinco días. Pasado este período, se procedió al montaje de las estructuras formadas y a la identificación del hongo presente (Figura 3).

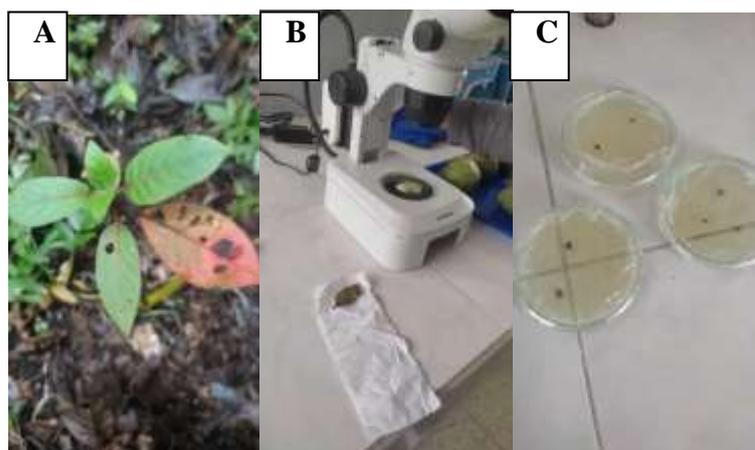


Figura 3. Evaluación de la presencia de plagas y enfermedades en plantas de *C. officinalis*: A) Toma de muestras con síntomas de enfermedades y plagas; B) Análisis directo de la hoja de *Cinchona officinalis* L.; C) Fragmentos de tejido foliar en medio de cultivo (PDA).

Para el registro de la información en campo se utilizó la hoja de campo que se presenta en el Anexo 1.

### 5.2.2. Caracterización de condiciones biofísicas

Se evaluó la cobertura vegetal del relicto boscoso donde está establecido por lo que se aplicó la metodología de Aguirre (2013), que se detalla a continuación.

- **Tamaño y número de transectos**

Se instalaron transectos temporales de 20 m x 10 m (200 m<sup>2</sup>), distribuidas de manera sistemática tratando de cubrir el área del bloque de *C. officinalis* y el relicto boscoso. Para abarcar un área mínima de muestreo y que sea representativa del área se consideró el mínimo ecológico de cinco parcelas (Aguirre, 2013).

- **Establecimiento de transectos**

Las parcelas temporales se delimitaron con brújula, GPS, flexómetros (Aguirre, 2013). Dentro de cada transecto se instaló tres subparcelas de 5 m x 5 m (25 m<sup>2</sup>) en dos esquinas y en el centro de la parcela en sentido diagonal y tres subparcelas de 1 m x 1 m (1 m<sup>2</sup>) a distancias iguales en dirección diagonal dentro del transecto. El diseño se llevó a cabo de acuerdo con el siguiente esquema de la (Figura 4).

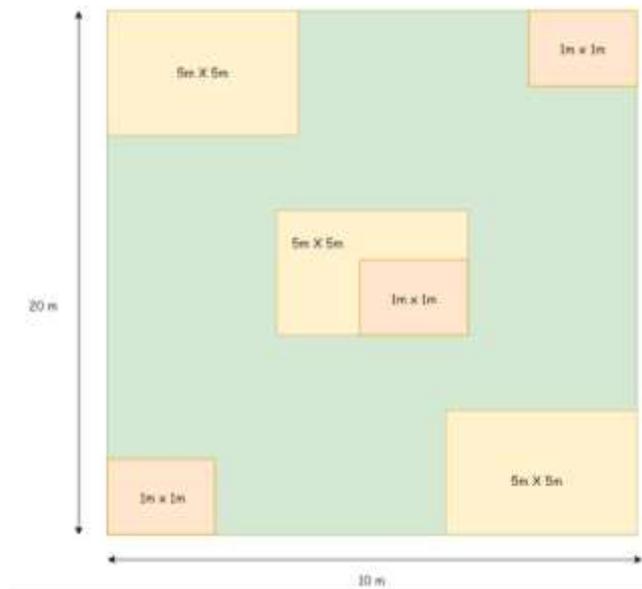


Figura 4. Distribución de transectos.

- **Medición de variables de la vegetación**

Para la recolección de datos se comenzó con las subparcelas de 1 m x 1 m (1 m<sup>2</sup>) para evitar dañar la integridad de los individuos que en este caso fueron las hierbas, luego se levantó la información de las subparcelas de 5 m x 5 m (25 m<sup>2</sup>) destinadas al estrato arbustivo y finalmente, el inventario de todos los individuos  $\geq$  a 5 cm de DAP en los transectos de 20 x 10 m. Fue importante la recolección de muestras botánicas fértiles, para posteriormente ser identificadas en el herbario “Reinaldo Espinoza” de la Universidad Nacional de Loja. . En los Anexos 2, 3 y 4 se presentan las hojas de campo que se utilizaron para recolectar los datos para cada transecto:

- **Cálculo de parámetros de la vegetación del bosque relicto**

#### **Composición florística**

Se inventario las especies de acuerdo a su familia y su abundancia, por hábito de crecimiento

- **Diversidad florística**

La diversidad del bosque relicto se lo determino a través de la riqueza de especies, familias y géneros, además, se calculó la diversidad relativa por su género y familia y por último el índice de Shannon y Pielow se aplicaron las fórmulas propuestas por especie (Aguirre y Aguirre, 1999) que se muestran en la (Tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de la diversidad florística para el bosque relicto.

Variable	Fórmula	Significado	Interpretación
Índice de Shannon-Weaver	$H = - \sum_{i=1}^s (Pi)(\log_n Pi)$	<p>H: Índice de Shannon-Weaver</p> <p>S: Número de especies</p> <p>Pi: Proporción de la muestra que corresponde a la especie i</p> <p><math>\log_n</math>: Logaritmo natural</p>	<p>0 - 1,35 Diversidad baja</p> <p>1,36 - 3,5 Diversidad media</p> <p><math>\geq</math> a 3,5 Diversidad alta</p>
Índice de Pielow	$J' = \frac{H'}{\ln S}$	<p>H: Índice de Shannon-Weaver</p> <p><math>\ln S</math>: Diversidad máxima, logaritmo natural de la riqueza específica</p>	

- **Parámetros estructurales horizontales de la vegetación**

Aguirre y Aguirre (1999), propone las siguientes fórmulas para calcular los parámetros estructurales horizontales de la vegetación presentados en la (Tabla 4).

Tabla 4. Fórmulas para calcular los parámetros estructurales del bosque relicto.

Parámetros estructurales	Fórmula	Significado fórmula
Densidad relativa	$(DR)\% = \frac{Nro.ind}{Nro.total\ ind} \times 100$	DR%= Densidad relativa en porcentaje Nro.ind= Número de individuos de una especie. Nro.total ind= Número total de individuos de todas las especies.
Densidad absoluta	$D\#ind/ha = \frac{Nro.ind}{A}$	D= Densidad Nro. ind= Número de individuos de una especie. A= Área muestreada
Frecuencia relativa	$(FR) = \left(\frac{Fa}{\sum fa}\right) \times 100$	FR= Frecuencia relativa en porcentaje Fa= Frecuencia absoluta o número de parcelas en las que inventaría las especies $\sum fa$ = Sumatoria de las frecuencias absolutas de todas las especies inventariadas
Índice valor de importancia (IVI)	$IVI = \left(\frac{DR + FR}{2}\right)$	IVI= Índice de valor de importancia simplificado DR= Densidad relativa de la especie

- **Variables a nivel de parcela**

Las variables a nivel de parcela que fueron medidas en campo fueron: grosor de hojarasca, cobertura de dosel y pendiente.

En el caso de la **hojarasca** su medición fue dentro de cada transecto de 20 x 10 m, en tres cuadrados de 50 x 50 cm distribuidas diagonalmente en cada transecto. Además, se midió el espesor de la capa de hojarasca, en cm, con una regla graduada (Aguirre, 2013). La calificación final de la hojarasca se obtuvo de los valores presentes en la Tabla 5.

Tabla 5. Hoja de campo para la evaluación del espesor de la capa de hojarasca bajo el bosque relicto.

Tipo de cobertura	Bosque relicto		
		Calificación	Interpretación
Rango	0 - 20	1	Malo
	21 – 50	2	Regular
	Mayor a 50	3	Buena

Para calcular el peso de la hojarasca dentro de cada transecto se colocó un marco de madera de 50 cm x 50 cm se colocaron en cada esquina de los transectos de manera diagonal y otra en el centro de este como se muestra en la figura 5, tomando así el peso fresco total (ps), peso fresco de la submuestra (psl) y el peso seco que se obtuvo en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional. Los datos se registraron en una hoja de campo (Anexo 5).

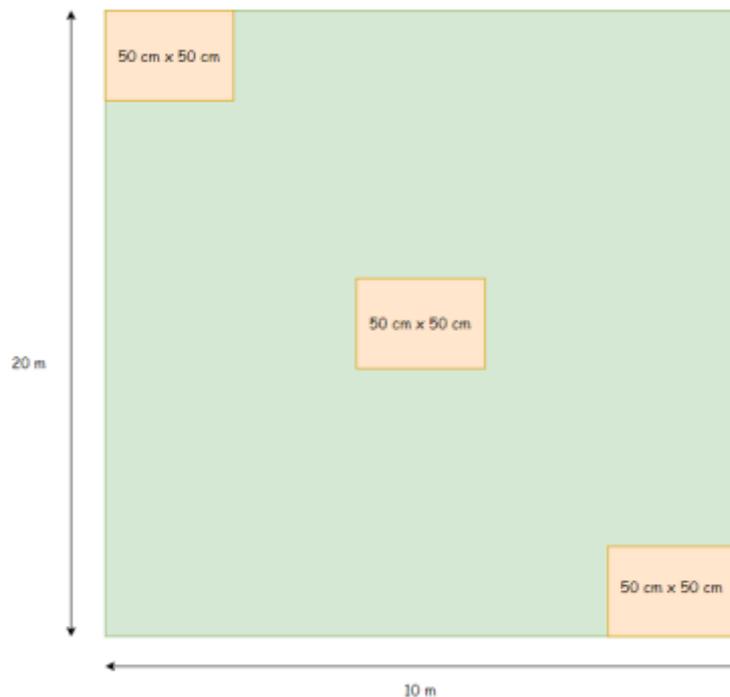


Figura 5. Diseño para la toma de muestra de hojarasca del bosque relicto.

- **Cobertura del dosel**

Para la cobertura del dosel se utilizó el instrumento densiómetro esférico de copa, se realizó cuatro mediciones de acuerdo a los puntos cardinales, este se encuentra constituido por un espejo cóncavo, el instrumento es subdividido por una malla que contiene 24 cuadros, con 96 subcuadrículas imaginarias, que representan el 100% de la medición, por lo tanto se aplica un factor o constante 1,04 a la media de los resultados para eliminar el error cuadrático

obteniendo así el porcentaje de cobertura (Aparecida et al., 2017; Lemmon, 1957). Además, para la medición de la pendiente se utilizó el equipo brújula (Aguirre, 2013).



Figura 6. Medición de cobertura del dosel.

- **Caracterización del suelo**

Es importante considerar la pendiente del sitio de estudio para llevar a cabo el muestreo. En áreas con pendientes superiores al 5%, se sugiere dividir la parcela en sectores alto, medio y bajo. En el área de estudio se tomó en cuenta las características particulares de las pendientes presentes (Mendoza y Espinoza, 2017).

En el presente estudio se utilizó el muestreo en zigzag para los tres sectores alto, medio, bajo. Se tomaron 3 muestras disturbadas con ayuda de un barreno, en cada punto de muestreo se tomaron 5 submuestras a una profundidad de 25 cm, estas muestras fueron depositadas en fundas plásticas y se homogeneizaron, luego se realiza el proceso de cuarteo hasta recolectar 2 kg y el etiqueto, Por consiguiente, se secó de manera natural las muestras y se procedió a tamizar para el posterior análisis de los parámetros físicos y químicos en laboratorio (Agrocalidad 2018).

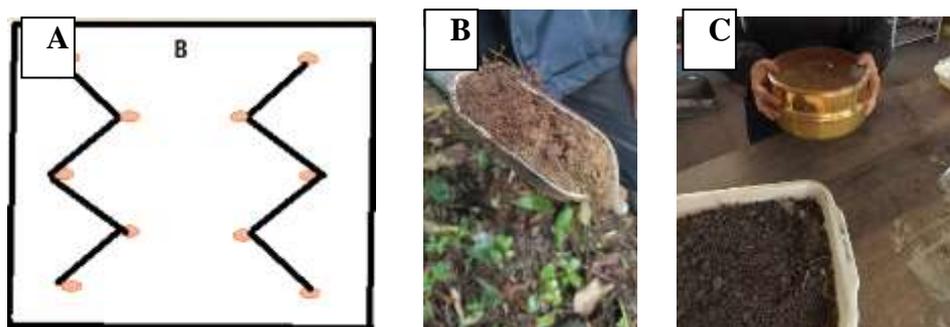


Figura 7. Obtención de muestras para la caracterización del suelo: A) Muestreo de suelo en zigzag; B) Extracción de muestras con barreno; C) Tamizado de muestras.

- **Cálculo de propiedades del suelo en laboratorio**

Para el cálculo de las propiedades físicas y químicas se recolectaron muestras de suelo disturbadas de los tres sectores del bosque relicto con diferentes pendientes: alto, medio y bajo. Estas muestras fueron trabajadas en el Laboratorio de Suelos, aguas y Bromatología (LASAB) de la Universidad Nacional de Loja.

Tabla 6. Métodos para la determinación de las propiedades físicas y químicas.

Indicadores	Parámetros	Método	Unidad
<b>Físicos</b>	Textura	Bouyoucus	----
	Color <sup>a</sup>		----
<b>Químicos</b>	Ph <sup>a</sup>	Electrométrico	----
		PEE/SFA/06 EPA 9045D	
	Capacidad de intercambio catiónico	Formaldehido	Meq/100g
	Materia orgánica	Volumétrico	%
		PEE/SFA/09	

<sup>a</sup> Parámetros físicos y químicos analizados en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad de Loja.

Fuente: Elaboración de la autora

Por otro lado, para la apertura de las calicatas se utilizó la metodología de FAO (2013) la cual indica realizar calicatas de 1 x1 x1 m, cuya profundidad permite apreciar claramente el perfil del suelo, para su caracterización se consideró el número de horizontes presentes, la identificación de cada uno de ellos, la medición de su longitud, también, se examinó su consistencia, fragmentos de grava y dimensiones, la estructura del suelo, raíces y el límite del horizonte.

Tabla 7. Descripción de suelos.

Características físicas para las muestras y sus números de referencias				
Consistencia	Fragmentos de grava	Estructura del suelo	Raíces	Límite del horizonte
-Suelta	-Grava fina	-Laminar	-Numerosas	-Lineal
-Muy friable	-Grava media	-Primatica	-Poco	-Ondulado
-Friable	-Grava gruesa -	-Bloques angulares	numerosas	-Irregular
-Firme	Guijarro	-Bloques	-No hay	-Abrupto
-Muy firme	-Piedra	subangulares	raíces	-Claro
-Plástica		-Granular		-Gradual
-Ligeramente plástica				
-Muy plástica				

### 5.3. Metodología para Determinar la Supervivencia y Crecimiento de *Cinchona officinalis*

#### L. Plantado en un Bloque Bajo un Relicto Boscoso de la Hoya de Loja

Para evaluar la supervivencia y el crecimiento de las plantas de *C. officinalis* en el bloque plantado en el bosque relicto, se compararon las mediciones realizadas en la línea base (2022) con las obtenidas en la primera medición (2024). Se calcularon variables como la supervivencia, el crecimiento total en altura y diámetro basal, así como el porcentaje de incremento correspondiente. Las variables calculadas se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Fórmulas para calcular supervivencia, crecimiento total en altura y diámetro basal.

Variable	Definición	Fórmula	Significado
Supervivencia	Se refiere al porcentaje de plantas vivas en el periodo de evaluación. (Linares, 2005).	$S = \frac{Pv}{(pv + pm)} * 100$	dónde: S: Supervivencia % Pv: plantas vivas Pm: plantas muertas
Crecimiento total en altura	Medida que corresponde al crecimiento primario de una planta	$C_h = H_f - H_i$	dónde: C <sub>h</sub> = Crecimiento en altura H <sub>f</sub> = Altura final H <sub>i</sub> =Altura inicial
Crecimiento total en diámetro	Medida que corresponde al crecimiento secundario de una planta	$C_d = D_f - D_i$	dónde: C <sub>d</sub> = Crecimiento en altura H <sub>f</sub> = Altura final H <sub>i</sub> =Altura inicial
Incremento medio anual (IMA) para altura	Expresa la medida del crecimiento primario total a una cierta edad del árbol	$IMA = \frac{H_f - H_i}{t}$	dónde: IMA= Incremento medio anual. H <sub>f</sub> = Altura final H <sub>i</sub> =Altura inicial t= Edad a partir del tiempo cero.

Incremento medio anual (IMA) para diámetro Expresa la medida del crecimiento secundario total a una cierta edad del árbol

$$IMA = \frac{D_f - D_i}{t}$$

dónde:  
IMA= Incremento medio anual.  
H<sub>f</sub>= Altura final  
H<sub>i</sub>=Altura inicial  
t= Edad a partir del tiempo cero.

---

#### 5.4. Análisis de la información

Se utilizó el software ArcGIS para crear el mapa base que muestra la distribución geográfica de las parcelas, los individuos de *C. officinalis*, y el bosque relicto.

La información recolectada del inventario de las plantas de *C. officinalis* L. Se organizaron en hojas de cálculo del software Excel, donde se calcularon variables como; altura, diámetro basal y estado fitosanitario mediante fórmulas específicas. En el mismo programa se calcularon estadísticas descriptivas, incluyendo, error estándar, desviación estándar, coeficiente de variación y medias. Por lo que, se generaron gráficos de barras para visualizar la distribución de las variables.

Para el análisis del bosque relicto se evaluó la composición florística de los tres estratos, se aplicó las fórmulas de la guía de Aguirre y Aguirre (1999), donde se calculó la diversidad florística (índice de Shannon, Índice de Pielow) y parámetros estructurales (Densidad relativa, Densidad absoluta, Frecuencia relativa y el Índice de valor de importancia), posteriormente se generaron gráficos. En las variables a nivel de parcela se aplicó estadística descriptiva como el promedio y la desviación estándar. Todo esto se desarrolló en el software Excel.

El análisis químico y físico del suelo del bosque relicto después de recolectar las muestras y procesarlas en el laboratorio y en campo. Los resultados obtenidos fueron registrados y organizados en hojas de cálculo del programa Excel. Lo cual permitió estructurar los datos de manera clara y facilitar su análisis.

Al recolectar los datos de sobrevivencia, crecimiento e incremento en altura y diámetro se aplicaron las fórmulas de Linares (2005). Los cálculos se realizan en el programa Excel, donde se analizaron las características descriptivas como media, máximo, mínimo, mediana desviación estándar y coeficiente de variación.

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización del estado actual de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas

#### 6.1.1. Estado actual del bloque plantado con *Cinchona officinalis* L.

##### a) Altura de las plantas

El bloque plantado con *C. officinalis* al año 2024 presentó un total de 61 individuos, sin embargo, se encontraron individuos con el ápice muerto, que fueron excluidos, quedando un total de 57 individuos, equivalente al 93,4 %, es decir, plantas que no han sufrido ningún tipo de daño. En promedio las plantas presentaron una altura de  $39,98 \pm 1,62$  cm, con un mínimo de 18,9 cm y un máximo de 79,8 cm. En la Figura 8 se presenta la distribución de individuos en clases de altura donde la mayor cantidad estuvo en la clase de 30 – 40,1 cm, con el 16,4 % de individuos.

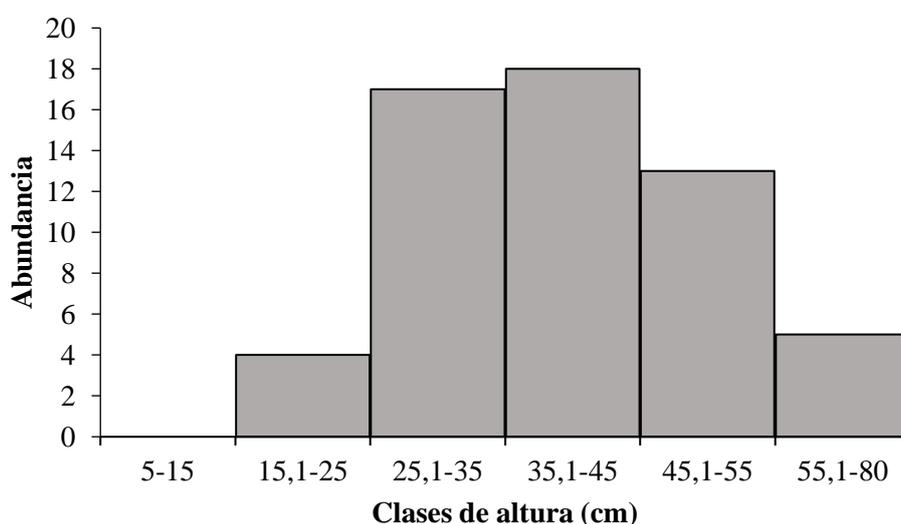


Figura 8. Altura de *Cinchona officinalis* agrupado por clases en altura (5 cm) en un bloque plantado en el PUFVC.

El 6,6 % restante correspondió a plantas con rebrotes, es decir individuos encontrados con el ápice muerto y que presentaron una altura menor con relación a sus medidas iniciales. En total fueron cuatro individuos, con una altura promedio de 12,7 cm. En la Figura 9, se presenta la altura de los cuatro individuos registrada en la medición inicial y monitoreo uno.

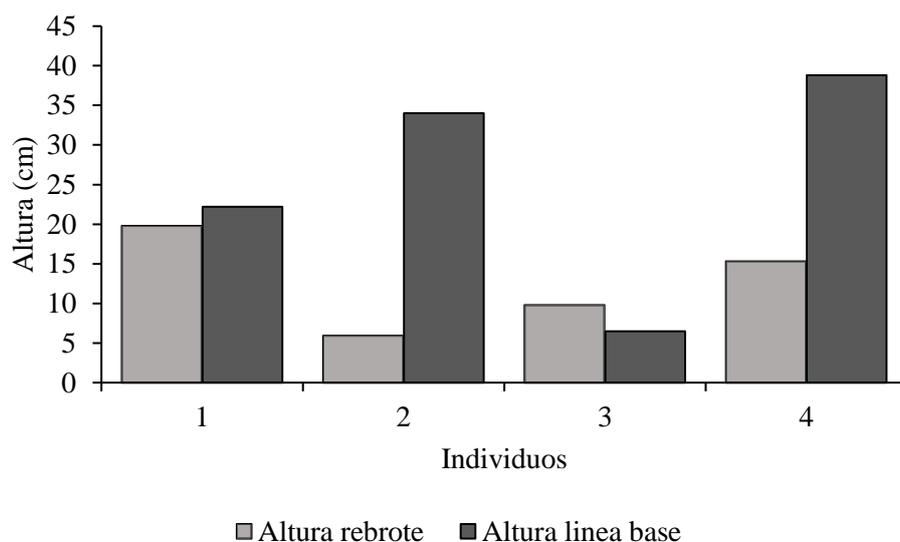


Figura 9. Altura de rebrote de 4 individuos de *Cinchona officinalis* en un bloque plantado en el PUFVC.

### b) Diámetro basal (DB)

El bloque plantado con *C. officinalis* presentó una media en cuanto a su diámetro basal de  $4,90 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ cm}$ , el valor mínimo fue de 2,7 mm y el máximo 8,1 mm. En la Figura 10 se presenta la distribución de los individuos en clases diamétricas, donde la mayor cantidad estuvo en la clase diamétrica de 4,1 – 5 mm con el 39,34 % de individuos.

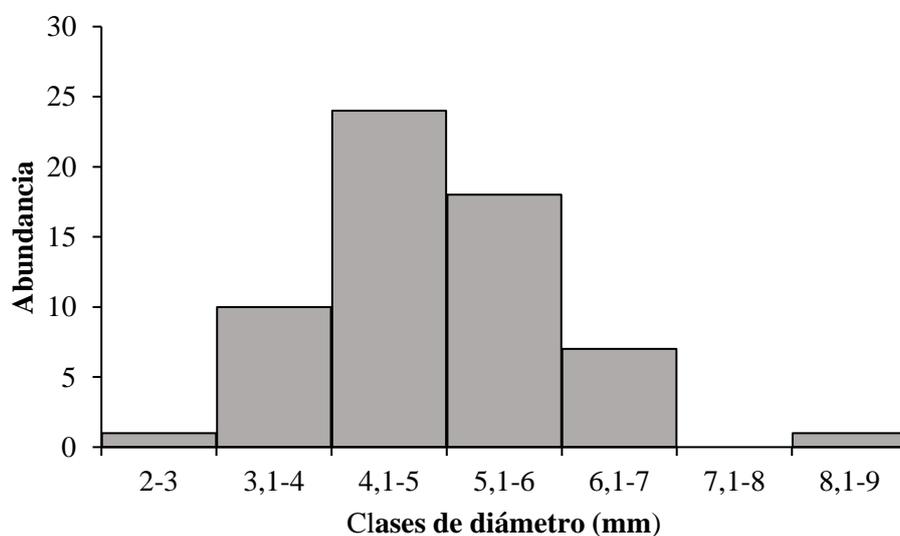


Figura 10. Diámetro basal de *Cinchona officinalis* agrupado por clases diamétricas (5 cm) en un bloque plantado en el PUFVC.

### c) Número de hojas

El número medio de hojas por individuo fue  $10 \pm 0,76$ , con un mínimo de cero hojas y un máximo de 27 hojas. Según se observa en la Figura 11, el 45,9 % de individuos presentó entre 6 a 10 hojas por planta.

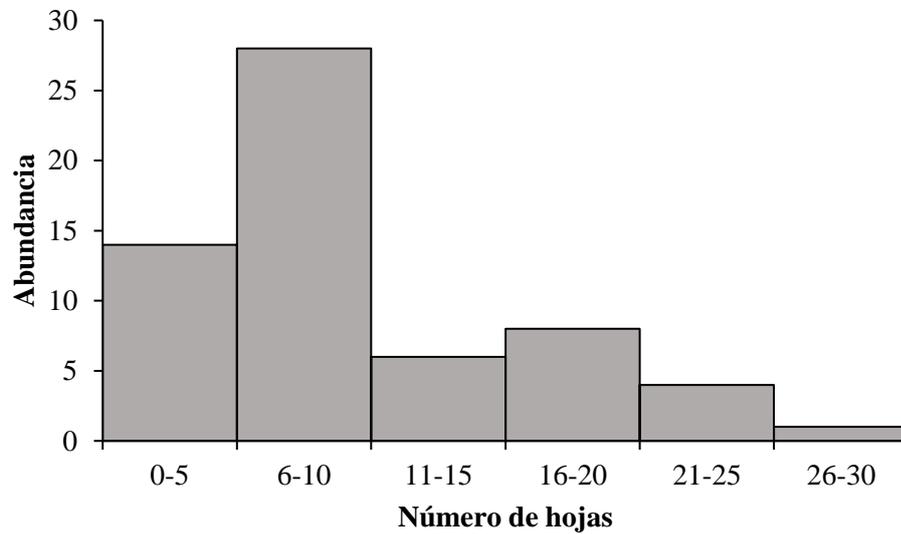


Figura 11. Número de hojas en individuos de *Cinchona officinalis* en un bloque plantado en el PUFVC.

### d) Número de brotes

El número medio de rebrotes por individuo fue  $0,5 \pm 0,12$ . El número mínimo de rebrotes fue cero y el máximo de tres. En la Figura 12, se observa que el 81,96 % de individuos presentó entre cero a un rebrote por planta.

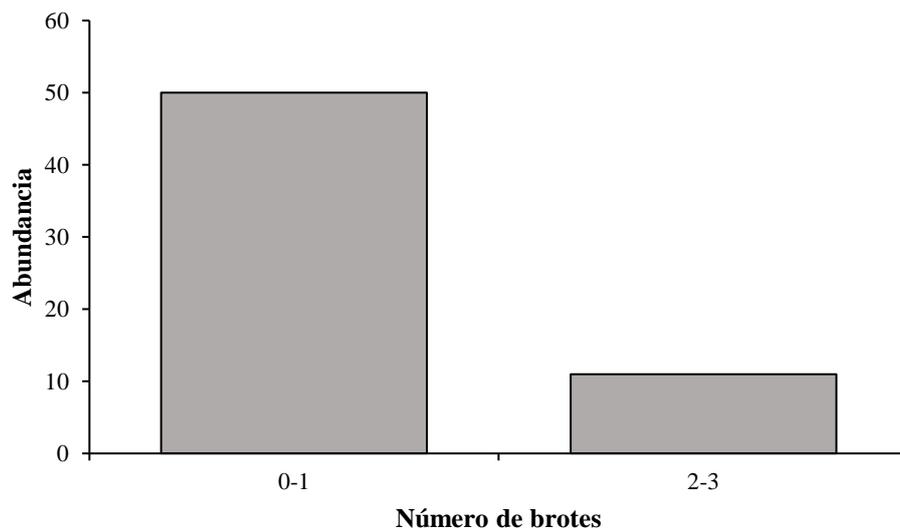


Figura 12. Número de brotes de *Cinchona officinalis* en un bloque plantado en el PUFVC.

### e) Estado fitosanitario

Los resultados del estado fitosanitario del bloque plantado con *C. officinalis* tuvo un total del 60% de individuos con la categoría “aceptablemente sanas”, es decir presentaron problemas fitosanitarios en no más del 50% del follaje de las plantas; además de, tallos torcidos, ápices vivos, y con el 70% de herbívora (Figura 13).

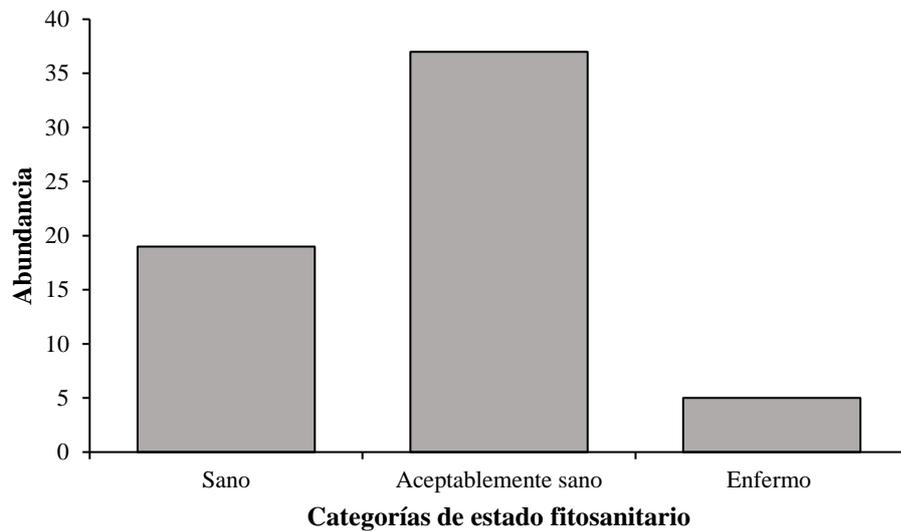


Figura 13. Estado fitosanitario de *Cinchona officinalis* agrupado por categorías en un bloque plantado en el PUFVC.

En las plantas de *C. officinalis* se registró la presencia de *Tetranychus urticae* (araña roja), considerada como una plaga común (Figura 14A). Por otra parte, se identificó el hongo *Cercospora* sp., el mismo que causa defoliación a las plantas (Figura 14B).

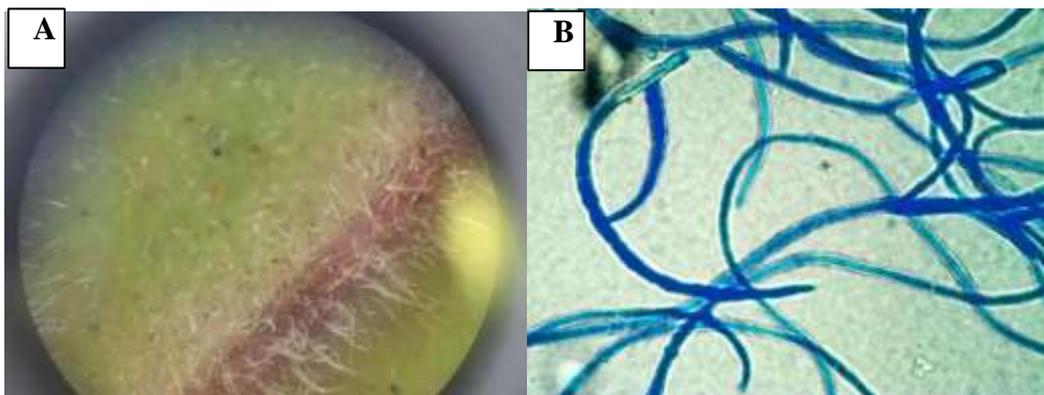


Figura 14. Plagas y enfermedades identificadas en el bloque plantado con *C. officinalis*: A) *Tetranychus urticae* (araña roja); B) Hongo *Cercospora* sp.

### 6.1.2. Características biofísicas del bosque relicto

#### a) Composición y diversidad florística

El bosque relicto presentó 38 especies dentro de 34 géneros y 31 familias, de las cuales 13 pertenecen al estrato arbóreo con 87 individuos, ocho al estrato arbustivo con 156 individuos y diez al estrato herbáceo (Tabla 9).

Tabla 9. Composición florística del estrato arbóreo y arbustivo del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.

Hábito	Especie	Familia	Número de individuos
Árbol	<i>Sciodaphyllum</i> sp	Araliaceae	29
	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Hypericaceae	19
	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Clethraceae	17
	<i>Clusia alata</i> Planch. & Triana	Clusiaceae	8
	<i>Tibouchina laxa</i> (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	3
	<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	Actinidiaceae	2
	<i>Solanum cutervanum</i> Zahlbr.	Solanaceae	2
	<i>Cyathea caracasana</i> (Klotzsch) Domin	Cyatheaceae	2
	<i>Delostoma</i> sp.	Bignoniaceae	1
	<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	Primulaceae	1
	<i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem.	Araliaceae	1
	<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp. (Benth.) Walp.	Rosaceae	1
	<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	1
Arbusto	<i>Piper asperilimum</i> C.DC.	Piperaceae	45
	<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H.Rob.	Asteraceae	22
	<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	Melastomataceae	20
	<i>Piper</i> sp.	Piperaceae	19
	<i>Palicourea reticulata</i> (Ruiz & Pav.) C.M.Taylor	Rubiaceae	14
	<i>Polybotria</i> sp.	Dryopteridaceae	9
	<i>Piper bogotense</i>	Piperaceae	8
	<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.)	Chloranthaceae	7
	<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.)	Melastomataceae	7
	<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex A.St.-Hil.)	Ericaceae	3
	<i>Piper ecuadorensis</i> Sodiro	Piperaceae	2

En el estrato herbáceo se registró una cobertura del 59,6 % (Tabla 10), siendo la especie *Zeugites americanus* y *Anturio* sp. la que presentaron los valores más altos 17,6 % y 10,2 %, respectivamente.

Tabla 10. Composición florística del estrato herbáceo del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.

Hábito	Especie	Familia	% de cobertura
Hierbas	<i>Zeugites americanus</i> Willd.	Poaceae	17,6
	<i>Anturio</i> sp.	Araceae	10,2
	<i>Aulonemia geniculata</i> P.L.Viana	Poaceae	7,2
	<i>Elaphoglossum glossophyllum</i> Hieron.	Dryopteridaceae	5,6
	<i>Peperomia leptophylla</i> Miq.	Piperaceae	5,6
	<i>Peperomia obtusifolia</i> (L.) A.Dietr.	Piperaceae	3,2
	Indeterminada	Indeterminada	2,8
	<i>Polypodium leucatomos</i> Poir.	Polypodiaceae	1,6
	<i>Colignonia scandens</i> Benth.	Nyctaginaceae	1,4
	<i>Thunbergia alata</i> Bojer ex Sims	Acanthaceae	1,4
	<i>Asplenium harpeodes</i> Kunze	Aspleniaceae	1,2
	<i>Viola arguta</i> Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult.	Violaceae	1
	<i>Piper bogotense</i> C.DC.	Piperaceae	0,6
	<i>Cestrum mariquitense</i> Kunth	Solanaceae	0,2

La diversidad general para el bosque relicto, que incluye árboles, arbustos y hierbas, fue de media de acuerdo al índice de Shannon. En cuanto al índice de Pielow que indica equitatividad de las especies se clasificó como homogéneo en abundancia lo cual indica una diversidad alta (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros de diversidad para los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del bosque relicto en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.

Parámetro	Árboles	Arbustos	Hierbas
Nro. Especies	13	11	12
Nro. Individuos / % de cobertura	87	156	20,33
Índice de Shannon	1,89	2,09	2,09
Índice de Pielow	0,73	0,87	0,84
Nro. Especies nativas	12	10	10
Nro. Especies endémicas	1	1	0
Nro. Especies introducidas	0	0	2

En cuanto al estatus de las especies, para el estrato arbustivo se encontró un endemismo del 7,69 % y para el estrato arbustivo 9,09 %. En el caso de las hierbas el 16,66 % fueron introducidas.

#### b) Parámetros estructurales

Los valores del índice de valor de importancia (IVI %) del estrato arbóreo, se presentan en la Figura 10, donde resaltan: *Sciodaphyllum sp.* con 28,59 %, *Vismia baccifera*, 22,44 % y *Clethra revoluta* con 20,01% como las de mayor importancia ecológica. En el anexo 3 se muestran todos los parámetros estructurales calculados para estas especies.

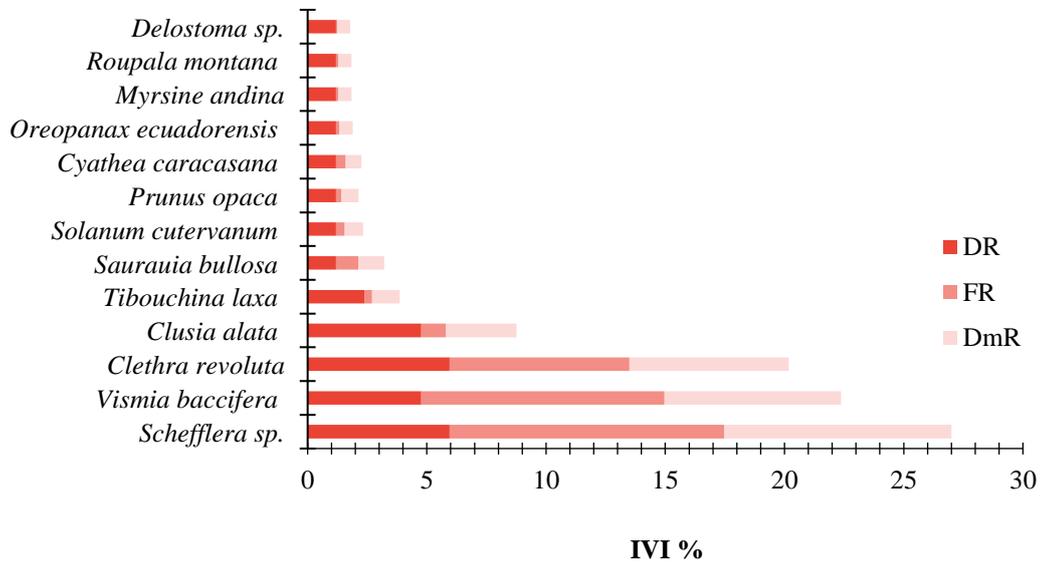


Figura 15. Valor de importancia ecológica de las especies arbóreas del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro.

Para el estrato arbustivo (Figura 16) las especies con el valor del IVI simplificado que sobresalen fueron; *Piper asperilimum* con 24,52%, *Critoniopsis Pycnantha* con 13,10 y *Miconia obscura* con 12,45%. En el Anexo 6, 7 y 8 se muestran todos los parámetros estructurales calculados para todas las especies.

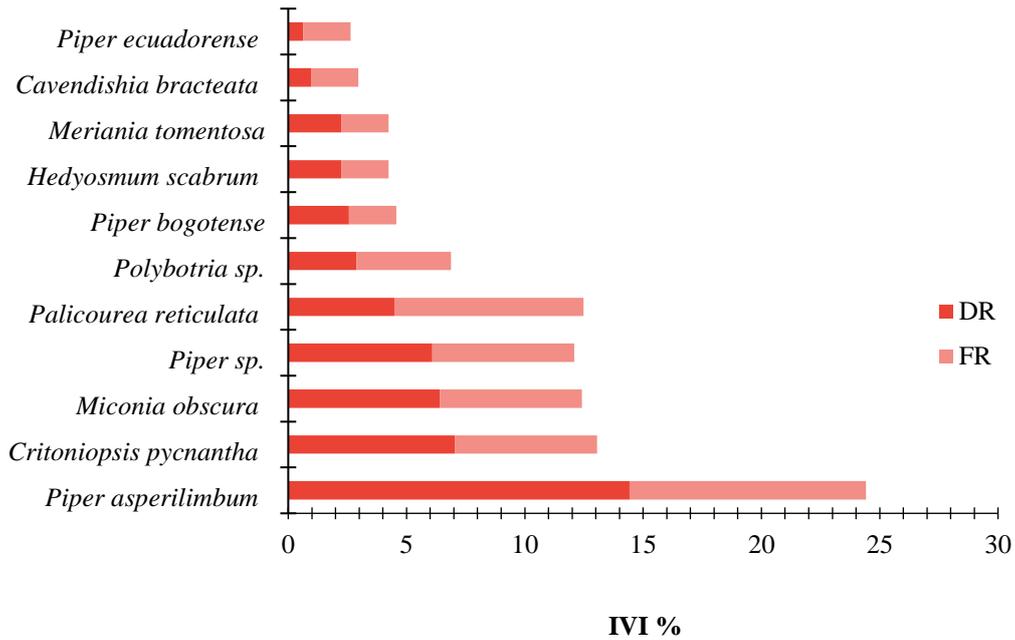


Figura 16. Valor de importancia ecológica de las especies arbustivas del bosque relicto ubicado en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”.

### c) Características físicas y químicas del suelo

Por la presencia de pendiente en el bosque relicto fue necesario su caracterización en tres partes que fueron: alta, media y baja. Los resultados generales mostraron para las propiedades químicas un pH ácido, el porcentaje de materia orgánica fue mayor en la parte media y alta, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) varió entre 16,7 y 44,1, meq/100g, reflejando diferencias en la capacidad del suelo para retener elementos esenciales en especial en la parte alta.

En cuanto a las propiedades físicas, el color en seco del suelo mostró tonos predominantes en amarillos y marrones, y la textura fue franco arenoso para las tres partes. En la Tabla 12 se presentan los valores obtenidos para cada una de las propiedades físicas y químicas del suelo del bosque relicto.

Tabla 12. Parámetros físico-químico del suelo en el bosque relicto.

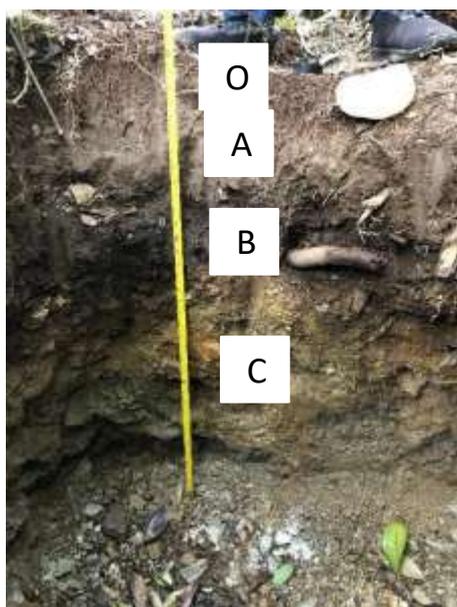
Propiedad	Parámetro	Parte alta	Parte media	Parte baja
Química	Ph	4,2	3,8	3,8
	Materia orgánica %	13,54	23,83	23,13
	Capacidad de intercambio catiónico Meq/100g	16,7	44,1	34,3
Física	Color en seco	10YR 4/2	7,5 YR 3/2	7,5YR 3/2
	Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso

#### d) Perfiles del suelo

El perfil del suelo del bosque relicto en la parte alta presenta cuatro horizontes. La capa orgánica (O) tiene un espesor de 7 cm. El horizonte A, de 30 cm, se caracteriza por su plasticidad y adhesividad, con fragmentos de grava medianos y estructura granular. El horizonte B, también de 30 cm, carece de plasticidad y presenta fragmentos de grava finos y medios, con estructura granular y presentó un límite ondulado. Finalmente, el horizonte C, de más de 60 cm, no presenta plasticidad, con fragmentos de grava finos y una estructura laminar, sin raíces.

Tabla 13. Perfil del suelo de la parte alta.

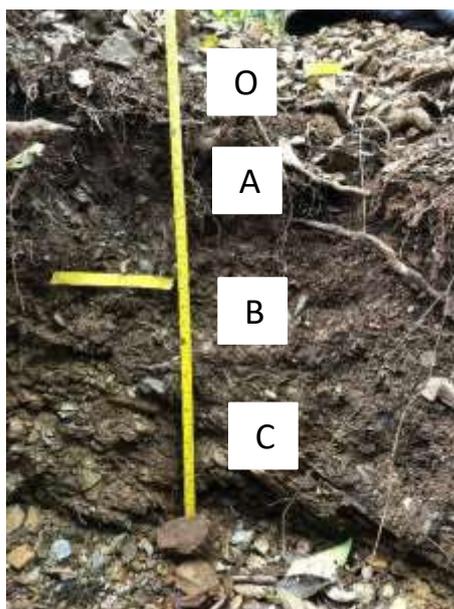
Espesor (cm)	Características Principales	Fragmentos de Grava	Estructura del Suelo	Raíces	Límite con siguiente Horizonte
7	Capa orgánica				
30	Plástico, adhesivo	Medios (10-20 mm)	Granular (fino y medio)	Comunes (muy finas, finas, medias)	Lineal, abrupto, < 2 cm
30	Sin plasticidad ni adhesividad	Fina, Media	Granular (fino y medio)	Comunes en muy finas, escasas en finas	Ondulado, abrupto
>60	Sin plasticidad ni adhesividad	Fina	Laminar (fino y medio)	No detectadas	-



El análisis del perfil del suelo en la parte media del bosque relicto se compone de cuatro horizontes, en principio la capa orgánica de 4 cm. El horizonte A, de 23 cm, presenta características plásticas y adhesivas, con fragmentos de grava fina y media, con estructura granular, con presencia de raíces finas. El horizonte B mide 28 cm, presenta ligera plasticidad y abundantes raíces finas. Finalmente, el horizonte C, de más de 51 cm, carece de plasticidad y adhesividad, con estructura granular y sin raíces detectadas.

Tabla 14. Perfil del suelo de la parte media.

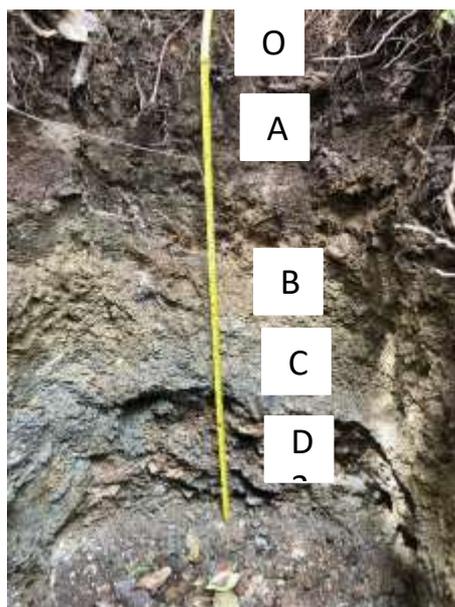
<b>Espesor (cm)</b>	<b>Características Principales</b>	<b>Fragmentos de Grava</b>	<b>Estructura del Suelo</b>	<b>Raíces</b>	<b>Límite con Siguiete Horizonte</b>
4	Capa orgánica				
23	Plástico, adhesivo	Fina, medios (10-20 mm)	Granular (muy fino y fino)	Abundantes en finas, comunes en medias	Lineal, abrupto, < 2 cm
28	Ligero plástico y adhesivo	Fina, Media y piedra	Granular (fino y medio)	Muy abundantes en finas, escasas en medias	Ondulado, abrupto
> 51	Sin plasticidad ni adhesividad	Fina, media y piedra	Granular (fino y medio)	No detectadas	-



El perfil del suelo en el bosque relicto incluye cinco horizontes. El horizonte O es una capa orgánica 2 cm, seguida por el horizonte A de 25 cm que es sin plasticidad, con fragmentos finos y estructura granular. El horizonte C de 30 cm muestra ligera plasticidad con fragmentos medios y gruesos. Finalmente, el horizonte D, de más de 90 cm, es sin plasticidad y carece de raíces

Tabla 15. Perfiles del suelo de la parte baja.

Espesor (cm)	Características Principales	Fragmentos de Grava	Estructura del Suelo	Raíces	Límite con Siguiete Horizonte
2	Capa orgánica				
25	Sin plasticidad ni adhesividad	Fina	Bloques subangulares, granular (muy fino, medio)	Abundantes en finas, comunes en medias y gruesas	Lineal, abrupto, < 2 cm
35	Sin plasticidad ni adhesividad	Fina, Media	Granular (muy fino)	Muy abundantes en muy finas	Lineal, abrupto, < 2 cm
30	Ligero plástico y adhesivo	Media, gruesa	Granular (fino y medio)	No detectadas	Lineal, abrupto, < 2 cm
> 90	Sin plasticidad ni adhesividad	Media, Gruesa	Granular (fino, medio)	No detectadas	-



#### e) Otras variables físicas

Dentro de otras variables físicas del bosque relicto se tuvo el grosor de la hojarasca, peso húmedo y seco de la hojarasca, pendiente y cobertura del dosel, cuyos valores se presentan en la Tabla 16. El grosor de la hojarasca en promedio fue de 8,42 cm con un mínimo por parcelas de 6,3 y máximo de 9,68 cm. En cuanto al peso en húmedo y seco en promedio este fue de 36,21 ton/ha y 3,31 ton/ha respectivamente; y, a nivel de parcela se evidenció una variabilidad en la distribución espacial de las misma con un mínimo de 20,4 ton/ha y un máximo de 51,47 ton/ha. La pendiente en promedio fue del 37,2 grado y una cobertura del dosel por encima de 1,30 cm del suelo de 86,37 %

Tabla 16. Variables físicas del bosque relicto.

<b>Variabes</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>N°</b>	<b>Prom</b>	<b>Desviación estándar</b>
Grosor de la hojarasca (cm)	8,29	9,68	6,3	9,08	8,75	15	8,42	1,98
Peso húmedo de la hojarasca (ton/ha)	48,13	51,47	20,4	27,2	33,87	15	36,21	13,34
Peso seco de la hojarasca (ton/ha)	3,39	3,23	2,96	3,33	3,61	10	3,31	0,21
Pendiente %	26	29	42	43	46	5	37,2	9,03
Cobertura de dosel %	86,58	85,28	86,58	83,72	89,7	5	86,37	2,20

## 6.2. Sobrevivencia y crecimiento de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso

### 6.2.1. Sobrevivencia

Las plantas de *C. officinalis* establecidas en bloque en el bosque relicto, después de dos años, presentaron una sobrevivencia del 84 %, es decir 61 plantas vivas. Al analizar esta sobrevivencia por clases de altura, la clase de mayor valor que fue  $\geq 55,1$  cm presentó la mayor sobrevivencia con el 100 %, mientras que, en el resto de categorías se registró mortalidad siendo mayor en la clase de 15,1 – 25 cm con ocho individuos muertos

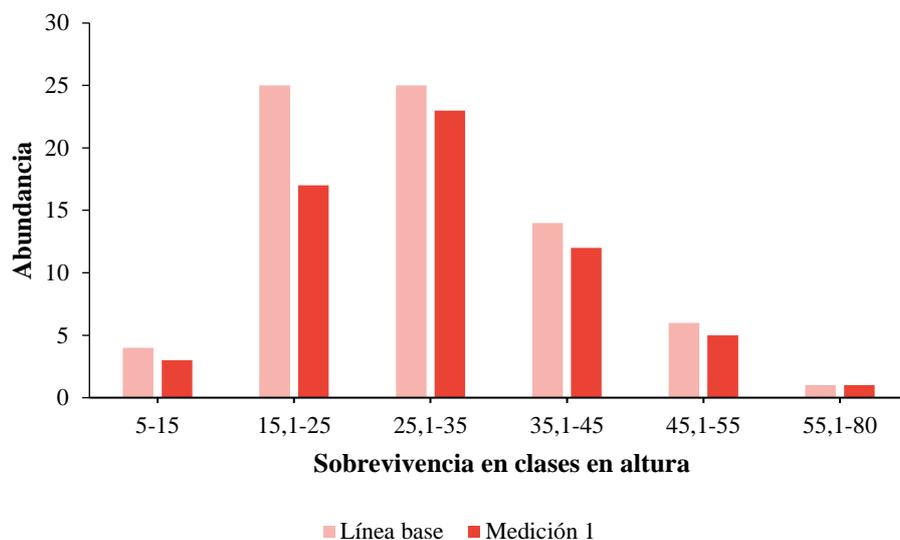


Figura 17. Sobrevivencia de la plantación en bloque de la especie *C. officinalis* por clases en altura de la línea base y la medición uno.

### 6.2.2. Crecimiento total en altura y diámetro a la altura de la base

El crecimiento total en altura y diámetro a la base de las plantas de las plantas de *C. officinalis* en el bloque plantado se presenta en la Tabla 17. En el caso de la altura, el 93 % de las plantas (57 de 61 plantas) crecieron en promedio 9,2 cm; y, para el diámetro a la altura de la base el 100 % de la planta (61) fue de 1,32 mm.

Tabla 17. Estadísticas descriptivas para el crecimiento en altura y diámetro basal de las plantas de *C. officinalis*.

<b>Estadístico</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>DAB (mm)</b>
Nro. Observaciones	57	61
Media	9,2	1,32
Máximo	36	4,1
Mínimo	0,10	0
Mediana	7,7	1,1
Desviación estándar	7,09	0,92
Coefficiente de variación	77,04	69,72

### 6.2.3. Incremento medio anual (IMA) para altura y diámetro basal

En cuanto al incremento medio anual (IMA) de las plantas de *C. officinalis* establecidas en el bosque relicto del PUFVC, en la Tabla 18 se presentan los valores del IMA para la altura y diámetro basal, con valores medios de 4,6 cm y 0,66 mm respectivamente.

Tabla 18. Incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro de la especie *C. officinalis*.

<b>Estadístico</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>DAB (mm)</b>
Nro. Observaciones	57	61
Media	4,6	0,66
Máximo	18	2,05
Mínimo	0,05	0
Mediana	3,85	0,55
Desviación estándar	3,55	0,46
Coefficiente de variación	77,04	69,72

## 7. Discusión

### 7.1. Caracterización del estado actual de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. en un relicto boscoso y sus condiciones biofísicas asociadas

#### 7.1.1. Estado actual del bloque plantado con *Cinchona officinalis* L.

##### a) Altura y diámetro basal de las plantas

El bloque plantado con *C. officinalis* en el PUFVC, después de dos años de establecido, presentó variaciones en las características evaluadas. Para la altura de las plantas, se observó un rango variable entre 5 y 80 cm. Estas diferencias podrían estar asociadas a factores fisiológicos, ecológicos y, principalmente, ambientales, los cuales son aspectos claves a considerar en proyectos de reforestación y recuperación de los bosques (Yam-Chin et al., 2014).

Investigaciones como la de Vaca et al. (2021) en bosques de Jaén, Perú, permiten comprender mejor la influencia del dosel en la altura de las plantas de *C. officinalis*. Este estudio sostiene que las plantas expuestas a luz solar directa experimentan un crecimiento rápido en las primeras etapas, aunque con el tiempo dicho crecimiento se desacelera. En contraste, las condiciones subóptimas de luz bajo el dosel afectan negativamente el crecimiento de las plantas, limitando su crecimiento. Estos resultados podrían explicar la variabilidad en la altura observada en el bloque con plantas de *C. officinalis* en el PUFVC, donde las condiciones de luz son irregulares debido a los claros del bosque ocasionados por factores naturales.

Con relación al diámetro basal de las plantas de *C. officinalis*, este varió entre 2 y 8,5 mm. En algunos casos, se observó una disminución en el diámetro, lo cual, según Vaca. et al (2021), podría estar relacionado con una mayor mortalidad en las plantas que presentan diámetros mayores. En el mismo estudio, se reporta que el crecimiento del diámetro en condiciones de luz solar directa y bajo dosel fue similar, con un rango entre 3,3 y 4,38 mm, lo que sugiere que las plantas pueden adaptarse a condiciones lumínicas subóptimas.

Por otro lado, Sun et al. (2008) destacan la importancia de la vegetación en la generación de microambientes, los cuales son fundamentales para el crecimiento de las plantas. Afirman que la composición y estructura de la vegetación está relacionada a características ambientales que influyen en la disponibilidad de agua y en los niveles de evapotranspiración. El estrato arbóreo, en particular, desempeña un papel clave al crear gradientes que ayudan a preservar la humedad y a regular la temperatura del bosque.

## **b) Estado fitosanitario**

El estado fitosanitario del bloque de *C. officinalis* indicó que la mayoría de individuos (37 plantas) se encontraban en la categoría de “aceptablemente sanos”. Esto sugiere que, si bien presentan problemas fitosanitarios, menos del 50% de su follaje está afectado, y no han desarrollado heridas severas (Murillo, y Camacho, (1997).)

Además, se observó que gran parte de los individuos presentaban torceduras en el tallo. Según Fernández et al. (2021), la altura de las plantas de *C. officinalis* al momento del trasplante incide directamente en la aparición de características morfológicas como las torceduras en el tallo. El estudio recomienda que la altura ideal para el trasplante es de 30 a 50 cm, con el fin de reducir la incidencia de deformidades.

En cuanto a plagas, se identificó la presencia de *Tetranychus urticae* (araña roja) en el bloque de *C. officinalis*. De acuerdo con Montoya et al. (2017), la araña roja se alimenta principalmente del contenido celular del mesófilo, lo que reduce significativamente la resistencia estomática, la tasa fotosintética y respiratoria, así como, de afectar el crecimiento y la floración de las plantas. Por otro lado, Nguanhom et al. (2015) señalan que especies del género *Cercospora* están vinculadas a infecciones que provocan manchas en hojas y frutos, siendo estas lesiones más pronunciadas en las zonas exteriores de las hojas.

## **c) Composición y diversidad florística del bosque relicto**

El bosque relicto del PUFVC, localizado en la parte alta del parque, está rodeado por páramo antrópico y matorral andino, y constituye un bosque aislado que no ha sido alterado significativamente. Presenta especies cruciales de los bosques montanos altos, con una mezcla de especies en diferentes estadios sucesiones, regeneración natural de árboles y, cumple con funciones como albergar biodiversidad, captura de carbono y producción de biomasa. Este bosque presenta una composición florística constituida por árboles, arbustos y hierbas, con un total de 38 especies, distribuidas en 13 arbóreas, ocho arbustivas y diez herbáceas. La diversidad alfa, estimada con el índice de Shannon-Wiener fue media; y, presentó una alta homogeneidad y equidad en la distribución de las especies, según la categorización propuesta por Aguirre (2013).

Las investigaciones sobre bosques relictos son escasas, estas han sido realizadas a grandes escalas y priorizan la fragmentación del paisaje y los cambios en las coberturas vegetales y usos del suelo (Tapia et al., 2015; Rodríguez et al., 2021).

Los resultados de la composición y diversidad del bosque relicto pueden ser comparables con otras investigaciones, por ejemplo, con bosques andino en buen estado de conservación (Aguirre et al., 2021; Aguirre et al., 2017; Cabrera, 2005) se evidencia mayor riqueza florística e índices de diversidad, sin considerar que estos estudios únicamente presentan riquezas de especies arbóreas y arbustivas. De igual manera, bajo plantaciones de pino se estudió la sucesión vegetal bajo plantaciones donde la riqueza fue menor a la encontrada en el bosque relicto, teniendo en común a la familia Piperaceae como la más representativa, como parte del estudio de especies herbáceas (Aguirre et al., 2021).

#### **d) Parámetros estructurales**

Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) en el bosque relicto son: *Sciodaphyllum sp.* (Araliaceae), *Vismia baccifera* (Hypericaceae) y *Clethra revoluta* (Clethraceae) en el estrato arbóreo; mientras que *Piper asperilimum* (Piperaceae), *Critoniopsis pycnantha* y *Miconia obscura* predominan en el estrato arbustivo. Estas especies difieren de las reportadas por Aguirre (2017) y Muñoz et al. (2021) para el bosque andino del PUFVC, donde *Alnus acuminata*, *Palicourea amethystina*, *N. laurel*, *P. opaca* tienen los IVI más altos. Sin embargo, ambos bosques comparten a *Clethra revoluta* como una de las especies arbóreas más relevantes.

#### **e) Características del suelo**

El bosque relicto presenta valores de pH que varían entre 4,2 en la parte alta y 3,8 en las partes media y baja. Según Zevallos (1989), el pH ideal para *C. officinalis* oscila entre 4,6 y 6,5, lo que sugiere que los valores observados en este estudio podrían limitar el crecimiento de las plantas debido a la baja disponibilidad de nutrientes como P, Ca, Mg, y Mn (Rivera et al., 2018).

El análisis de la materia orgánica del suelo (MOS) muestra valores 13,54 % en la parte alta, 23,83 % en la media y 23,13% en la baja. Estos resultados son comparables con el estudio de Aguirre et al. (2019), que reporta valores de MOS variables en diferentes tipos de vegetación, desde 6,68 % en matorral bajo hasta 13,86 % en matorral alto. La mayor acumulación de MOS en las zonas bajas sugiere que factores como la temperatura y precipitación favorecen la descomposición de la materia orgánica, como señalan Buytaert et al. (2006) y Tonneijck et al. (2006).

El pH también está vinculado a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual es más alta en suelos ácidos. Los valores de CIC en el presente estudio, entre 16,7 y 34,3 Meq/100g, indican una buena capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes esenciales para las

plantas (FAO, 2019). Esta capacidad está relacionada con el contenido de materia orgánica y arcilla, que aportan cargas negativas adicionales y mejoran la retención de cationes (Jiménez y González, 2006).

El color del suelo, un indicador clave de sus características, sugieren variaciones en el contenido de minerales como hierro y manganeso, así como la cantidad de materia orgánica (Jaramillo, 2002). Un estudio sobre el color del suelo utilizando la notación Munsell y CIELab muestra coloraciones entre 5YR Y 10YR, lo que indica empobrecimiento de Fe y Mn, así como un porcentaje bajo a medio de materia orgánica (Domínguez et al., 2018). Sin embargo, estos resultados difieren de los obtenidos en este estudio.

La textura del suelo del bosque relicto fue franco arenoso, lo que refleja el uso prolongado de los suelos y la falta de planes de conservación (Figuroa et al., 2018). Los suelos con alto contenido de arcilla tienden a retener contaminantes, mientras que los suelos arenosos facilitan el drenaje de estos contaminantes hacia capas más profundas, lo que puede afectar la calidad de los suelos.

El perfil del suelo presenta variaciones entre las partes alta, media y baja. En la parte alta, los horizontes superiores son plásticos y adhesivos, con una capa orgánica gruesa, mientras que en los inferiores son más granulares. En la parte media, la plasticidad disminuye y la estructura es más fina, con una capa orgánica más delgada. En la parte baja, el suelo es menos plástico, más granular y con la capa orgánica más reducida. En general, la plasticidad disminuye y la granularidad aumenta a medida que se desciende en el perfil del suelo.

Según Rucks et al. (2004), los suelos franco arenosos suelen presentar una estructura gruesa y moderada, acompañada de raíces finas en la capa superficial. La capa orgánica, rica en materia orgánica, contiene alrededor de 5 % de nitrógeno, además de fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes. La plasticidad y adhesividad del suelo indican una buena capacidad de retención de humedad y nutrientes (FAO, 2008).

La presencia de abundantes raíces contribuye a mejorar la conectividad de los poros del suelo, lo que facilita el drenaje (Whalley et al., 2005). La presencia de fragmentos de grava fina y media indican un paso continuo del agua a través del perfil, favoreciendo la retención de humedad (Rodríguez, 2023).

#### **f) Otras variables físicas**

El grosor de la hojarasca promedio del bosque relicto fue de 8,42 cm, por debajo del promedio del bosque en buen estado de conservación del bosque andino del PUFVC (Aguirre et al., 2019). Si se compara con el peso de la hojarasca presente en plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliotti* que fueron de 24,2 y 26,7 ton/ha, respectivamente. Estas diferencias pueden atribuirse a la edad de los rodales, el manejo forestal y condiciones climáticas que influyen en la descomposición, donde el exceso de agua reduce el oxígeno para los microorganismos descomponedores (Schuur et al., 2003).

La pendiente promedio del bosque relicto fue de 37,2 %, inferior al rango de 40-90 % encontrado por Aguirre (2001). Las pendientes pronunciadas pueden aumentar la infiltración en suelos permeables, pero también dificultan la distribución uniforme del agua y nutrientes (Condori, 2024). Sin embargo, Álvarez et al., (2019) señalan que la inclinación del terreno no influye significativamente en la diversidad de especies vegetales.

El porcentaje de cobertura o apertura del dosel es crucial para procesos como la floración y fructificación, además de influir en la tolerancia a la luz de las plantas. Lindig (2017) sostiene que una baja radiación solar puede limitar el desarrollo de especies colonizadoras. En el caso de *C. officinalis*, esta especie es relativamente intolerante a la luz solar directa en sus primeras etapas de crecimiento, prefiriendo condiciones de alta humedad. A medida que cambia de estado sucesional se comporta como una especie semiesciofita, adaptándose mejor a ambientes sombreados (Ministerio de Agricultura y Riego Perú [MINAGRI], 2018).

## **7.2. Sobrevivencia y crecimiento de un bloque plantado con *Cinchona officinalis* L. bajo un relicto boscoso**

### **a) Sobrevivencia**

Las plantas de *C. officinalis*, establecidas en bloque en el bosque relicto, presentaron una supervivencia del 84 % (61 plantas vivas) después de dos años. Según Linares (2005), este valor se clasifica como “muy bueno”. La principal causa de mortalidad de las plántulas de *C. officinalis* obedece a una respuesta de estrés hídrico que estas sufren luego del trasplante (Fernández et al., 2021). El bosque relicto, con su alta cobertura arbórea, favorece la retención de humedad en el suelo, lo que es crucial para la sobrevivencia de las plantas (Vettese, 2019). Esto sugiere que la estructura del bosque contribuye a la resiliencia de *C. officinalis* frente a condiciones de sequía, reduciendo el impacto del estrés hídrico en las primeras etapas de desarrollo.

### **b) Crecimiento e incremento en altura y diámetro**

Al analizar el crecimiento por clases de altura, la categoría con valores  $\geq 55,1$  cm presentó una sobrevivencia del 100 %, mientras que otras clases registraron mortalidad, siendo mayor en la categoría 15,1 – 25 cm con ocho individuos muertos. El crecimiento en altura de *C. officinalis* para 75 individuos de la línea base (año 2022) fue de 29,92 cm, y en el monitoreo (año 2024) de 57 individuos, alcanzó un promedio de 39,98 cm. Estudios previos, como el de Padilla (2017), resaltan que la especie tiende a crecer más en claros de bosque, lo que sugiere que las condiciones lumínicas y la competencia por recursos influyen en su desarrollo (Petigrosso et al., 2021). Esto fue evidente en los individuos que crecieron en áreas más abiertas del bosque relicto, donde se observó un crecimiento superior.

El diámetro basal de 61 individuos fue de  $4,90 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$ , predominando en la clase diamétrica 4,1 – 5 mm. El crecimiento del diámetro está relacionado con la cantidad de hojas, ya que un menor número y mayor espaciamiento entre plantas favorecen un mayor diámetro debido a la menor competencia y mejor disponibilidad de recursos (Hernández et al., 2015).

Con respecto al incremento medio anual, en altura fue de 4,6 cm y 0,66 mm en diámetro basal. Estos valores difieren del estudio realizado por Padilla (2017) en Selva Alegre, donde se reportó un incremento en diámetro de 0,17 mm y un crecimiento en altura de 28 cm. Aguirre y Weber (2008) destacaron que *C. officinalis* presenta un mejor desarrollo en claros de bosque, lo que coincide con las observaciones de campo en el bosque relicto.

## 8. Conclusiones

- El bloque de *Cinchona officinalis* mostró una alta tasa de supervivencia (84 %) después de dos años establecidas, con valores promedio de 39,98 cm en altura, 4,90 mm en diámetro basal, 60 % de plantas con estado fitosanitario “aceptablemente sanas”. Esto indicaría que las condiciones del bosque relicto, particularmente la cobertura arbórea, favorecen la retención de agua y han beneficiado el establecimiento inicial de la especie.
- El bosque relicto presentó una composición florística diversa con la presencia de árboles, arbustos y hierbas, con un total de 38 especies entre nativas, introducidas y endémicas; y, una diversidad media, creando condiciones adecuadas para el establecimiento inicial e interacción de *Cinchona officinalis*.
- Las condiciones físicas del suelo del bosque relicto presentaron un pH ácido, con materia orgánica abundante en zonas medias y altas. La capacidad de intercambio catiónico indicó mayor capacidad del suelo en la parte media para retener nutrientes esenciales. Los suelos franco arenosos y de color amarillento y marrón reflejan procesos de formación influenciados por la pendiente.
- El grosor y peso de la hojarasca, la cobertura de dosel y pendiente del bosque relicto han jugado un papel crucial en la retención de humedad favoreciendo las condiciones microclimáticas y teniendo una influencia directa en el crecimiento y estabilidad inicial de las plantas de *C. officinalis* L.
- El crecimiento en altura y diámetro basal de *Cinchona officinalis* presentó una heterogeneidad en las plantas, influenciado principalmente por la heterogeneidad en la cobertura de dosel, lo que resalta la influencia positiva de la luz sobre el desarrollo de las plantas en las primeras etapas.

## 9. Recomendaciones

- Implementar medidas de control integrado para gestionar la presencia de plagas como *Tetranychus urticae* y el hongo *Cercospora* sp., se recomienda el uso de *Bacillus thuringiensis* que es un eficaz controlador de plagas siendo respetuoso con el ambiente.
- Monitorear continuamente el bloque de *Cinchona officinalis* promoviendo prácticas silviculturales sostenibles que permitan evaluar el estado fitosanitario y crecimiento de las plantas.
- Realizar estudios adicionales sobre la relación del suelo, cobertura del dosel sobre el crecimiento de las plantas de *Cinchona officinalis* para comprender mejor los factores que inciden en el desarrollo de las plantas.

## 10. Bibliografía

- Albán-Castillo J, Chilquillo E, Melchor- Castro B, Arakaki M, León Blanca, Suni M. 2020. Cinchona L. “Árbol de la Quina”: repoblamiento y reforestación en el Perú. *Revista peruana de biología* 27(3): 423 - 426 (Agosto 2020). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i3.18697>
- Agrocalidad. (2018). Instructivo INT/SFA/10: *Muestreo para análisis de suelos*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Aguirre N., y Weber, M. (2008). Enriquecimiento de plantaciones forestales como herramienta para la rehabilitación de ambientes degradados en la Región Sur Ecuatoriana. *Naturaleza y Desarrollo Agrario. Revista Científica Desarrollo Agropecuario*, 1 (1), 39-47.
- Aguirre, N., Gaona, T., y Samaniego, C. (2019). Valoración ecológica y económica del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 26(1), 305-324. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26114>
- Aguirre, N., Günter, S., Weber, M., y Stimm, B. (2006). Enrichment of *Pinus patula* plantations with native species in southern Ecuador. *Lyonia*, 10 (1), 33-45.
- Aguirre, Z. (2001). *Diversidad y composición florística de un área de vegetación disturbada por un incendio forestal* (Doctoral dissertation, Tesis de Magíster en Manejo Sustentable de los recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ec). p 36).
- Aguirre, Z. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. <https://zhofreaguirre.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Aguirre, Z., Espinoza, F., y Jaramillo, N. (2021). Sucesión de especies vegetales leñosas bajo una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill., en la hoya de Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(2), 241-263.
- Aguirre, Z., Gonzalez, L., Jaramillo, N., y Peña, J. (2021). Monitoreo de la sucesión de especies vegetales leñosas bajo una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”, provincia de Loja, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 1018–1039. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-075>
- Aguirre, Z., Orellana, F., Jaramillo, N., Peña, J., y Quizhpe, W. (2021). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso en una parcela permanente en el bosque protector El Sayo, Loja, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 3062. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.506](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.506)
- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., y Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 543-556. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24207>

- Aguirre, Z., y Aguirre, N. (1999). *Guía práctica para realizar estudios de comunidades vegetales*. Herbario Loja # 5. Departamento de Botánica y Ecología de la Universidad Nacional de Loja. Loja, Ec. 30 p.
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2014) Parque *Universitario De Educación Ambiental Y Recreación* Ing. Francisco Vivar Castro. <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/parque-universitario-francisco-vivar-c-unl.pdf>
- Aguirre, Zhofre. (2019). *Especies de cascarilla en Ecuador y Loja: ¿cómo reconocerlas y dónde se encuentran?* [https://www.researchgate.net/publication/340418031\\_ESPECIES\\_DE\\_CASCARILLA\\_EN\\_ECUADOR\\_Y\\_LOJA\\_COMO\\_RECONOCERLAS\\_Y\\_DONDE\\_SE\\_ENCUESTRAN](https://www.researchgate.net/publication/340418031_ESPECIES_DE_CASCARILLA_EN_ECUADOR_Y_LOJA_COMO_RECONOCERLAS_Y_DONDE_SE_ENCUESTRAN)
- Jiménez, B. y V. González-Quiñones. (2006). *La calidad de suelos como medida para su conservación*. *Edafología*, 13 (3): 125-138.
- Alvarado, S., Córdova, J. y López, M (2000). *Metodologías de Análisis Físico Químico de Suelos, Aguas y Foliaves. 3ra Aproximación*. Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas INIAP, Quito.
- Álvarez, C., Arce, M. R. A., y Villacís, J. (2019). Diversidad arbórea y su relación con la pendiente en plantaciones de *Eucalyptus globulus*. *Boletín Técnico 13, Serie Zoológica 12-13*, 1-6.
- Aparecida, M., Salles, G., Marqués, S., & Costa, F. (2017). *Protocol for using the forest densiometer in RAPELD plots, Programa de Pesquisa em Biodiversidade, O Programa de Pesquisa em Biodiversidade. Brasil.* [https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Forest\\_Densiometer\\_Protocol\\_RAPELD\\_Plots.pdf](https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Forest_Densiometer_Protocol_RAPELD_Plots.pdf)
- Arora, S., Priyadarshini, B., Bullet, S., Kumar, S., Nayan, R., Khanna, BP y Zaidi, BM (2012). Mejora del crecimiento y el rendimiento de semillas de *Brassica juncea* inducida por nanopartículas de oro. *Plant Growth Regulation*, 66, 303-310. DOI: 10.1007/s10725-011-9649-z
- Aymard C., G. A. (2019). Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 43(Supl), 234–241. <https://doi.org/10.18257/raccefy.1079>
- Barrutia, R., Barrutia Barreto, I., Marín, T. (2020). Germinación de semillas de *Cinchona officinalis* L. en tres tipos de suelos de Cajamarca, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(1), 75-87. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692020000100075&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000100075&lng=es&tlng=es).

- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Bennett, A. (1999). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, RU, x + 254 pp.
- Blanco, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *INCA. Cultivos Tropicales*, 40 (4). <https://www.redalyc.org/journal/1932/193263189009/html/>
- Buytaert, W.; Deckers, J.; Wyseure, G. (2006). Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70 (2), 143- 154. doi:10.1016/j. catena.2006.08.003.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad De Ciencias Medellín.
- Cabrera, W. (2005). Diversidad florística de un bosque montano en los Andes tropicales del noroeste de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 40(3), 380-395. <https://documentoskoha.s3.amazonaws.com/9838.pdf>
- Castañeda G, S. L., Garzón, Á. E., Cantillo, M. Á., Torres, M. P., y Silva H., L. J. (2006). Análisis de la respuesta de ocho especies nativas del bosque alto andino ante dos métodos de propagación. *Colombia Forestal*, 10(20), 79-90.
- Cerqueda, H. (2010). *Propagación sexual y asexual de la pitahaya (Hylocereus spp)*. [Tesis De Mestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Chakravarty, S., Rai, PD., Vineeta., Pala, NA., y Shukla, G. (2020). *Producción y descomposición de hojarasca en bosques tropicales*.
- Conde Montaña, M. E., Moreno Serrano, J. A., Eras Guamán, V. H., Minchala Patiño, J., González Zaruma, D., Yaguana Arévalo, M., y Valarezo Ortega, C. (2017). Multiplicación sexual y asexual de *Cinchona officinalis* L., con fines de conservación de la especie. *Revista Científica Institucional Tzhoecoen*, 9(1), 81–93. <https://doi.org/10.26495/rtzh179.121509>
- Condori Valverde, E. (2024). Efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja (*Pisum sativum*). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(1), 5-15. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2024.536>
- CONGOPE. (2012). *Plan de forestación y reforestación de la provincia de Imbabura*. <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes programas/CONGOPE%20PLAN%20FORESTAL.pdf>
- Díaz, E., González, M., Jiménez, J., Treviño, E., y Ávila, D. (2012). *Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo en plantaciones forestales*. [Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y

Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e incendios Forestales]. Ibanez, CA: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste.

- Domínguez Soto Julia María, Román Gutiérrez Alma Delia, Prieto García Francisco, y Otilio Acevedo Sandoval. (2018). Sistema De Notación Munsell Y CIELab Como Herramienta Para evaluación De Color En Suelos. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i1.1489>
- Elizalde, M. (2016). *Influencia del borde sobre el contenido de humedad en relictos de bosque húmedo tropical del municipio El Retorno (Guaviare)* [Tesis de maestría, Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas.
- Eras, V., Minchala, J., Moreno, J., Yaguana, M., Sinche, M., y Valarezo, C. (2019). *Estructura, composición florística y fisiología reproductiva de sanchona *Officinalis* L. en la provincia de Loja*. <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ESTRUCTURA%20COMPOSICIO%CC%81N%20FLORI%CC%81STICA%20Y%20FISIOLOGI%CC%81A%20REPRODUCTIVA%20DE%20Cinchona%20o%EF%AC%83cinalis.pdf>
- FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/afecdf0d-08a9-4754-8ebd-a8070aa71aea/content>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4th ed.). <http://www.fao.org/3/i0370s/i0370s00.htm>
- FAO. (2013). *Planificación y Realización de un Levantamiento de Suelos*. [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s02.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s02.htm)
- FAO. 2019. *Mapa de Carbono orgánico del suelo*. <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>
- Fernández, F., Huaccha, A., Quiñones, L., y Sánchez, T. (2021). Efecto del tamaño de plántula de *Cinchona officinalis* (Rubiaceae) en la supervivencia posterior al trasplante. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9 (3), 1-10. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692021000300412#B18](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300412#B18)
- Ferreira Júnior, W. S., Cruz, M. P., Santos, L. L. dos, y Medeiros, M. F. T. (2012). Use and importance of quina (*Cinchona* spp.) and ipeca (*Carapichea ipecacuanha* (Brot.) L. Andersson): Plants for medicinal use from the 16th century to the present. *Journal of Herbal Medicine*, 2(4), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.07.003>

- Figueroa Jáuregui, M. L., Martínez Menez, M., Ortiz Solorio, C., y Fernández, D. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 36(3), 287-299. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- Gann, G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Cara, N., Jonson, J., Hallett, JG., Eisenberg, C., Guariguata, MR., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., y Dixon, KW. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 1-46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- García, L., Veneros, J., Chávez, S. G., Oliva, M., y Rojas-Briceño, N. B. (2022). World historical mapping and potential distribution of *Cinchona* spp. in Peru as a contribution for its restoration and conservation. *Revista para la Conservación de la Naturaleza*, 70, 126290. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126290>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz-Gaistardo, J., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. F., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I. y Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Luxembourg, Comisión Europea, Unión Europea, L-2995
- Méndez-Vigo B, Ausín I, Zhu W, Mollá-Morales A, Balasubramanian S, y Alonso-Blanco C. (2019) *Genetic Interactions and Molecular Evolution of the Duplicated Genes ICARUS2 and ICARUS1 Help Arabidopsis Plants Adapt to Different Ambient Temperatures*. *Plant Cell*. doi: 10.1105/tpc.18.00938. Epub 2019 Apr 16. PMID: 30992321; PMCID: PMC6588312.
- Han, P., Dong, D., Zhao, X.; Jiao, L., & Lang, Y. (2016). A smartphone-based soil color sensor: for soil type classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 232-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.024>
- Hernández Martínez, J. M., León González, Y., y Hernández García, B. (2015). Espaciado entre plantas y número de hojas en el tabaco negro tapado. I. Efecto en el crecimiento y desarrollo. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 116-121. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.133>
- Huamán Turpo, L. K. (2020). *Evaluación morfológica y del estado de conservación de seis especies del género Cinchona L. (Rubiaceae) en los Andes del norte y centro de Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Tesis y Trabajos de Investigación. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15618>
- Jorgensen, P., y León, M. (1999). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. *Syst. Bot. Missouri Botanical Garden*, 75, 1- 1182.
- Konijnenburg, A., y Matarrese, C. (2006). *Agricultura orgánica en el suelo: sus componentes físicos*. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498\\_script-tmp-inta\\_material\\_didactico\\_nro\\_01\\_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)

- Kozłowski, T.T., y Pallardy, S.G. (2002). Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *Botanical Review*, 68, 270–334.
- Lacasta, C., Meco, R. y Maire, N. (2005). *Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 429-436
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Edición en español. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. ISBN 3-88085-440-8.
- Lemmon, P. E. (1957). A new instrument for measuring forest overstory density. *Journal of Forestry*, 55(9), 667-668.
- Lindig Cisneros, R. (2017). *Ecología de restauración y restauración ambiental* (1er Ed). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/enesmorelia.9786070294525e.2017>
- Loján, L. (2003). *El Verdor de los Andes Ecuatorianos, Realidades y Promesas. Proyecto Apoyo al Desarrollo Forestal Comunal*, DFC-FAO. Quito, Ecuador. 56-59 p
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., y García Santiago, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(4), 897–910. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Lopez, N. (2016) Evaluación del paisaje y recursos escénicos después de 350 años de explotación de la “cascarilla” o “quina” *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) en el sector Cajanuma-Rumishitana, Ecuador. *Arnaldoa*, 23(2), 461-474.
- Louman, B., D. Quiroz y M. Nilson. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico Núm. 46. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 265 p
- Mazón M., Maita, J., y Aguirre N. (2017). *Restauración del paisaje en Latinoamérica: experiencias y perspectivas futuras*. [Memorias del Primer Congreso Ecuatoriano de Restauración del Paisaje]. Universidad Nacional de Loja.
- Mendoza Corrales, R. B., y Espinoza, A. (2017). *Guía Muestreo de Suelos* (1st ed.). Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS).
- Ministerio del Ambiente, (MINAM). (2022). *Bosques Relictos*. (1.a ed.). [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00ZVBF.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00ZVBF.pdf)

- Ministerio del Ambiente. (2019). *Plan Nacional de Restauración Forestal 2019 - 2030*. Quito - Ecuador.
- Montoya, A., Galano-Flores, G., Rodríguez, H., Franco, A.A., Zanardi, O.Z., y Yamamoto, P.T.. (2017). Toxicidad de acaricidas sobre *Tetranychus urticae* (Koch) en laboratorio. *Revista de Protección Vegetal*, 32(1), 60-67. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522017000100006&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522017000100006&lng=es&tlng=es).
- Moreno, M. (2013). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31(1), 189-211.
- Muñoz Chamba, L. F., Cabrera, B., Muñoz, J., y Aguirre, Z. (2021). Parámetros poblacionales de tres especies arbóreas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 128–147. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/882>
- Muñoz Flores, H., Sáenz Reyes, J., Rueda Sánchez, A., Gómez Cárdenas, M., Castillo Quiroz, D., y Castillo Reyes, F. (2018). Áreas potenciales para plantaciones forestales con *Brosium alicastrum* Sw., con fines de restauración. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 7-35.
- Weigend, Maximilian, Rodríguez, Eric F., y Arana, César. (2005). The relict forests of Northwest Peru and Southwest Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 185-194. Recuperado en 04 de diciembre de 2024, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332005000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000200004&lng=es&tlng=es).
- Murillo, O., y Camacho, P. (1997). Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense*, 21(2), 189-206.
- Nguanhom, J., Cheewangkoon R., Groenewald J., Braun U., Anun C., y Crous, P. (2015). Taxonomy and phylogeny of *Cercospora* spp. from Northern Thailand. *Phytotaxa* 233(1): 27-48. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.233.1.2>
- Padilla, T. (2017). *Estudio fenológico y análisis de las características del suelo donde se desarrolla Cinchona Officinalis L. en cuatro relictos boscosos de la provincia de Loja* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja
- Petigrosso, L. R., Martínez Veneri, J., y Fernández, O. N. (2021). Habilidad competitiva entre plantas de festuca alta libres e infectadas con hongo endófito bajo cosecha. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 29(1-2), 37. <https://doi.org/10.53588/alpa.291205>
- Pineda-Caro, D. Y., Medina-Vargas, Óscar J., y Falla-Rocha, G. (2020). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria. *Pensamiento Y Acción*, (30), 37–51. <https://doi.org/10.19053/01201190.n30.2021.12129>

- Poorter, H., Böhler, J., Van Dusschoten, D., Climent, J., y Postma, J.A. (2012). Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39(11), 839-850. <https://doi.org/10.1071/FP12049>.
- Rocalba. (2022). ¿Qué son las coberturas vegetales o cultivos de cobertura?. Rocalba. <https://www.rocalba.es/blog/que-son-las-coberturas-vegetales-o-cultivos-de-cobertura/>
- Quintero Vallejo, E., Benavides, A.M., Moreno, N., y Gonzalez Caro, S. (ed.). (2018). *Bosques Andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia. Medellín, Colombia: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe Programa Bosques Andinos (COSUDE)*. 1 Ed – Medellín, 2018. 542 páginas. Ilustraciones a color.
- Reyes-Sánchez, N., Jiménez-Campos, M., Mendieta-Araica, B., Rocha, L., y Noguera, A. (2022). Rasgos morfológicos de Moringa oleifera cv Honghe en condiciones de trópico seco. *La Calera*, 22. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.13736>
- Rivera, V., Sánchez, M., y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista Información Científica*, 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf>
- Rodríguez Acosta, D., Lobo Luján, D., y Torrente Trujillo, A. (2023). Granulometría del suelo en zonas de pendiente. Comparación de métodos de determinación. *Acta Agronómica*, 72(1), 38-46. Epub April 24, 2024. <https://doi.org/10.15446/acag.v72n1.107333>
- Rodríguez-Echeverry, J., Leiton, M., y Leiton, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sánchez Santillán, T., Silva Valqui, G., Chichipe Puscan, A., Trigoso Pinedo, M., Bobadilla Rivera, L., y Jiménez Yoplac, G. (2020). Influencia de sustratos y concentraciones de ácido indol butírico en la propagación vegetativa de *Cinchona officinalis* L. (quina) en Amazonas, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 241-251.
- Sanchún, A., Botero, R., Morera, A., Obando, G., Russo, R., Scholz, C., & Spinola, M. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. UICN. San José, Costa Rica. UICN, San José, Costa Rica. XIV + 436p.
- Scalon, S., R. Mussury, A. Gomez, K. Silva, F. Wathier y H. Filho. (2006). Germinacao e crescimento inicial de mudas de orelha-demacaco (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.) efeito de tratamentos quimicos e luminosidade. *R. Árvore* 30(4): 529 - 536.

- Schuur, E. (2003). Productivity and global climate revisited: The sensitivity of tropical forest growth to precipitation. *Ecology*, 84(5), 1165-1170. <http://www.jstor.org/stable/3107925>
- Sumner, M.E., y W. P. Miller. (1996). *Cation exchange capacity and exchange coefficients*.
- Sun, G., Zuo, C., Liu, S., L, Siu, M., McNulty., y Vose, J. (2008). Watershed evapotranspiration increased due to changes in vegetation composition and structure under a subtropical climate. *Journal of the American Water Resources Association* 44(5), 1164-1175.
- Fernández Zarate, Franklin Hitler, Huaccha Castillo, Annick Estefany, Quiñones Huatangari, Lenin, & Sánchez Santillán, Tito. (2021). Efecto del tamaño de plántula de *Cinchona officinalis* (Rubiaceae) en la supervivencia posterior al trasplante. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3), 412-422. Epub 07 de septiembre de 2021. Recuperado en 04 de diciembre de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692021000300412&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000300412&lng=es&tlng=es).
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., y Cruz, M. de la. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *PLOS ONE*, 10(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Tonneijck, F. H., van der Plicht, J., Jansen, B., Verstraten, J. M., y Hooghiemstra, H. (2006). Radiocarbon Dating of Soil Organic Matter Fractions in Andosols in Northern Ecuador. *Radiocarbon*, 48(3), 337–353. doi:10.1017/S0033822200038790
- Vaca Marquina, S., Arteaga Cuba, M., Tafur Santillán, S., y Fernández Zarate, F. (2021). Evaluación de sobrevivencia de la cascarilla (*Cinchona officinalis*) en la ACM Bosque de Huamantanga, Jaén – 2021. *Revista de Ciencias Agrarias*, 21(1-2)
- COA. (2017). *Código orgánico del ambiente*. [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Vásquez Castañeda, J. H., Lápiz Sabaleta, E., Barboza Hernández, M. K. Y., Vásquez Meza, S. N., y Quispe Sánchez, L. M. (2018). Comparación de sustratos en la propagación sexual y asexual del árbol de la quina (*Cinchona officinalis*). *Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable*, 2(3), 77–85. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.407>
- Vettese, Evangelina S., Orellana Ibáñez, Ivonne A., Lencinas, María V., Martínez Pastur, Guillermo, y Peri, Pablo L.. (2019). Diversidad de plantas vasculares en bosques continuos y relictuales de *Nothofagus* antártica (*Nothofagaceae*) en Patagonia austral. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 47(1), 31-53. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2019000100031>
- Villarreyna, R. (2016). *Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos*. [https://agritrop.cirad.fr/581648/1/Reporte\\_Sombra%20y%20fertilidad%20del%20suelo\\_Rev\\_Karel\\_BR%20JA\\_BV\\_RV.pdf](https://agritrop.cirad.fr/581648/1/Reporte_Sombra%20y%20fertilidad%20del%20suelo_Rev_Karel_BR%20JA_BV_RV.pdf)

- Villota, L. A., Torres, F., Rodríguez, E., Sánchez, J., y Avella, A. (2019). *Domesticación de plantas nativas empleadas en procesos de restauración ecológica: un nuevo enfoque para la propagación y el viverismo*. Fundación Natura y Enel-Emgesa. Bogotá, D. C. Colombia.
- Walkley, A., y Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 37(1), 29-38. DOI: 10.1097/00010694-193401000-0000
- Wang Q., Wang S., y Huang, Y. (2008). Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a mono-culture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 1210-1218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.026>
- Weigend, M., y Arana, C. (2005). The relict forests of Northwest Peru and Southwest Ecuador [Los bosques relictos del noroeste de Perú y del suroeste de Ecuador], *Revista peruana de biología*, 12(2), 185-194. <https://doi.org/10.15381/rpb.v12i2.2407>
- Whalley, W. R., Riseley, B., Leeds-Harrison, P., Bird, N., Leech, P., & Adderley, W. (2005). Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *European Journal of Soil Science*, 56(3), 353-360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00670.x>
- WWF España. (2021). *Informe sobre Restauración Ecológica: Curando las Heridas del Planeta*. [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/informe\\_restauracion\\_ecologica.pdf?57360](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/informe_restauracion_ecologica.pdf?57360)
- Yam-Chin, C., Montañez-Escalante, P., y Ruenes-Morales, R. (2014). Crecimiento de plantas jóvenes de *Cordia dodecandra* (Boraginaceae) en tres etapas sucesionales de vegetación en Calotmul, Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(2), 589–597. <https://doi.org/10.7550/rmb.34996>
- Zevallos, P. (1989). *Taxonomía, distribución geográfica y status del género Cinchona en el Perú*. [https://www.researchgate.net/publication/266558941\\_Taxonomia\\_distribucion\\_geografica\\_y\\_status\\_del\\_genero\\_Cinchona\\_en\\_el\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/266558941_Taxonomia_distribucion_geografica_y_status_del_genero_Cinchona_en_el_Peru)

## 11. Anexos

Anexo 1. Hoja de campo para caracterizar el estado actual de la plantación mediante variables dasométricas.

### HOJA DE CAMPO

Fecha: \_\_\_\_\_

Medidor: \_\_\_\_\_

Especie: \_\_\_\_\_

Instrumentos de medición: \_\_\_\_\_

**Registro de variables para plantas establecidas en plantaciones en bloques con una sola especie.**

Código	Coordenadas UTM (m)		Altura (cm)	Diámetro basal (mm)	Número de hojas	Estado fitosanitario *marcar una x			Observaciones
	x	y				1	2	3	

**Estado fitosanitario: 1).** Planta **SANA**, sin problemas evidentes, buena nutrición. **2).** Planta **ACEPTABLEMENTE SANA**, existe alguna evidencia de problemas fitosanitarios en menos del 50% del follaje, sin heridas severas ni alto riesgo de muerte. **3).** Planta **ENFEREMA**, se evidencia problemas que afectan el desarrollo normal, como pérdida del eje dominante, más del 50% del follaje afectado, caída de hojas, ramitas, pudriciones en el tallo, presencia de roya (herrumbres), entre otros.







Anexo 5. Hoja de campo para datos de variables físicas del bosque relicto.

### HOJA DE CAMPO-VARIABLES FÍSICAS

Fecha: \_\_\_\_\_ Medidor: \_\_\_\_\_

Instrumentos de medición: \_\_\_\_\_

Registro de variables físicas del bosque relicto donde se encuentra un bloque plantado con *Cinchona Officinalis L.*

1. Grosor de hojarasca

Nº de medición	Parcela										Observaciones
	P1 (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)	P9 (cm)	P10 (cm)	
Medición 1											
Medición 2											
Medición 3											

2. Peso de la hojarasca

Nº de medición	Parcela										Observaciones
	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	P4 (g)	P5 (g)	P6 (g)	P7 (g)	P8 (g)	P9 (g)	P10 (g)	
Medición 1											
Medición 2											
Medición 3											

3. Cobertura del dosel

Puntos cardinales	Parcela										Observaciones
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Norte											
Sur											
Este											
Oeste											

4. Pendiente

Nº de medición	Parcela										Observaciones
	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	P5 (%)	P6 (%)	P7 (%)	P8 (%)	P9 (%)	P10 (%)	
Medición 1											

Anexo 6. Parámetros estructurales del estrato arbustivo del bosque relicto ubicado en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>FR</b>	<b>DA</b>	<b>DR%</b>	<b>FR%</b>	<b>IVI %</b>
<i>Piper asperilimum</i> C.DC.	Piperaceae	45	450	29,03	20	24,52
<i>Critoniopsis Pycnantha</i> (Benth.) H.Rob.	Asteraceae	22	220	14,19	12	13,10
<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	Melastomataceae	20	200	12,90	12	12,45
<i>Piper</i> sp.	Piperaceae	19	190	12,26	12	12,13
<i>Palicourea reticulata</i> (Ruiz & Pav.) C.M.Taylor	Rubiaceae	14	140	9,03	16	12,52
<i>Polybotria</i> sp.	Dryopteridaceae	9	90	5,81	8	6,90
<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.)	Chloranthaceae	7	70	4,52	4	4,26
<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.)	Melastomataceae	7	70	4,52	4	4,26
<i>Piper bogotense</i> C.DC.	Piperaceae	7	70	4,52	4	4,26
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex A.St.-Hil.)	Ericaceae	3	30	1,94	4	2,97
<i>Piper ecuadorensis</i> Sodiro	Piperaceae	2	20	1,29	4	2,65

Nota: Fr: Frecuencia; DA: Densidad absoluta; DR: Densidad relativa; FR: Frecuencia relativa; IVI%: índice de valor de importancia

Anexo. 7 certificado de traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular

Loja, 28 de enero del 2025

Yo, Elyan Miguel Torres Cabrera, con número de cédula 1150175055, Licenciado en Ciencias de la Educación con Mención en inglés.

**CERTIFICO:**

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto, correspondiente al Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Forestal Curricular denominado: **Crecimiento inicial de Cinchona officinalis L. bajo un relicto boscoso dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” en la hoya de Loja**, elaborado por **Eimy María Illescas Cueva**, con número de cédula 1104648025.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.

Atentamente. -



---

**Lic. Elyan Torres Cabrera**

**C.I: 1150175055**

**Tel.: 0984661493**

**Correo electrónico: torreselian737@gmail.com**