



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

### Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo niveles de fertilización en condiciones de invernadero, cantón Loja

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

**AUTOR:**

José Luis Angamarca Buri

**DIRECTOR:**

Ing. Darlin Ulises González Zaruma, PhD.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación



Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF

### CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Gonzalez Zaruma Darlín Ulises**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Crecimiento inicial de Cinchona officinalis L. bajo niveles de fertilización en condiciones de invernadero, cantón Loja**, perteneciente al estudiante **Jose Luis Angamarca Buri**, con cédula de identidad N° **1150293072**.

**Certifico:**

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 4 de Marzo de 2024

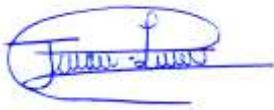
F)  **DARLÍN ULISES  
GONZALEZ ZARUMA**  
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR

  
Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000776

1/1  
*Educamos para Transformar*

### **Autoría**

Yo, **José Luis Angamarca Buri**, declaro ser autor 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:** 1150293072

**Fecha:** 06 de septiembre de 2024

**Correo electrónico:** [jose.angamarca@unl.edu.ec](mailto:jose.angamarca@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0986629207

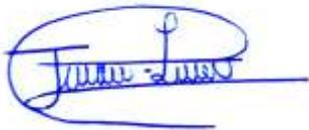
**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **José Luis Angamarca**, declaro ser autor, del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo niveles de fertilización en condiciones de invernadero, cantón Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero 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 seis días del mes de septiembre de dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autor:** José Luis Angamarca

**Cédula de identidad:** 1150293072

**Dirección:** Parroquia Gualel, cantón Loja

**Correo electrónico:** [jose.angamarca@unl.edu.ec](mailto:jose.angamarca@unl.edu.ec)

**Celular:** 0986629207

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Darlin Ulises González Zaruma, PhD.

## **Dedicatoria**

El Trabajo de Integración Curricular lo dedico a Dios por regalarme la vida, salud y guiado por el camino del bien, acompañándome durante todo este proceso, así como llenarme de sabiduría, fortaleza en cada momento.

Con admiración a los pilares fundamentales de mi existencia a mis padres Emilia Buri y Luis, Angamarca, quienes han sido la base de mi formación como ciudadano, brindándome su constante apoyo, consejos según su experiencia de vida, lo más importante, el amor incondicional que siempre ha estado presente, del cual me siento eternamente agradecido, así mismo han velado por mis estudios y bienestar en todo momento.

A mi familia especialmente a mis hermanos Javier, Alex, Licenia y María que siempre han estado ahí conmigo apoyándome. A mi abuelo Ángel Buri (†), quien ha sido una fuente inagotable de sabiduría, que a pesar de que no esté con nosotros físicamente, siempre se encuentra presente en mis pensamientos, y diariamente en el cálido palpitar de mi corazón.

***José Luis Angamarca Buri***

## **Agradecimiento**

Expreso mi agradecimiento y reconocimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Carrera de Ingeniería Forestal y todo el personal docente por impartirme conocimientos que me ayudaron a formarme como profesional y el administrativo que contribuyen día a día con la formación de los futuros profesionales del Ecuador, ya que este centro de estudios me acogió y brindó la oportunidad de superarme académica y personalmente.

Al Ing. Darlin González, PhD que, a más de ofrecer su guía y orientación como tutor, fue un pilar en el desarrollo de este proyecto, su constante apoyo a lo largo de este camino hace posible la culminación de esta investigación. A la Ing. Deicy Lozano, PhD en la estructuración y análisis de datos obtenidos, y finalmente, al equipo de investigación del Laboratorio de Micropropagación Vegetal, por el material vegetal y logística durante el ensayo, así como por la predisposición absoluta, conocimientos y experiencias compartidas.

***José Luis Angamarca Buri***

## Índice de contenidos

|   |            |
|---|------------|
| <b>Portada</b> .....  | <b>i</b>   |
| <b>Certificación</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>Autoría</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>Carta de autorización</b> .....                                    | <b>iv</b>  |
| <b>Dedicatoria</b> .....  | <b>v</b>   |
| <b>Agradecimiento</b> .....   | <b>vi</b>  |
| <b>Índice de contenidos</b> .....                                     | <b>vii</b> |
| <b>Índice de tablas:</b> .....  | <b>x</b>   |
| <b>Índice de figuras:</b> .....                                       | <b>xi</b>  |
| <b>Índice de anexos:</b> .....  | <b>xiv</b> |
| <b>1. Título</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>2. Resumen</b> .....   | <b>2</b>   |
| Abstract.....   | 3          |
| <b>3. Introducción</b> .....  | <b>4</b>   |
| <b>4. Marco teórico</b> .....   | <b>6</b>   |
| 4.1 Nutrientes del suelo.....   | 6          |
| 4.2 Importancia de los nutrientes.....                                | 6          |
| 4.3 Fertilización y fertilizantes.....                                | 6          |
| 4.3.1 Fertilización.....  | 6          |
| 4.3.2 Fertilizantes.....  | 6          |
| 4.4 Principales requerimientos nutricionales de las plantas.....      | 7          |
| 4.4.1 Nitrógeno (N).....  | 7          |
| 4.4.2 Fósforo (P).....  | 7          |
| 4.4.3 Potasio (K).....  | 8          |
| 4.4.4 Calcio (Ca).....  | 8          |
| 4.5 Estudios realizados en fertilización con especies forestales..... | 8          |
| 4.6 Mejoramiento genético forestal.....                               | 9          |
| 4.7 Variabilidad genética.....  | 9          |
| 4.8 Tipo de variables.....  | 9          |
| 4.8.1 Cualitativas.....   | 9          |
| 4.8.2 Cuantitativas.....  | 9          |
| 4.9 Genética cuantitativa.....  | 9          |
| 4.9.1 Ensayo de progenie.....   | 9          |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.9.2     | Procedencia.....   | 10        |
| 4.9.3     | Importancia de la procedencia.....   | 10        |
| 4.10      | Parámetros genéticos .....   | 10        |
| 4.10.1    | Heredabilidad .....  | 10        |
| 4.11      | Componentes de varianza fenotípica y genotípica.....   | 11        |
| 4.11.1    | Varianza fenotípica: Componentes genético y ambiental .....  | 11        |
| 4.11.2    | Componentes genéticos de la varianza: componentes aditivos y no aditivos .....   | 12        |
| 4.12      | Conservación de recursos genéticos forestales.....   | 12        |
| 4.12.1    | Conservación <i>ex situ</i> .....  | 12        |
| 4.12.2    | Conservación <i>in situ</i> .....  | 13        |
| 4.12.3    | Conservación <i>on farm</i> .....  | 13        |
| 4.13      | Descripción del género <i>Cinchona</i> .....   | 14        |
| 4.14      | Descripción botánica de <i>Cinchona officinalis</i> L.....   | 14        |
| 4.15      | Descripción taxonómica de <i>Cinchona officinalis</i> L.....   | 15        |
| 4.16      | Ubicación y distribución geográfica de <i>Cinchona officinalis</i> L. ....   | 15        |
| 4.17      | Importancia de <i>Cinchona officinalis</i> L .....   | 16        |
| 4.18      | Factores ambientales asociados al desarrollo de la <i>Cinchona</i> .....   | 16        |
| <b>5.</b> | <b>Metodología .....</b>   | <b>18</b> |
| 5.1       | Área de estudio .....  | 18        |
| 5.2       | Material vegetal .....   | 18        |
| 5.3       | Metodología para evaluar el crecimiento inicial de <i>Cinchona officinalis</i> L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero..... | 18        |
| 5.3.1     | Preparación del sustrato.....  | 18        |
| 5.3.2     | Establecimiento del ensayo .....   | 19        |
| 5.3.3     | Diseño experimental.....   | 19        |
| 5.3.4     | Especificaciones del diseño experimental .....   | 20        |
| 5.3.5     | Trasplante de plántulas .....  | 20        |
| 5.3.6     | Manejo silvicultural.....  | 20        |
| 5.3.7     | Evaluación .....   | 20        |
| 5.3.8     | Análisis estadístico .....   | 21        |
| 5.4       | Metodología para estimar la variabilidad genética de <i>Cinchona officinalis</i> L. de diferentes procedencias para fines de conservación.....     | 21        |
| 5.4.1     | Colecta de datos.....  | 21        |
| 5.4.2     | Estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos .....  | 21        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 5.4.3      | Heredabilidad .....  | 22        |
| 5.4.4      | Coeficiente de variación .....   | 22        |
| 5.5        | Metodología para la difusión de resultados de investigación a los actores sociales interesados para el conocimiento y aplicación ..... | 23        |
| <b>6.</b>  | <b>Resultados .....</b>  | <b>24</b> |
| 6.1        | Crecimiento inicial de <i>Cinchona officinalis</i> L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero .....                | 24        |
| 6.1.1      | Altura.....  | 24        |
| 6.1.2      | Diámetro a la base .....   | 26        |
| 6.1.3      | Diámetro de copa.....  | 29        |
| 6.1.4      | Número de hojas.....   | 31        |
| 6.1.5      | Análisis conjunto de los tratamientos.....   | 32        |
| 6.2        | Variabilidad genética de <i>Cinchona officinalis</i> L. de diferentes procedencias para fines de conservación.....                     | 33        |
| 6.3        | Difundir los resultados de la investigación a los actores sociales interesados, para conocimiento y aplicación.....                    | 35        |
| <b>7.</b>  | <b>Discusión .....</b>   | <b>36</b> |
| 7.1        | Evaluación del crecimiento inicial de <i>Cinchona officinalis</i> L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero ..... | 36        |
| 7.1.1      | Nitrógeno.....   | 36        |
| 7.1.2      | Fósforo.....   | 36        |
| 7.1.3      | Potasio .....  | 37        |
| 7.1.4      | Cal dolomítica .....   | 38        |
| 7.2        | Estimación de la variabilidad genética de <i>Cinchona officinalis</i> L. de diferentes procedencias para fines de conservación.....    | 38        |
| <b>8.</b>  | <b>Conclusiones .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>9.</b>  | <b>Recomendaciones .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>10.</b> | <b>Bibliografía .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>11.</b> | <b>Anexos .....</b>  | <b>50</b> |

## Índice de tablas:

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Síntesis de los estudios realizados en fertilización con especies forestales. ....   | 8  |
| Tabla 2. Concentraciones de fertilizante (N, P, K y cal) mezclada en 20 dm <sup>3</sup> de suelo en función de los tratamientos para crecimiento de <i>Cinchona officinalis</i> .....   | 19 |
| Tabla 3. Especificaciones del diseño experimental para la evaluación de fertilización en plántulas de <i>Cinchona officinalis</i> . ....  | 20 |
| Tabla 4. Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en procedencias de <i>Cinchona officinalis</i> a los 4 meses de edad. ....  | 21 |
| Tabla 5. Estimación de variancias y parámetros genéticos para los caracteres altura (ALT), diámetro a la base (DAB), diámetro medio de copa (DMC) y número de hojas de <i>Cinchona officinalis</i> , a los 120 días de edad. .... | 34 |

## Índice de figuras:

- Figura 1. Atributos botánicos de *Cinchona officinalis* L. a) Árbol, b) flores, c) frutos (Villar et al., 2018). ..... 15
- Figura 2. Distribución de *Cinchona officinalis* L. (Herbarium, 2018)..... 16
- Figura 3. Ubicación del área de estudio, invernadero del laboratorio de Micropropagación vegetal/UNL. .... 18
- Figura 4. Medición en plántulas de *Cinchona officinalis* a) altura total, b) Diámetro a la base (DB) y c) diámetro medio de copa (DMC)..... 20
- Figura 5. Altura de plantas de *Cinchona officinalis* en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda de cal (d) durante 120 días después del trasplante. .... 24
- Figura 6. Análisis de variancia de altura de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Los valores medios en el diagrama de caja (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ..... 25
- Figura 7. Regresiones polinomiales para el crecimiento en altura de plantas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5=160 mg/dm<sup>3</sup>] y enmienda con cal [0 = testigo 1 = 0 ,2 =20, 3 = 40, 4 = 60, 5=80 mg/dm<sup>3</sup>] a los 120 días de evaluación. .... 26
- Figura 8. Diámetro a la base (DB) de *Cinchona officinalis* en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda (d) de cal durante 120 días después del trasplante. .... 27
- Figura 9. Análisis de variancia de diámetro a la base de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Los valores medios en el diagrama de caja (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ )..... 27
- Figura 10. Regresiones polinomiales para el crecimiento en diámetro de plántulas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización nitrógeno (N) [0= testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0= testigo 1 = 0 ,2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0 = testigo, 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5

|            |   |    |
|------------|---|----|
|            | = 160 mg/dm <sup>3</sup> ] y enmienda con cal [0= testigo 1 = 0 ,2 = 20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm <sup>3</sup> ] a los 120 días de evaluación. ....   | 28 |
| Figura 11. | Diámetro de copa (DC) de <i>Cinchona officinalis</i> en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda (d) de cal durante 120 días después del trasplante. ....   | 29 |
| Figura 12. | Análisis de variancia de diámetro de copa de <i>Cinchona officinalis</i> a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Los valores medios en el diagrama de caja (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ....  | 30 |
| Figura 13. | Regresiones polinomiales para el diámetro de copa de plántulas de <i>Cinchona officinalis</i> bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0= testigo 1 = 0 , 2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm <sup>3</sup> ] fósforo (P) [0= testigo 1 = 0 ,2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm <sup>3</sup> ], potasio (K) [0 = testigo 1 = 0, 2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm <sup>3</sup> ] y enmienda con cal [ 0= testigo 1 = 0 ,2 =20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm <sup>3</sup> ] a los 120 días de evaluación..... | 31 |
| Figura 14. | Regresiones polinomiales para el número de hojas de <i>Cinchona officinalis</i> bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm <sup>3</sup> ] fósforo (P) [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm <sup>3</sup> ], potasio (K) [0= testigo 1 = 0 ,2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm <sup>3</sup> ] y enmienda con cal [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm <sup>3</sup> ] a los 120 días de evaluación.....             | 32 |
| Figura 15. | Análisis de variancia de a) altura, b) diámetro a la base y c) diámetro de copa de <i>Cinchona officinalis</i> a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Los valores medios en el diagrama de caja (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ....  | 33 |
| Figura 16. | Difusión de los resultados de investigación mediante poster científico.....   | 35 |
| Figura 17. | a) cernido de tierra; b) distribución de baldes en el invernadero c) fertilizantes utilizados por cada tratamiento. ....  | 50 |
| Figura 18. | a) aplicación de fertilizante en la tierra; b) esparcimiento; c) mezclado de fertilizante con la tierra .....   | 50 |
| Figura 19. | a) Distribución de plantas de <i>C. officinalis</i> b); c) trasplante de plantas de <i>C. officinalis</i> ; d) plantas plantadas en balde.....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 20. a) monitoreo sanitario de plantas de <i>C. officinalis</i> b); riego de plantas de <i>C. officinalis</i> .....  | 51 |
| Figura 21. Plantas de <i>Cinchona officinalis</i> del experimento con dosis de nitrógeno (N) ( $\text{g/dm}^3$ ), 120 días después del trasplante. ....            | 54 |
| Figura 22. Plantas de <i>Cinchona officinalis</i> del experimento con dosis de fósforo (P) ( $\text{g/dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante. ....            | 55 |
| Figura 23. Plantas de <i>Cinchona officinalis</i> del experimento con dosis de potasio (K) ( $\text{g/dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante. ....            | 56 |
| Figura 24. Plantas de <i>Cinchona officinalis</i> del experimento con niveles de saturación por bases ( $\text{g/dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante. .... | 57 |

## Índice de anexos:

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. <b>Establecimiento del ensayo.</b> .....   | 50 |
| Anexo 2. <b>Distribución espacial del ensayo bajo condiciones de invernadero.</b> .....   | 52 |
| Anexo 3. <b>Resultados de análisis de laboratorio.</b> .....  | 53 |
| Anexo 4. <b>Fotografías del crecimiento inicial de <i>C. officinalis</i> por cada experimento con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda de cal a los 120 días de evaluación.</b> ..... | 54 |
| Anexo 5. <b>Análisis de varianza (ANOVA) de la altura en el crecimiento inicial de <i>Cinchona officinalis</i>.</b> .....   | 58 |
| Anexo 6. <b>Certificación de la traducción del Abstrac.</b> .....   | 60 |

## **1. Título**

Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. bajo niveles de fertilización en condiciones de invernadero, cantón Loja

## 2. Resumen

El conocimiento sobre la fertilización de especies forestales redundaría en una mayor productividad, ahorro y menores impactos ambientales en las plantaciones forestales, sin embargo, los estudios sobre fertilización y nutrición para especies nativas en las etapas de crecimiento es escasa, así como las concentraciones requeridas para el desarrollo de la planta. En este contexto la presente investigación tuvo como objetivos: evaluar el crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* en respuesta a diferentes dosis de fertilizante y la variabilidad genética de tres procedencias (Uritusinga Selva alegre y Zamora Huayco). El ensayo estuvo compuesto por cinco tratamientos y cuatro repeticiones dispuestos en un diseño completamente al azar, con diferentes dosis de N (0, 40, 80, 120, 160 mg/dm<sup>3</sup>), P (0, 50, 100, 150, 200 mg/dm<sup>3</sup>), K (0, 40, 80, 120, 160 mg/dm<sup>3</sup>) y Cal (0, 20, 40, 60, 80 mg/dm<sup>3</sup>), y distribuidos en baldes de plástico llenos con 20 dm<sup>3</sup> de subsuelo de áreas aledañas a la quinta experimental la Argelia, dispuestos en invernadero del laboratorio de micropropagación vegetal de la Universidad Nacional de Loja. Quincenalmente por el lapso de 120 días posterior a la instalación del experimento se evaluó el diámetro a la base, altura de la plántula, diámetro de copa y número de hojas. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y posterior análisis de regresión, ajustando las ecuaciones en función de las dosis de cada experimento. La enmienda del suelo con cal dolomítica y la aplicación de fertilizantes con K0 y P150, favorecen significativamente el crecimiento inicial (altura y diámetro a la base) y la calidad de las plántulas de *C. officinalis*, siendo, el potasio y fósforo los que sobresalen en la expresión de los caracteres morfológicos, mientras que el nitrógeno no afectó el crecimiento inicial. Así también, se registra variabilidad genética entre procedencias en los caracteres silviculturales.

**Palabras claves:** nitrógeno, fertilización, procedencia, variabilidad genética, quina.

## **Abstract**

Knowledge of the fertilization of forest species results in higher productivity, savings, and lower environmental impacts in forest plantations; however, studies on fertilization and nutrition for native species during the growth stages are limited, as are the concentrations required for plant development. In this context, the present research study had the following objectives: to evaluate the initial growth of *Cinchona officinalis* in response to different fertilizer doses and the genetic variability of three provenances (Uritusinga, Selva Alegre and Zamora Huayco). The test was composed of five treatments and four replicates arranged in a completely randomized design, with different doses of N (0, 40, 80, 120, 160 mg/dm<sup>3</sup>), P (0, 50, 100, 150, 200 mg/dm<sup>3</sup>), K (0, 40, 80, 120, 160 mg/dm<sup>3</sup>), and Cal (0, 20, 40, 60, 80 mg/dm<sup>3</sup>), and distributed in plastic containers filled with 20 dm<sup>3</sup> of subsoil from areas surrounding the “La Angelia” experimental farm, arranged in the greenhouse of the plant micropropagation laboratory of the Universidad Nacional de Loja. The diameter at the base, height of the seedling, crown diameter, and number of leaves were evaluated fortnightly for 120 days after the installation of the experiment. The obtained data were subjected to variance analysis and subsequent regression analysis, with the equations adjusted according to the dose of each experiment. Of the elements studied, potassium and phosphorus were most important in expressing morphological traits, whereas nitrogen did not affect initial growth. Also, genetic variability between origins in forestry characteristics is recorded. Therefore, it is concluded that soil amendment with dolomitic lime and applying K0 and P150 fertilizers significantly favor the initial growth and seedlings quality of *C. officinalis*.

**Key words:** nitrogen, fertilization, provenance, genetic variability, quina.

### 3. Introducción

El crecimiento inicial de las especies forestales es de suma importancia, ya que constituye una oportunidad para asegurar la supervivencia y desarrollo al lugar de plantación, lo que garantiza el éxito de las plantaciones forestales, reduciendo así posibles pérdidas económicas (González et al., 2018). Por tanto, al momento del establecimiento es necesario la disponibilidad de nutrientes en el suelo que permitan la adaptación y crecimiento, para ello el manejo silvícola por medio de la fertilización constituye una herramienta indispensable (Rodríguez y Álvarez, 2010).

Dentro de la etapa de establecimiento, la disponibilidad de nutrientes para la absorción puede ser causa de escaso crecimiento y predisposición a daños bióticos y abióticos; sumado a que las plantaciones se establecen en suelos degradados por el uso excesivo anterior o por erosión, razón por la cual la fertilización, es una actividad silvicultural que contribuye al crecimiento del árbol (Donoso et al., 2015).

Las especies forestales nativas en cuanto a la sobrevivencia y crecimiento en etapas de crecimiento inicial en campo es aún desconocido (Aguirre et al., 2002), razón por la cual, la fertilización podría estimular el desarrollo de raíces, optimizando por tanto el uso del agua y la captación de nutrientes, lo que trae beneficios al crecimiento y la tasa de sobrevivencia de las plantas (Martínez, 2013). En este sentido, los programas regulares de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y Potasio (K) son considerados esenciales para el mejoramiento de la calidad de plantas (Hernández y Rubilar, 2012). En la fisiología de una especie, la ausencia de nitrógeno, fósforo y potasio limita el crecimiento, restringe el desarrollo del área foliar, así como también reduce la tasa fotosintética (Reich et al., 2009).

*Cinchona officinalis* se encuentra a lo largo de la región tropical y ecuatorial de la cadena montañosa de los Andes y declives externos andinos (Acosta, 1989; Zeballos, 1989). Especialmente en las provincias sureñas de Loja, El Oro, Cañar y Azuay entre 1 700 y 3 100 m s.n.m. (Andersson, 1998), y constituye una de las especies nativas emblemáticas de la región sur del Ecuador por el alto valor medicinal, cultural e histórico, ya que de la corteza se obtienen alcaloides de quinina, que fueron usados por más de tres siglos como único tratamiento contra el paludismo o malaria (Cóndor et al., 2009). En la actualidad las principales causas de la reducción de las poblaciones naturales de *Cinchona* son la baja tasa de germinación de las semillas, deforestación, incendios forestales, sobreexplotación, entre otros, lo cual ha provocado la pérdida de la continuidad poblacional a pequeños relictos boscosos en zonas poco accesibles (Cuvi, 2009).

La importancia cultural e histórica de *C. officinalis* y la amenaza en el hábitat natural (Gutiérrez et al., 2022) constituye una problemática a nivel regional, por tanto, un aspecto importante en los programas de reforestación con especies nativas además, de la utilización de planta con calidad genética, es la sobrevivencia a las condiciones ambientales y edáficas (Villar, 2008), es así que es necesario establecer estrategias para asegurar el crecimiento, en este contexto la fertilización se constituye en una herramienta importante para el establecimiento en campo.

Con esta premisa se plantearon las siguientes hipótesis: a) la aplicación de diferentes niveles de fertilización en plántulas de *Cinchona officinalis* L bajo condiciones de invernadero, produce diferencias significativas en el crecimiento inicial; y, b) la variabilidad genética de *Cinchona officinalis* L. provenientes de diferentes procedencias presenta diferencias significativas para fines de conservación. Para comprobar estas hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

#### **Objetivo general**

Contribuir a la generación de información científica relacionada con la silvicultura y variabilidad genética de procedencias de *Cinchona officinalis* L., bajo niveles de fertilización, con la finalidad de aportar a las estrategias de conservación *ex situ* de la especie.

#### **Objetivos específicos**

- Evaluar el crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero.
- Estimar la variabilidad genética de *Cinchona officinalis* L. de diferentes procedencias para fines de conservación.
- Difundir los resultados de la investigación a los actores sociales interesados, para conocimiento y aplicación.

## **4. Marco teórico**

### **4.1 Nutrientes del suelo**

El suelo, es el entorno donde las raíces se desarrollan y encuentran los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, de manera que el conocimiento del estado y niveles de nutrientes, es primordial para alcanzar el uso adecuado de fertilizantes (Andrades y Martínez, 2014). Los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas son 16 que provienen del aire y suelo (FAO, 2010).

### **4.2 Importancia de los nutrientes**

La nutrición de las plantas está vinculada directamente al metabolismo vegetal, con lo que incluye la asimilación de nutrientes, sus funciones metabólicas y su papel en el crecimiento y rendimiento de las plantas, lo que también forma parte integral de la nutrición vegetal y la aplicación de fertilizantes representa el aspecto concreto de la nutrición vegetal (Mengel y Kirkby, 2000).

### **4.3 Fertilización y fertilizantes**

#### **4.3.1 Fertilización**

La fertilización permite obtener plantas de calidad, para garantizar un crecimiento óptimo de calidad final satisfactoria de las plantas, se recomienda hacerlo cuando las plantas tengan una altura de alrededor de 10 cm, con el cuidado respectivo en la primera aplicación para evitar quemaduras en las raíces o incluso la muerte de las plantas (Jiménez, 1993). La fertilización tiene lugar durante la siembra o unas semanas después de haber plantado (Donoso et al., 2015).

#### **4.3.2 Fertilizantes**

Hace referencia a cualquier material que contenga uno o varios de los nutrientes esenciales que se añaden al suelo o sobre el follaje de las plantas, para complementar el suministro de nutrientes o que incluya como mínimo, el cinco por ciento o más de los tres nutrientes fundamentales (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) puede ser llamado como fertilizante (FAO, 2002).

Un fertilizante es todo material orgánico o inorgánico que cumple la función de proporcionar nutrientes a las plantas, para mejorar el crecimiento/aumento de la producción y mejora de la calidad (Navarro y Navarro, 2023). Los fertilizantes tienen como misión volver al suelo la fertilidad perdida, con elementos esenciales para el desarrollo vegetal como:

Nutrientes principales: N, P y K

Nutrientes secundarios: Na, Ca y Mg

Micronutrientes: B, Co, Cu; Fe, Mn, Mo y Zn

#### **4.4 Principales requerimientos nutricionales de las plantas**

Para que las plantas crezcan, es necesario que el suelo, aire y el agua contengan todos los nutrientes que ellas necesitan a lo largo de su ciclo de vida, además, estos nutrientes deben estar disponibles en formas que las plantas puedan absorber en proporciones adecuadas (Hogares Juveniles Campesinos [HJC], 2002).

Los elementos fundamentales conocidos como macronutrientes, son esenciales para las plantas, si estos están ausentes o en proporciones incorrectas, pueden afectar negativamente el desarrollo normal de los vegetales (HJC, 2002). Estos incluyen nitrógeno, fósforo y potasio que son requeridas en cantidades significativas y constituyen la base de los programas de fertilización para árboles, ejerciendo un impacto considerable en el crecimiento y rendimiento en buena parte de las especies arbóreas (Alvarado y Raigosa, 2012).

##### **4.4.1 Nitrógeno (N)**

Es crucial para el desarrollo de las plantas y constituye entre 1 y 4 % del contenido seco extraído de la planta; es fundamental en todos los procesos principales del crecimiento y rendimiento de las plantas, además para la absorción de otros nutrientes (FAO, 2002). Las plantas lo captan, en mayor proporción, en formas aniónicas oxidadas como nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Pero hay otras formas que incluyen nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), formas catiónicas reducidas como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), formas químicas orgánicas, como la urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (Lieber, 1996).

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno (N) incluye clorosis y reducción del crecimiento (achaparramiento), que es fácil de diagnosticar y corregir, las plantas con deficiencia responden rápido a las aplicaciones de fertilizante nitrogenado (Landis, 1989).

##### **4.4.2 Fósforo (P)**

Desempeña un papel fundamental en los procesos energéticos llevados a cabo por la planta, se traslada hacia los tejidos jóvenes cuando el suelo no puede suministrar suficiente cantidad (Barrios et al., 2009). Los valores de pH del suelo ideales para la absorción se encuentran en el rango de 6 y 6,8 (Lieber, 1996).

El fósforo (P) como elemento representa entre el 0,1 y el 0,4 % del extracto seco de la planta, resulta indispensable en la diferenciación celular y crecimiento de los tejidos que conforman los puntos de crecimiento de la planta, además de desempeñar un papel crucial en procesos metabólicos como: la fotosíntesis, participa en la transferencia de energía, síntesis y descomposición de carbohidratos (FAO, 2002).

Los síntomas de la escasez de fósforo en las hojas, pueden abarcar desde la ausencia de cambios en el color, hasta manifestaciones como un tono gris oscuro, rosa o púrpura, también se puede observar clorosis general, quemaduras de los bordes de las hojas, patrones moteados

de decoloración entre las nervaduras y la pérdida del color verde en las hojas más bajas (Landis, 1989).

#### 4.4.3 Potasio (K)

El potasio desempeña funciones importantes en las plantas, como estimular la fotosíntesis al activar diversas enzimas, mejorar la eficiencia en el consumo de agua, acelerar el flujo y translocación de los productos asimilados y favorecer la resistencia a enfermedades al fortalecer los tejidos vegetales (Alvarado y Raigosa, 2012).

Asimismo, en la producción de carbohidratos y proteínas, mejora el equilibrio hídrico de las plantas y fortalece la resistencia a condiciones de sequía, heladas y suelos salinos, por esta razón las plantas que cuentan con un suministro adecuado de potasio son menos propensas a sufrir enfermedades (FAO, 2002). Elemento de fuerte demanda por las plantas, si existe gran disponibilidad en el suelo, lo absorben en forma indiscriminada (más allá de las necesidades), proceso conocido como “consumo de lujo”, y tiende a acumularse en los tejidos vegetales donde la división celular y los procesos de crecimiento son más activos (Landis, 1989).

#### 4.4.4 Calcio (Ca)

Elemento poco abundante en suelos ácidos, facilita el crecimiento de las raíces, tallos y permite que la planta absorba tome del suelo todos los nutrientes del suelo de una manera eficiente, la carencia de este nutriente provoca que las plantas desarrollen hojas pequeñas y deformes, con las puntas dobladas hacia abajo (HJC, 2002).

La mayor parte de los suelos tropicales son ácidos y poco fértiles, enfrentando problemas como el exceso de aluminio, lo que los vuelve tóxicos, para manejar estos problemas se recomienda aplicar cal al suelo, la principal fuente es la cal dolomítica, que contiene una mezcla de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y un 10 % de carbonato de magnesio (HJC, 2002).

### 4.5 Estudios realizados en fertilización con especies forestales

En la Tabla 1 se muestra los trabajos realizados en fertilización con especies forestales.

Tabla 1. Síntesis de los estudios realizados en fertilización con especies forestales.

| Especie                                | Macronutriente /encalado | Concentración ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )        | Ht (cm) | Mejor respuesta ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) | Edad (días) | Autor                    |
|--|--------------------------|--|---------|---|-------------|--------------------------|
| <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambéss | Nitrógeno                | 0, 40, 80, 120 y 160 $\text{mg}/\text{dm}^3$     | 159     | 40  | 300         | Ciriello et al. (2014)   |
| <i>Cedrela fissilis</i> Vell           | Nitrógeno                | 0, 40, 80, 120 y 160                             | 11,46   | 160   | 210         | Freiberger et al. (2013) |
| <i>Jatropha curcas</i> L               | Fósforo                  | 0, 50, 100, 150 y 200                            | 77      | 57  | 150         | Freiberger et al. (2014) |
| <i>Tectona grandis</i> L.f.            | cal dolomítica           | 20, 40, 60 y 80 % (0, 29, 66, 103, 139 g maceta) | 115     | 80 %  | 240         | Favare et al. (2012)     |

## **4.6 Mejoramiento genético forestal**

Los programas de mejoramiento genético tienen la capacidad de generar de manera sostenible la producción de árboles y bosques plantados, para incrementar la productividad entre el 10 al 60 %, además estos programas permiten adaptar el material genético forestal a diversas condiciones ambientales, incluidas aquellas asociadas al cambio climático (FAO, 2014).

## **4.7 Variabilidad genética**

La variabilidad genética se refleja en la morfología de los árboles, abarcando características como la tasa de crecimiento, la densidad de la madera, fenología, y rectitud del fuste (Cornelius y Ugarte, 2010). La amplia variabilidad genética desempeña un papel crucial en los mecanismos de adaptación ante factores bióticos y abióticos, enfrentándose a riesgos a los que se ven expuestas las masas forestales (Alía et al., 2003).

## **4.8 Tipo de variables**

### **4.8.1 Cualitativas**

Tienen una mayor heredabilidad porque se cree que están controlados por un pequeño número de loci (generalmente  $h^2 > 0,5$ ) y están sujetos a presiones ambientales más bajas. Esto significa que el árbol es superior a sus vecinos en algunos aspectos cualitativos (Vallejos et al., 2010).

### **4.8.2 Cuantitativas**

Guardan relación con el volumen del árbol, considerando el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, y la altura comercial; por lo general, estos rasgos exhiben una heredabilidad baja, ya que el entorno de la plantación como la densidad de siembra y la competencia entre árboles, ejerce una gran influencia en el desarrollo, la heredabilidad de estos rasgos rara vez excede el 40 % ( $h^2 \leq 0,4$ ) (Vallejos et al., 2010).

## **4.9 Genética cuantitativa**

Es el estudio de caracteres controlados por genes que recaban la única información de carácter cuantitativo o métrico de un individuo, cuyo objetivo práctico es de presidir el resultado de un método de mejoramiento, con un modelo genético de la herencia de los caracteres cualitativos (Ipinza et al., 1998).

### **4.9.1 Ensayo de progenie**

Involucra la creación de parcelas con diversas familias, conocidas como progenies, dentro de un diseño específico, proporciona la oportunidad de evaluar a los árboles progenitores previamente seleccionados en el campo basándose en las características fenotípicas, mediante

la selección y el cruce, donde se puede estimar parámetros genéticos como la heredabilidad, la varianza genética o las correlaciones genéticas (CONAFOR, 2014).

El ensayo de progenies tiene como objetivo evaluar el desempeño del progenitor conocido mediante el desempeño de los descendientes (hermanos) que crecen en un ambiente controlado, y sirve para confirmar cuál de los padres conocidos presenta la mejor combinación de genes con un efecto positivo sobre la variable objetivo (Degen y Sebbenn, 2014).

#### **4.9.2 Procedencia**

Es un área geográfica y ambiental donde crecen los árboles progenitores; y, la constitución genética se ha formado mediante procesos de selección natural y artificial, cuando se emplea el término fuente de semilla, se utiliza como sinónimo de procedencia. La expresión "origen" denota la ubicación geográfica primaria, específicamente en el bosque nativo donde los árboles progenitores crecieron (CATIE, 1994).

#### **4.9.3 Importancia de la procedencia**

Cuando se establecen árboles de varias procedencias en un mismo sitio, pueden surgir notables disparidades en el comportamiento en relación características de interés económico. Asimismo, varias procedencias no muestran necesariamente un comportamiento uniforme en entornos distintos igual en ambientes diferentes, fenómeno común denominado interacción genotipo-ambiente (Cornelius y Ugarte, 2010).

#### **4.10 Parámetros genéticos**

Para llevar a cabo la estimación de los parámetros genéticos y fenotípicos es fundamental entender de las magnitudes de las varianzas genéticas aditivas y fenotípicas, así como de la heredabilidad de la característica evaluada (Carneiro et al., 2004). Según señalan Cruz y Souza (2006) para lograr el éxito del mejoramiento de plantas para cualquier característica, es una regla general que sea hereditaria y que exista variación en la población sujeta a selección. Por tanto, la heredabilidad emerge como un parámetro decisivo que permite comprender la variación fenotípica (rasgos físicos), y los métodos de selección a emplear en la evaluación de la ganancia genética (Reis et al., 2002).

Según, Cornelius y Ugarte (2010) los parámetros genéticos más destacados comprenden la varianza genética aditiva, la varianza genética de dominancia, la heredabilidad, la correlación genotípica aditiva, y también se agrega el coeficiente de variación genética aditiva (CVa), que posibilita la comparación directa entre distintas características y en diversas especies.

##### **4.10.1 Heredabilidad**

Uno de los aspectos más importantes para el mejoramiento genético forestal, es entender cómo los genes contribuyen a la variabilidad de un rasgo evaluado. La heredabilidad se clasifica

en dos tipos: a) sentido amplio ( $H^2$ ) que representa la proporción entre la varianza genética y la varianza fenotípica (Ramírez y Egaña, 2003).

$$H^2 = \frac{VG}{VP} \quad H^2 = \sigma^2G/\sigma^2P$$

Y heredabilidad en b) sentido estricto ( $h^2$ ) calcula como la relación entre la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica.

$$h^2 = \frac{VA}{VP} \quad h^2 = \sigma^2A/\sigma^2P$$

La razón para que la heredabilidad se simbolice como  $h^2$  se debe a que proviene de una terminología en la que "h" representa la proporción entre las desviaciones estándar.

#### **4.11 Componentes de varianza fenotípica y genotípica**

El estudio genético de un carácter métrico, se focaliza en analizar la variación que existe en las progenies por lo cual, para estudiar esta variación es esencial desglosar en componentes atribuibles a diversas causas, esta proporción relativa es determinante para las propiedades genéticas de una población, específicamente para la similitud fenotípica entre parientes (Escudero, 2011).

##### ***4.11.1 Varianza fenotípica: Componentes genético y ambiental***

Los distintos componentes que constituyen la variabilidad fenotípica, de una característica en una población están vinculados entre sí dando lugar al valor fenotípico. El valor fenotípico (P) se divide en: valor genotípico (G) más ambiente (E) e interacción genotipo – ambiente (GE):

$$P = G + E + GE$$

Así que, es posible dividir la variabilidad fenotípica en varianza genotípica ( $V_G$ ) y varianza ambiental ( $V_E$ ), la varianza genotípica se relaciona con la variabilidad de los valores genotípicos, mientras que la varianza ambiental está asociada con la variabilidad de las desviaciones ambientales.

$$V_p = V_G + V_E$$

La descomposición de la variabilidad fenotípica será válida siempre y cuando se cumplan dos condiciones: Los valores genotípicos y las desviaciones ambientales no deben estar correlacionados, si existe tal correlación, la varianza fenotípica (VP) aumentaría en el doble de la covarianza entre los valores genotípicos (G) y las desviaciones ambientales (E).

$$V_p = V_G + V_E + 2 COV_{GE}$$

En situaciones donde no hay interacción entre genotipos y ambientes, el valor fenotípico de un individuo se representa como la suma de los componentes genotípicos (G) y ambientales

(E):  $P = G + E$ . No obstante, cuando hay interacción entre genotipos y ambientes, el valor fenotípico no se resume únicamente a la suma de estos dos componentes, sino que se debe incluir un componente adicional de interacción:  $P = G + E + GE$ . La existencia de este componente de interacción agrega una fuente adicional de variación, la cual se atribuye a la interacción entre los genotipos y los ambientes, generando un impacto en el valor fenotípico.

$$V_p = V_G + V_E + 2 \text{COV}_{GE} + V_{GE}$$

#### **4.11.2 Componentes genéticos de la varianza: componentes aditivos y no aditivos**

Según López y Toro (2007), la descomposición de la varianza fenotípica en componentes genotípico y ambiental no conduce a una comprensión más profunda de las propiedades genéticas de una población y, en particular, no esclarece la similitud fenotípica entre parientes. Para abordar esto, la varianza genotípica debe desglosarse aún más, dividiendo el valor genotípico (G) en: valor de mejora (A), desviación por dominancia (D) y desviación epistática (I):

$$G = A + D + I$$

De esta manera, la variabilidad genotípica puede descomponerse en, varianza aditiva ( $V_A$ ), varianza por dominancia ( $V_D$ ) y varianza epistática ( $V_I$ ), la varianza aditiva representa la variabilidad de los valores de mejora, la varianza por dominancia refleja la variabilidad de las desviaciones por dominancia, y la varianza epistática abarca la variabilidad de las desviaciones debido a la interacción entre genes.

$$V_G = V_A + V_D + V_I$$

Entonces, la varianza fenotípica total de un carácter métrico se distribuye en:

$$V_p = V_G + V_E = V_A + V_D + V_E$$

En este contexto, la varianza aditiva, destaca como el componente más significativo, ya que constituye la causa principal de la similitud fenotípica entre parientes, por ende, ejerce una influencia fundamental en las propiedades genéticas de una población y de la respuesta a la selección. Desde un punto de vista práctico, resulta decisivo dividir la varianza fenotípica en varianza genética aditiva frente al resto, que incluye la varianza genética no aditiva ( $V_D + V_I$ ) y la varianza ambiental, esta descomposición, ofrece el cociente  $V_A/V_P$  que se denomina heredabilidad del carácter (López y Toro, 2007).

## **4.12 Conservación de recursos genéticos forestales**

### **4.12.1 Conservación *ex situ***

La conservación *ex situ* puede llevarse a cabo de diversas maneras, como bancos de germoplasma, archivos genéticos en campo y el almacenamiento de tejidos en instalaciones

especializadas, los bancos de semilla son los métodos más comunes para llevar a cabo esta forma de conservación (Vargas et al., 2004).

Esta estrategia de conservación se implementa en instalaciones, con el objetivo de resguardar el recurso genético de las influencias ambientales, en consecuencia, la diversidad genética entre poblaciones desempeña una función primordial en la conservación de los recursos genéticos forestales, ya que contribuye a la preservación a largo plazo de la variabilidad genética en poblaciones sostenibles (FAO et al., 2007a).

En este contexto, las herramientas para la conservación *ex situ* implementadas en Ecuador, se incluyen: a) jardines botánicos, b) bancos de germoplasma, c) zoológicos, d) zocriaderos y e) centros de rescate (Aguirre, 2015).

#### **4.12.2 Conservación *in situ***

Según Vargas et al. (2004) *in situ* significa "en el lugar" o "en la posición natural", en el caso del manejo de los recursos genéticos, la conservación *in situ* presenta la ventaja potencial de promover el cambio evolutivo, mediante una preservación dinámica, en contraste con la situación estática típicamente encontradas en la mayoría de las estrategias de conservación *ex situ*.

Tiene el objetivo conservar poblaciones de árboles con un tamaño suficientemente grande en áreas de distribución natural. La preferencia inicial debería ser la conservación *in situ* de genes, ya que esta modalidad de conservación no es estática y facilita la continuidad de los procesos genéticos de la población como la selección genética. Por tanto, la composición genética de las unidades de conservación de genes *in situ* todavía está sujeta a adaptaciones en curso (Degen y Sebbenn, 2014).

#### **4.12.3 Conservación *on farm***

También llamada conservación en fincas, se enfoca en agroecosistemas completos que comprenden: cultivos, forrajes y especies agroforestales, junto con sus parientes silvestres, entre los principales objetivos se encuentra la conservación de la diversidad en diferentes niveles, que incluyen desde el ecosistema hasta las especies individuales y la integración de los agricultores en un sistema nacional de recursos fitogenéticos (Jarvis et al., 2000). Esta técnica de conservación está dirigida al mantenimiento de las variedades locales, y de reciente reconocimiento científico, ha sido practicada por los agricultores desde hace milenios, además, facilita la preservación de especies ruderales y de malezas vinculadas a los cultivos (Rivas, 2001).

Según Flores y Acosta (2013) la conservación *on farm* se enfoca en mantener la diversidad genética de las variedades locales y criollas en los sistemas agrícolas tradicionales,

se realiza en fincas, granjas o predios, aquí el agricultor juega un papel crucial en esta iniciativa, que tiene como objetivos; asegurar la seguridad alimentaria, optimizar el uso de los recursos, generar y mantener el empleo rural, para prevenir la migración de agricultores hacia las áreas urbanas.

#### **4.13 Descripción del género *Cinchona***

Carlos Linneo fue el encargado de describir el género *Cinchona*, comúnmente conocido como cascarilla o quina, utilizando las descripciones e ilustraciones proporcionadas por el matemático y geógrafo francés Charles de La Condamine (Crawford, 2016). El género *Cinchona*, abarca una extensión geográfica que se extiende desde Costa Rica hasta Bolivia con más de 40 especies e híbridos, dentro de las variantes de especial interés se encuentra *Cinchona officinalis* L., reconocida por albergar una gama de alcaloides tales como la quinina, quinidina, los cuales han sido objeto de estudio y análisis detallados (McCalley, 2002).

Durante el siglo XVII, en Ecuador se descubrió el género *Cinchona*, conocido como cascarilla o quina, cerca del 95 % de la producción global de quina fue utilizada para tratar el paludismo o malaria, provenía de Ecuador, debido a su efectividad en el combate de las fiebres palúdicas, la quina fue reconocida como la "Salvación de la humanidad" (Buitrón, 1999).

El género *Cinchona* sobresale por las valiosas propiedades medicinales, presentes en zonas neotropicales (Mendoza et al., 2004). Dentro del género, *Cinchona officinalis* contiene alcaloides que han tenido un papel esencial en la medicina durante siglos (Raheem et al., 2004). Además, debido al renombre global, actualmente diversas especies de este género están siendo catalogadas como en peligro de extinción o se encuentran dentro de las listas de especies amenazadas (Mesa et al., 2013).

#### **4.14 Descripción botánica de *Cinchona officinalis* L.**

Árbol de la familia Rubiaceae, presenta dispersión de semillas generalmente anemócora, que alcanza entre 11 a 15 m de altura (Figura 1a) con un fuste cilíndrico que tiene un diámetro aproximado de 30 - 40 cm. Muestra un crecimiento en patrón simpodial con ramificaciones y copa de forma irregular, globosa y bastante densa, la corteza externa presenta un tono marrón oscuro o grisáceo, con ligeras fisuras y desprendimiento de pequeñas placas de forma irregular, con corteza interna de color blanco arenoso que al entrar en contacto con el aire, experimenta una oxidación que le confiere un color anaranjado rojizo, y el grosor aproximado de la corteza es de 1 cm (Zeballos, 1989).

Hojas simples opuestas y decusadas, estípulas lanceoladas u oblongas, en la base redondeada a atenuada, coriácea, glabras en la parte superior y a menudo brillante, glabro en el envés, hojas se tornan rojizas antes de caer y renovarse. Las flores se disponen en panículas

terminales que miden entre 20 a 25 cm de longitud, mostrando una ligera pubescencia (Figura 1b). El fruto en cápsula, presenta una forma elipsoide y un color marrón oscuro, con capacidad para dehiscentarse (Figura 1c) (Paniagua et al., 2020).

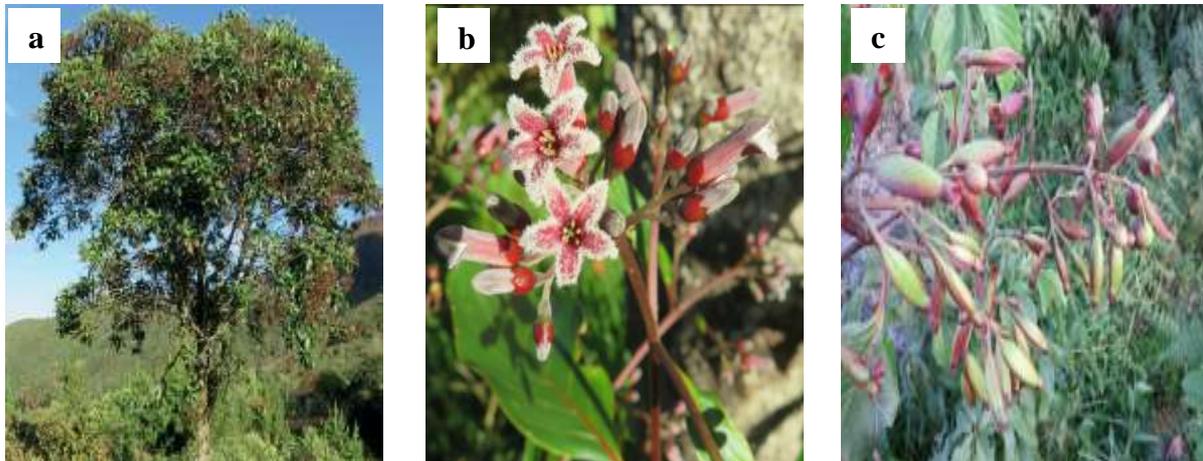


Figura 1. Atributos botánicos de *Cinchona officinalis* L. a) Árbol, b) flores, c) frutos (Villar et al., 2018).

#### 4.15 Descripción taxonómica de *Cinchona officinalis* L.

Según Germandt (2017), *C. officinalis* se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Dominio: Eukaryota

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Cinchona*

Especie: *officinalis*

Nombre común: cascarilla, quina, quinina

#### 4.16 Ubicación y distribución geográfica de *Cinchona officinalis* L.

Se encuentra naturalmente distribuida en ambas vertientes de la cordillera de los Andes, desde Colombia y Ecuador, hasta Perú y Bolivia (Figura 2) (Zeballos, 1989; Aymard, 2019). La distribución de *C. officinalis* L, en Ecuador se limita a una pequeña área del bosque nublado andino, en alturas que van desde los 600 hasta los 3 000 m s.n.m., este rango geográfico comprende las provincias de Bolívar, Chimborazo, El Oro, Cañar, Azuay, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Loja (Acosta, 1989).

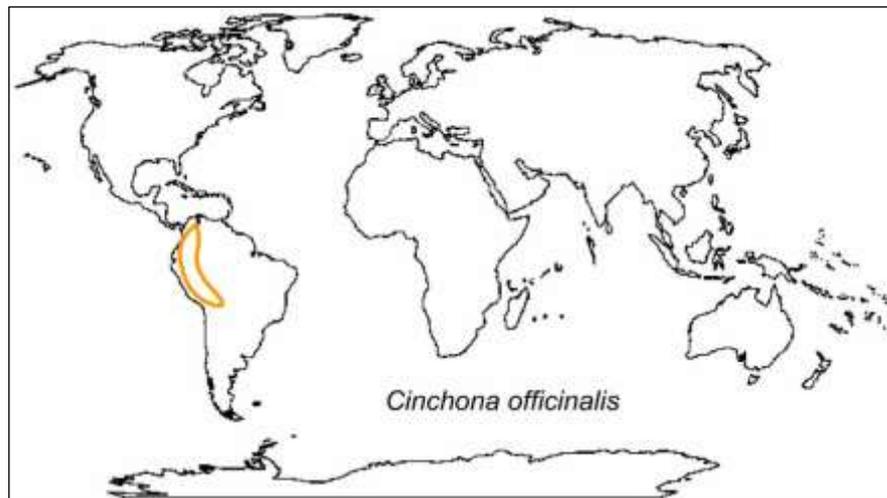


Figura 2. Distribución de *Cinchona officinalis* L. (Herbarium, 2018).

#### 4.17 Importancia de *Cinchona officinalis* L

Desde el punto de vista ecológico *C. officinalis* brinda servicios ambientales que incluyen la mitigación de gases de efecto invernadero, belleza paisajística, mejora estética en paisajes, regulación del ciclo hídrico y climático (Zeballos, 1989).

En el ámbito medicinal *C. officinalis* se hizo conocido a partir del siglo XVII, debido al uso de la corteza y los alcaloides (quinina, quinidina, cinchinina y cinchonidina), en particular de la quinina, un más importante antimalárico (Cuvi, 2009). Asimismo, los alcaloides extraídos de *C. officinalis*, se utilizan en la elaboración de remedios caseros para tratar la fiebre, ya que contienen principios astringentes, como taninos y trómeros, además de otros compuestos como ácidos orgánicos y compuestos terpénicos, que contribuyen al característico sabor amargo (Larreátegui y Lafuente, 2013).

Culturalmente, *C. officinalis* es reconocida como la planta nacional del Ecuador, representando el significado histórico del “Árbol de la vida” o la “Planta salvadora de la humanidad”, lo que supone un acontecimiento de gran importancia, considerando que la especie fue descubierta en esta región, lo que la convierte en un símbolo del trópico ecuatoriano, y uno de los árboles más hermosos de los bosques subandinos del país (Acosta, 1989).

Y finalmente, en lo económico *C. officinalis* fue cotizada por el gran valor en el mercado nacional e internacional que contó el Ecuador, para incrementar su economía, como país originario e histórico, brindó al mundo uno de los más importantes medicamentos, pero su negocio vino a menos desde el establecimiento de las grandes plantaciones (Acosta, 1989).

#### 4.18 Factores ambientales asociados al desarrollo de la *Cinchona*

La *Cinchona* se encuentra en climas predominantes de ceja de selva, cálidos y húmedos, con precipitaciones cerca de 520 mm, con presencia de nubosidad constante durante el año, con variaciones de temperaturas anuales que oscilan entre 6,5 y 24,9 °C y suelos clasificados como

coluviales y aluviales., tienen una profundidad que varía de media a muy profunda, una textura que va de media a pesada y arcillosa, y la reacción puede ser ácida o neutra dependiendo del material litológico presente (Zeballos, 1989).

*C. officinalis* muestra preferencia por suelos derivados de procesos volcánicos, caracterizados por su permeabilidad y elevado contenido de materia orgánica, profundos, desmoronables, y bien drenados, con una elevada capacidad retentiva de humedad y debe contar con una presencia significativa de bases, en particular de calcio, debido a que la quina tiene una alta exigencia de este elemento, además la aireación es buena, con un pH varía que varía de 4,6 a 6,5 (Cuvi, 2009).

## 5. Metodología

### 5.1 Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el invernadero del Laboratorio de Micropropagación Vegetal (LMV), de la Universidad Nacional de Loja (UNL), que está situada a 3 km al sur de la ciudad de Loja, entre las coordenadas geográficas (UTM WGS 84): Sur 9 554 105,70 y Este 699 757,75, con altitud de 2 135 m s.n.m. (Figura 3).

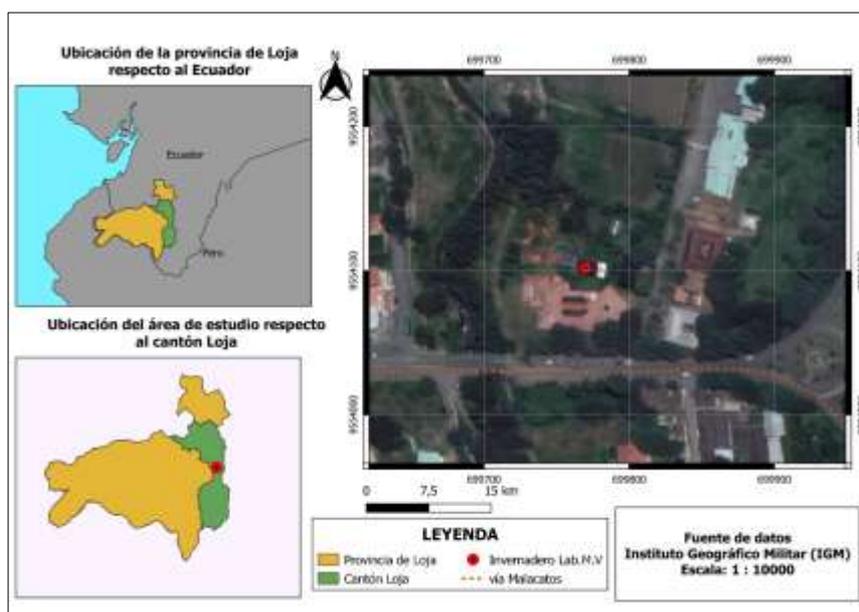


Figura 3. Ubicación del invernadero del laboratorio de Micropropagación vegetal/UNL.

### 5.2 Material vegetal

Los frutos de *C. officinalis* fueron colectados de árboles matrices de tres poblaciones naturales localizadas en Uritusinga, Zamora Huayco y Selva Alegre; y, llevados al invernadero, donde fueron colocados para secar, con la finalidad de obtener las semillas y posterior germinación en bandejas con sustrato compuesto por turba + tierra agrícola en proporción 2:1.

A partir de las plántulas germinadas y en crecimiento por 120 días en sustrato compuesto por tierra + arena + turba en proporción 3:2:1, fueron seleccionados alrededor de 30 individuos con altura entre 19 y 30 cm de cada procedencia (Uritusinga, Zamora Huayco y Selva Alegre) para instalar el ensayo.

### 5.3 Metodología para evaluar el crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero

#### 5.3.1 Preparación del sustrato

Se utilizó tierra recolectada de la capa del horizonte B o subsuelo (>50 cm de profundidad) de áreas aledañas a la quinta experimental La Argelia/UNL y tamizada a través una malla de 2 mm, con la finalidad de eliminar terrones, raíces, piedras, etc. Posteriormente,

se recogió una muestra de suelo para análisis químico en el laboratorio de manejo de suelos y aguas de la estación experimental del Austro, INIAP. Según el análisis, el suelo tiene las siguientes características químicas: pH= 6,13; nitrógeno= 28,8 kg/ha; fósforo= 90,6 kg/ha y potasio= 399 kg/ha (Anexo 3).

### 5.3.2 Establecimiento del ensayo

Una vez tamizada la tierra se procedió a mezclar con dosis de nitrógeno (urea- $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), fósforo (fosfato diamónico -  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) y potasio (cloruro de potasio - KCL) según los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones de fertilizante (N, P, K y cal) mezclada en 20 dm<sup>3</sup> de suelo en función de los tratamientos para crecimiento de *Cinchona officinalis*.

| No.                             | T   | Dosis | Fertilizante (g/dm <sup>3</sup> ) |   |                            | Cal dolomítica | Codificación |
|---------------------------------|-----|-------|-----------------------------------|---|----------------------------|----------------|--------------|
|                                 |     |       | N Úrea                            | P Fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ | K Cloruro de potasio (KCL) |                |              |
| 1                               | T0  | 0,0   | 0,0                               | 0,0   | 0,0                        | 0,0            | T0F0         |
| <b>Experimento 1: Nitrógeno</b> |     |       |                                   |   |                            |                |              |
| 2                               | T1  | 0     | 0,00                              | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T1F1N        |
| 3                               | T2  | 40    | 7,28                              | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T2F2N        |
| 4                               | T3  | 80    | 14,54                             | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T3F3N        |
| 5                               | T4  | 120   | 21,82                             | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T4F4N        |
| 6                               | T5  | 160   | 29,09                             | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T5F5N        |
| <b>Experimento 2: Fósforo</b>   |     |       |                                   |   |                            |                |              |
| 7                               | T6  | 0     | 1,83                              | 0,00  | 1,83                       | 82,29          | T6F6P        |
| 8                               | T7  | 50    | 1,83                              | 9,76  | 1,83                       | 82,29          | T7F7P        |
| 9                               | T8  | 100   | 1,83                              | 19,51   | 1,83                       | 82,29          | T8F8P        |
| 10                              | T9  | 150   | 1,83                              | 29,27   | 1,83                       | 82,29          | T9F9P        |
| 11                              | T10 | 200   | 1,83                              | 39,02   | 1,83                       | 82,29          | T10F10P      |
| <b>Experimento 3 Potasio</b>    |     |       |                                   |   |                            |                |              |
| 12                              | T11 | 0     | 1,83                              | 3,43  | 0,00                       | 82,29          | T11F11K      |
| 13                              | T12 | 40    | 1,83                              | 3,43  | 5,52                       | 82,29          | T12F12K      |
| 14                              | T13 | 80    | 1,83                              | 3,43  | 11,03                      | 82,29          | T13F13K      |
| 15                              | T14 | 120   | 1,83                              | 3,43  | 16,55                      | 82,29          | T14F14K      |
| 16                              | T15 | 160   | 1,83                              | 3,43  | 24,83                      | 82,29          | T15F15K      |
| <b>Experimento 4: Cal</b>       |     |       |                                   |   |                            |                |              |
| 17                              | T16 | 0     | 1,83                              | 3,43  | 1,83                       | 0,00           | T16F16Cal    |
| 18                              | T17 | 20    | 1,83                              | 3,43  | 1,83                       | 21,71          | T17F17Cal    |
| 19                              | T18 | 40    | 1,83                              | 3,43  | 1,83                       | 52,34          | T18F18Cal    |
| 20                              | T19 | 60    | 1,83                              | 3,43  | 1,83                       | 82,29          | T19F19Cal    |
| 21                              | T20 | 80    | 1,83                              | 3,43  | 1,83                       | 112,00         | T20F20Cal    |

### 5.3.3 Diseño experimental

El ensayo fue establecido en un diseño de bloques completamente al azar (DCA), constando de 4 experimentos, cada uno de ellos con 5 tratamientos (Tabla 2) 4 repeticiones, además de un testigo. La unidad experimental está compuesta por un balde de plástico de 20 dm<sup>3</sup> de tierra conteniendo una planta de *C. officinalis*.

### 5.3.4 Especificaciones del diseño experimental

Se detalla en la tabla 3 las especificaciones del experimento.

Tabla 3. Especificaciones del diseño experimental para la evaluación de fertilización en plántulas de *Cinchona officinalis*.

| Descripción   | Unidad           |
|---|------------------|
| Unidad experimental   | Una planta/balde |
| Número de experimentos                                      | 4                |
| Número de tratamientos/experimento                          | 5                |
| Número de repeticiones                                      | 4                |
| Número de unidades experimentales por tratamiento (planta)  | 20               |
| Número total de unidades experimentales del ensayo (planta) | 84               |

### 5.3.5 Trasplante de plántulas

Una vez seleccionadas las plántulas de *C. officinalis* con alturas de entre 20 - 30 cm, y de las tres procedencias, fueron trasplantadas a los baldes con los tratamientos respectivos; posterior al trasplante, fueron regadas las plantas.

### 5.3.6 Manejo silvicultural

Durante el desarrollo del experimento, se realizó labores silviculturales como el deshierbe y fundamentalmente el riego con 250 ml de agua por balde, dos veces a la semana durante todo el monitoreo, con la finalidad de mantener la humedad del suelo al 80 % del punto de saturación o de la capacidad de campo.

### 5.3.7 Evaluación

En las plantas de *C. officinalis* trasplantadas, para cada uno de los tratamientos se realizaron evaluaciones quincenales de sobrevivencia (1 planta viva y 0 planta muerta), altura total, desde la base hasta el ápice de la planta (regla graduada, cm) (Figura 4a), diámetro a la base (calibrador digital, mm) (Figura 4b), número de hojas (conteo total de hojas por individuo) y ancho de copa (regla graduada, cm) (Figura 4c). La evaluación final fue realizada a los 120 días después del trasplante.



Figura 4. Medición en plántulas de *Cinchona officinalis* a) altura total, b) Diámetro a la base (DB) y c) diámetro medio de copa (DMC).

### 5.3.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de regresión y ajustado a ecuaciones polinómicas (cuadráticas) dependiendo de la significancia de los parámetros de regresión, el valor y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ). El análisis estadístico se realizó a partir de la verificación del cumplimiento de los supuestos en cuanto a normalidad (test de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas e independencia de errores en el software Infostat (Di Rienzo et al., 2020). Posteriormente, en los datos normales se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05; y se aplicó TukeyHSD para comparar los niveles entre tratamientos mediante el software Rstudio 4.2.2 (2023).

## 5.4 Metodología para estimar la variabilidad genética de *Cinchona officinalis* L. de diferentes procedencias para fines de conservación

A partir del ensayo de fertilización en las procedencias de *C. officinalis* instalado en el invernadero, fueron evaluados todos los individuos a los cuatro meses de crecimiento.

### 5.4.1 Colecta de datos

Las variables dasométricas evaluadas fueron: i) altura total de plantas (ALT, m) con un flexómetro, ii) diámetro a la base (DAB, mm) con un calibrador y iii) Sobrevivencia (SOB %) atribuyendo el valor de “1” para presencia de la planta y “0” para ausencia (Tabla 4). En las observaciones se especificó si el individuo a medir está muerto, rebrote o ápice quebrado.

Tabla 4. Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en procedencias de *Cinchona officinalis* a los 4 meses de edad.

| N   | Código/Procedencia | SOB | DAB (cm) | Altura total (cm) | Ancho de copa (cm) | Observaciones |
|-----|--------------------|-----|----------|-------------------|--------------------|---------------|
| 1   |                    |     |          |                   |                    |               |
| ... |                    |     |          |                   |                    |               |
| 84  |                    |     |          |                   |                    |               |

### 5.4.2 Estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos

La estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos se realizó a partir de los datos cuantitativos colectados en el invernadero por el método REML/BLUP (máxima verosimilitud restringida/mejor predicción lineal no sesgado), para lo cual, se utilizó el software genético-estadístico SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2016). Además, se realizó el test del cociente de verosimilitud (LRT) para verificar la significancia de los efectos genéticos y de la interacción de las procedencias.

Se aplicó la metodología de bloques completos sin estructura de progenies en un local, varias procedencias, propuesto por Resende (2002) y correspondiente al modelo estadístico 24:

$$y = Xr + Zg + Wp + e$$

dónde:  $y$ = vector de datos,  $r$  = vector de los efectos de repetición (efectos fijos) sumados a la media general,  $a$ = vector de los efectos genotípicos de poblaciones (efectos aleatorios),  $p$ = vector de los efectos de parcelas (aleatorios), y  $e$ = vector de los errores o residuos (aleatorios). Las letras mayúsculas indican las matrices de incidencia correspondientes a los efectos mencionados.

La estimación de los parámetros genéticos tuvo como base las siguientes expresiones:

i) Variancia genética aditiva ( $\hat{\sigma}_g^2$ ):

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})]}{q};$$

ii) Variancia ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2$ ):

$$\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2 = \frac{[\hat{c}' \hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}]}{S_1};$$

iii) Variancia residual (ambiental + no aditiva) ( $\hat{\sigma}_e^2$ ):

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y' y - \hat{r}' X' y - \hat{a}' Z' y - \hat{c}' W' y]}{[N-r(x)]};$$

iv) Variancia fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ):

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2;$$

### 5.4.3 Heredabilidad

Los valores de heredabilidad oscilan entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 0 indican que el efecto de los genes es bajo o nulo; mientras que los valores cercanos o superiores a 1 indican una alta influencia de los genes en la expresión de la característica (Ruales et al., 2007).

i) Heredabilidad individual en el sentido restricto, o sea, de los efectos aditivos ( $\hat{h}_g^2$ )

$$\hat{h}_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2};$$

ii) Heredabilidad de la media de progenies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ):

$$\hat{h}_{mp}^2 = \frac{(1/4)\hat{\sigma}_a^2}{\left(\frac{1}{4}\right) \cdot \hat{\sigma}_f^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \cdot r}};$$

donde; n = número de plantas por parcela; y r = número de repeticiones.

### 5.4.4 Coeficiente de variación

El coeficiente de variación genética se calcula dividiendo la desviación estándar genética entre la media. Se considera que la variabilidad genética es alta cuando el coeficiente

supera el 20 %, intermedia cuando está entre el 10 a 20 %, y baja cuando es inferior al 10 % (Espitia et al., 2022).

- i) Coeficiente de variación genotípica entre progenies:

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \sigma_a^2}}{m} \times 100$$

- ii) Coeficiente de variación experimental (CVe): es una medida de dispersión que ayuda a estimar la precisión de los experimentos, a menor valor del CVe indica una mayor precisión del experimento (Cargnelutti y Storck, 2007), se clasifica como bajo si es menor al 10 %; medio si está entre 10 – 20 %; alto si se encuentra entre el 20 – 30 %, y muy alto si excede el 30 % (Pimentel, 1990).

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[0,75 \cdot \sigma_a^2 + \sigma_e^2]/n} + \sigma_e^2}{m} \times 100$$

- iii) Coeficiente de variación relativa:

$$CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e}$$

- iv) Error de selección de progenies, asumiendo sobrevivencia completa:

$$r_{\hat{a}a} = \sqrt{\hat{h}_m^2}$$

- v) Coeficiente de determinación de los efectos de parcela ( $c_{\text{parc}}^2$ ):

$$c_{\text{parc}}^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2}$$

## 5.5 Metodología para la difusión de resultados de investigación a los actores sociales interesados para el conocimiento y aplicación

La difusión de resultados obtenidos de la presente investigación, se realizó mediante:

- Socialización de los resultados obtenidos del Trabajo de Integración Curricular (TIC) a estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja y en el Proyecto Integrador de Saberes organizado por la Carrera de Ingeniería Forestal.
- Póster para la difusión de los resultados del Trabajo de Integración Curricular.

## 6. Resultados

### 6.1 Crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero

#### 6.1.1 Altura

A partir de los 60 días después del trasplante los valores promedio en altura de *C. officinalis* mostraron diferencias según la fertilización por cada experimento y en comparación con el testigo. Así, con N (N120: 37,45 cm), P (P150: 40,58 cm), K (K0: 46,28 cm) y enmienda de cal (Cal40: 47,53 cm) (Figura 5).

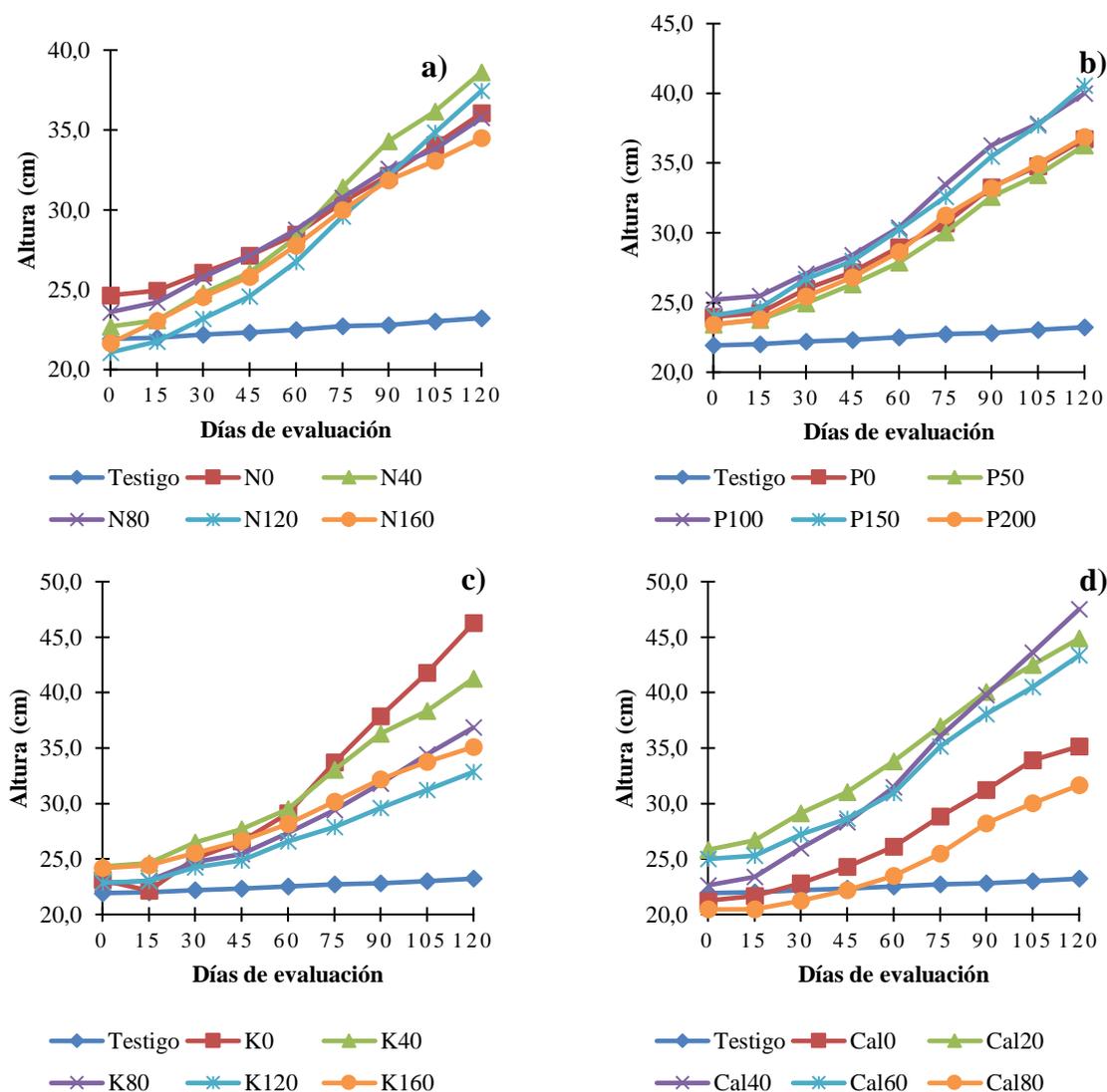


Figura 5. Altura de plantas de *Cinchona officinalis* en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda de cal (d) durante 120 días después del trasplante.

La altura de *C. officinalis* exhibió diferencias estadísticas significativas dentro de los tratamientos con fósforo ( $p = 0,0190$ ), potasio ( $p = 0,0109$ ) y enmienda con cal ( $p = 0,0046$ ); entre tanto, el tratamiento con nitrógeno (N) no presentó diferencias significativas ( $p = 0,10$ ).

Cabe destacar que, el testigo fue estadísticamente diferente en tres de los cuatro tratamientos ensayados (Figura 6).

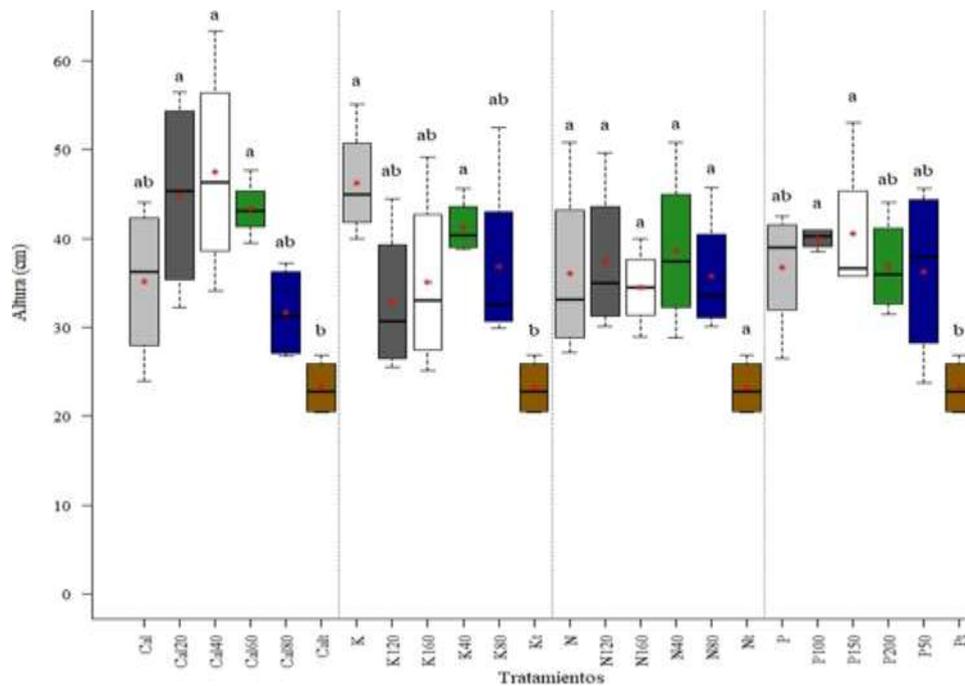
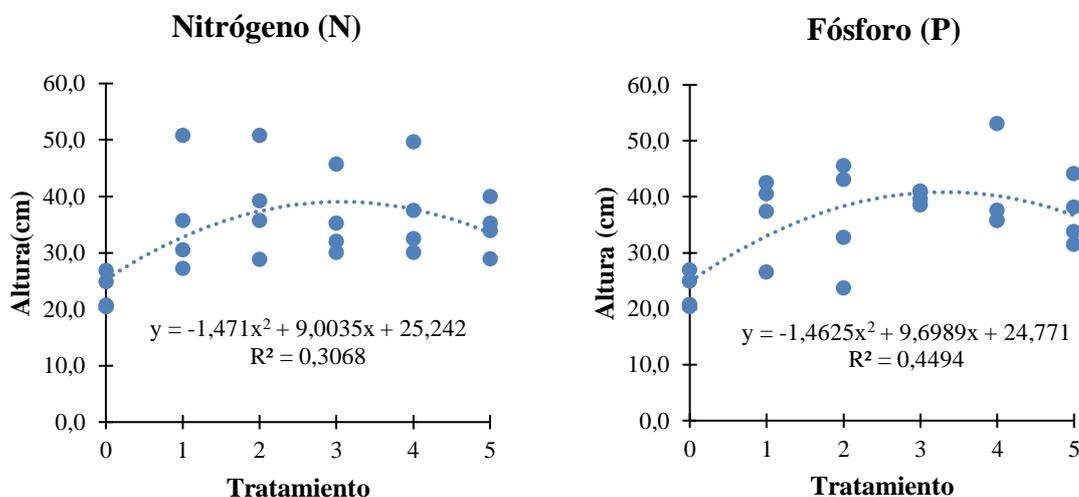


Figura 6. Análisis de variancia de altura de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Valores medios (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La relación entre la altura y la dosis de fertilizante se ajustó en una línea de tendencia polinómica de grado dos (Figura 7) siendo significativa ( $p < 0,05$ ) en las dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y cal, mientras con potasio (K) no se correlacionó. En el experimento con N, la altura máxima alcanzada fue de 50,80 cm (N40: 7,28 g/dm<sup>3</sup>), en el P fue de 53,10 cm (P150: 29,27 g/dm<sup>3</sup>), para el K, fue de 55,10 cm (K0: 0,00 g/dm<sup>3</sup>); y, en cuanto a la enmienda con cal la mayor altura fue de 63,10 cm (Cal40: 52,34 g/dm<sup>3</sup>).



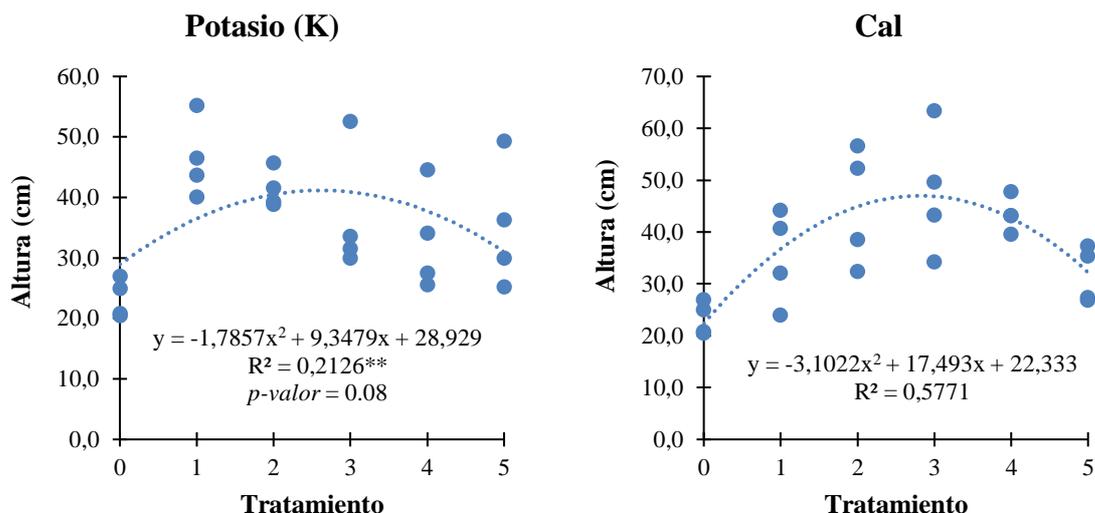
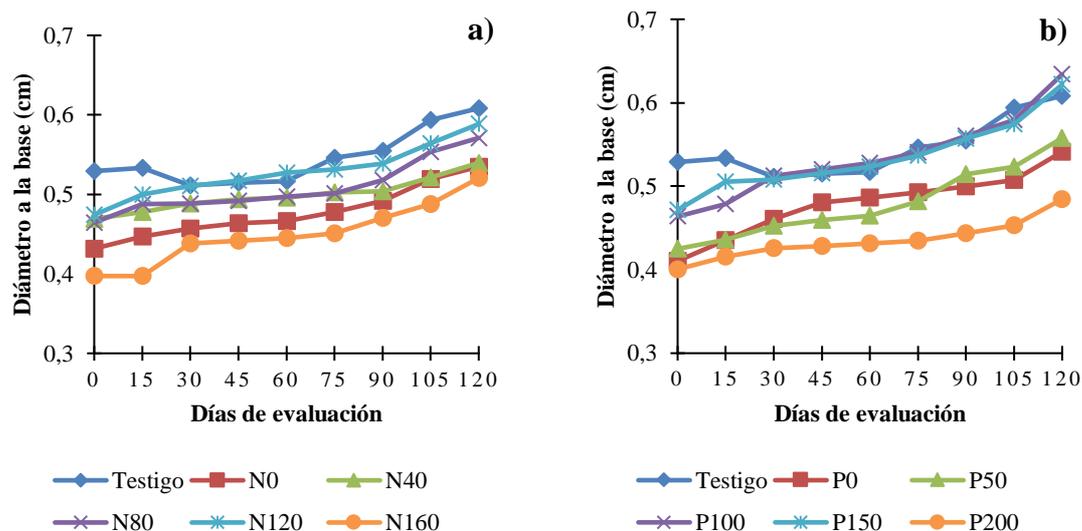


Figura 7. Regresiones polinomiales para el crecimiento en altura de plantas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0 = testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5=160 mg/dm<sup>3</sup>] y enmienda con cal [0 = testigo 1 = 0 ,2 =20, 3 = 40, 4 = 60, 5=80 mg/dm<sup>3</sup>] a los 120 días de evaluación.

### 6.1.2 Diámetro a la base

El diámetro a la base en plántulas de *C. officinalis* a partir de los 45 días después del trasplante mostraron una diferencia significativa dependiendo de las dosis de N (N160: 0,52 cm), P (P100:0,63 cm), K (K0: 0,71 cm) y enmienda de cal (Cal0:0,73 cm). Al comparar los datos del crecimiento del diámetro a la base entre la medición inicial y a los 4 meses de edad se observó que la mayoría de individuos tuvo un crecimiento uniforme (Figura 8).



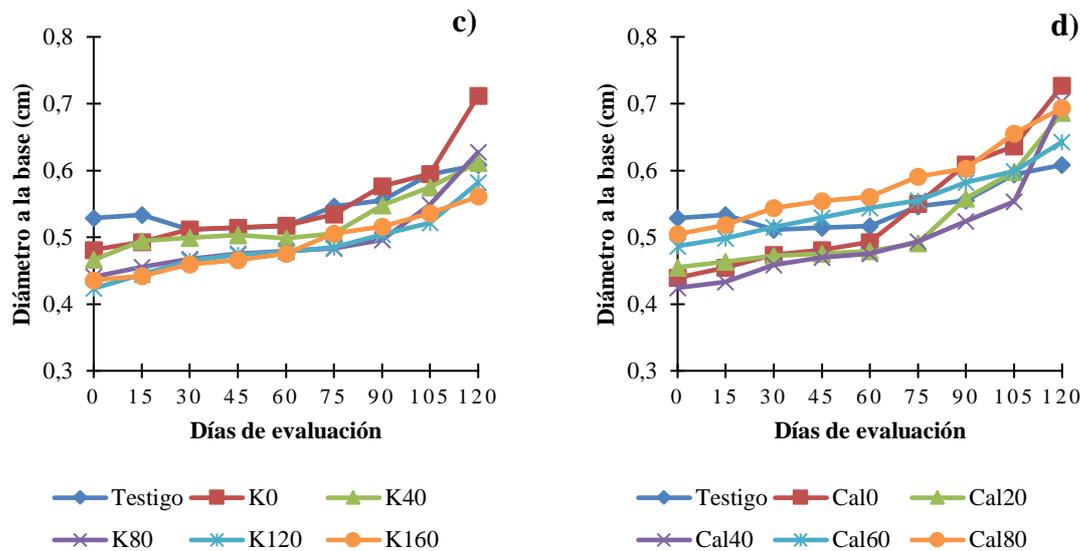


Figura 8. Diámetro a la base (DB) de *Cinchona officinalis* en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda (d) de cal durante 120 días después del trasplante.

El diámetro a la base (cm) de *C. officinalis* no presentó diferencias significativas entre tratamientos con nitrógeno ( $p = 0,437$ ), fósforo ( $p = 0,0779$ ), potasio ( $p = 0,5562$ ) y enmienda con cal ( $p = 0,7558$ ), con un nivel de confiabilidad del 95 % ( $\alpha = 0,05$ ), es importante resaltar que el tratamiento testigo (0,61 cm) no presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con ninguno de los cuatro tratamientos evaluados (Figura 9).

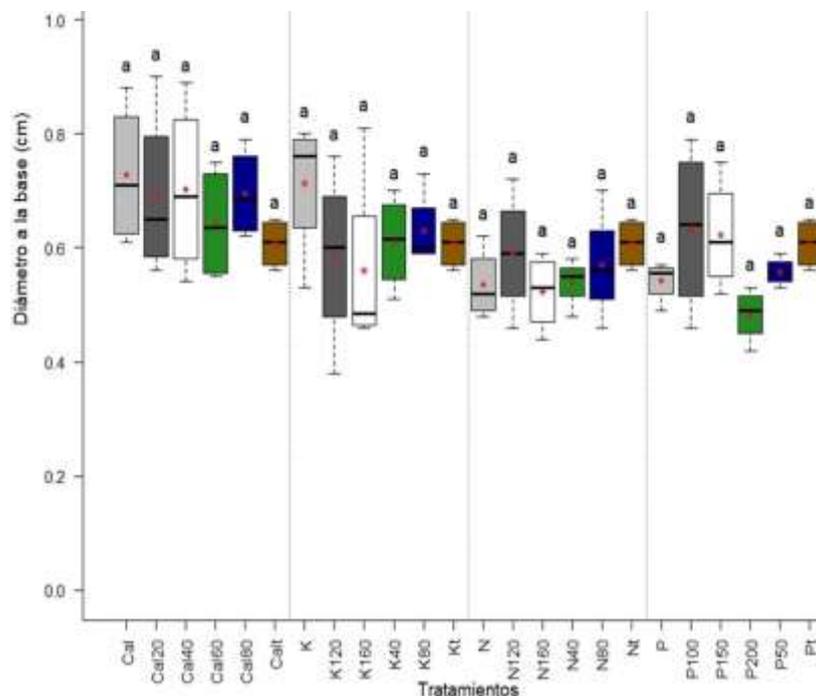


Figura 9. Análisis de variancia de diámetro a la base de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Valores medios (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La relación entre el diámetro de plántulas de *Cinchona officinalis* y la dosis de fertilizantes se ajustó en una línea de tendencia polinómica de grado dos, siendo no significativa ( $p > 0,05$ ), en los tratamientos con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Cabe destacar que, en el experimento con N, el diámetro a la base, máximo fue 0,59 cm (N160: 29,09 g/dm<sup>3</sup>). Respecto al P el diámetro alcanzó 0,79 cm (P100: 19,51 g/dm<sup>3</sup>). Mientras que con K alcanzó 0,80 cm (K0: 21,82 g/dm<sup>3</sup>). Y en la enmienda con cal, alcanzó el mayor diámetro a la base con 0,88 cm (Cal0: 0 g/dm<sup>3</sup>) (Figura 10).

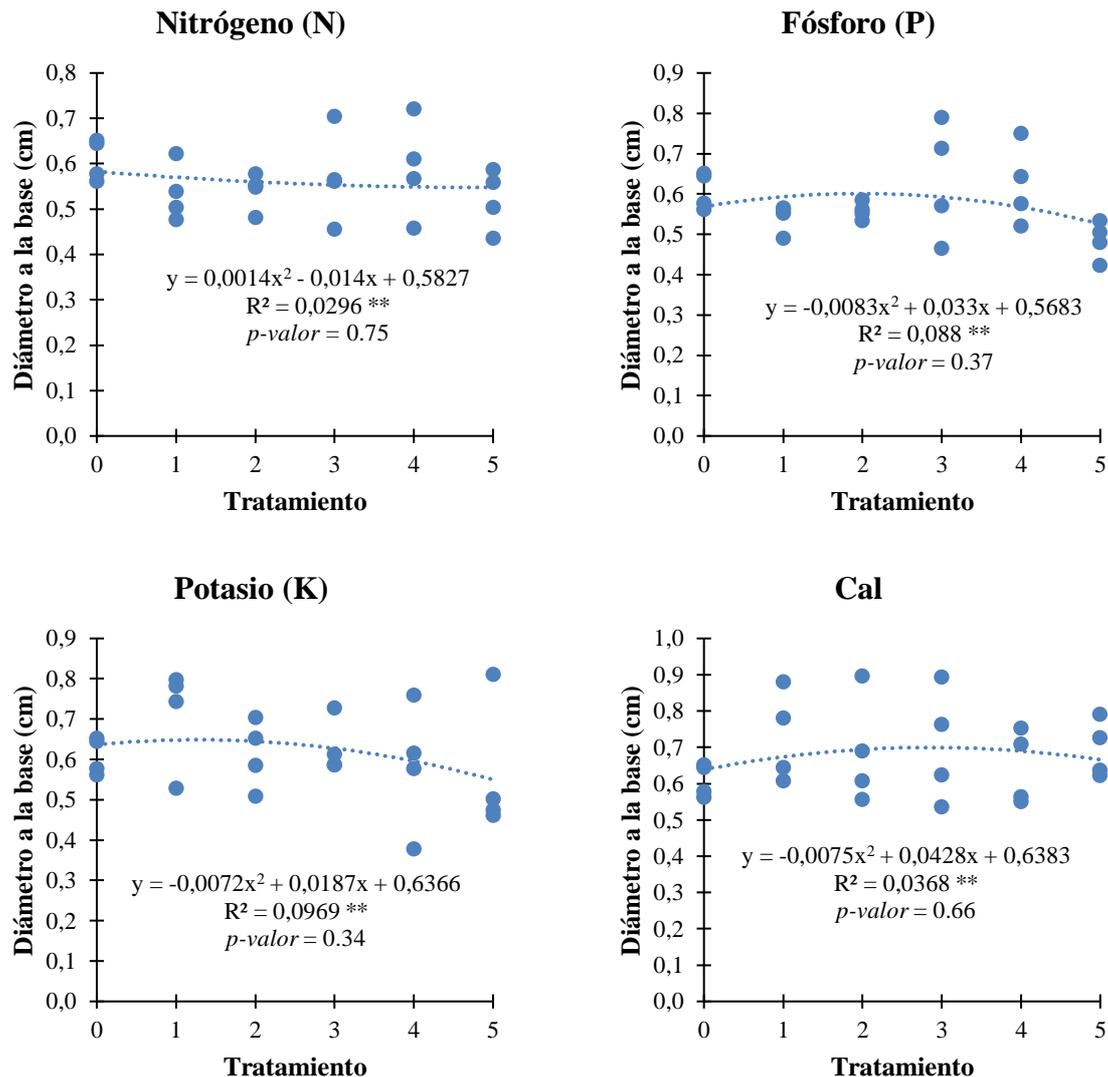


Figura 10. Regresiones polinomiales para el crecimiento en diámetro de plántulas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización nitrógeno (N) [0= testigo 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0= testigo 1 = 0 ,2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0 = testigo, 1 = 0 ,2 =40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] y enmienda con cal [0= testigo 1 = 0 ,2 = 20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm<sup>3</sup>] a los 120 días de evaluación.

### 6.1.3 Diámetro de copa

El diámetro a la base en plántulas de *C. officinalis* a partir de los 45 días después del trasplante mostraron diferencias según la fertilización por cada experimento con N (N40: 23,63 cm), P (P150: 24,49 cm), K (K0: 25,15 cm) y enmienda con cal (Cal20: 26,99 cm), estas diferencias ocurrieron en comparación al tratamiento testigo (T: 9,90 cm) (Figura 11).

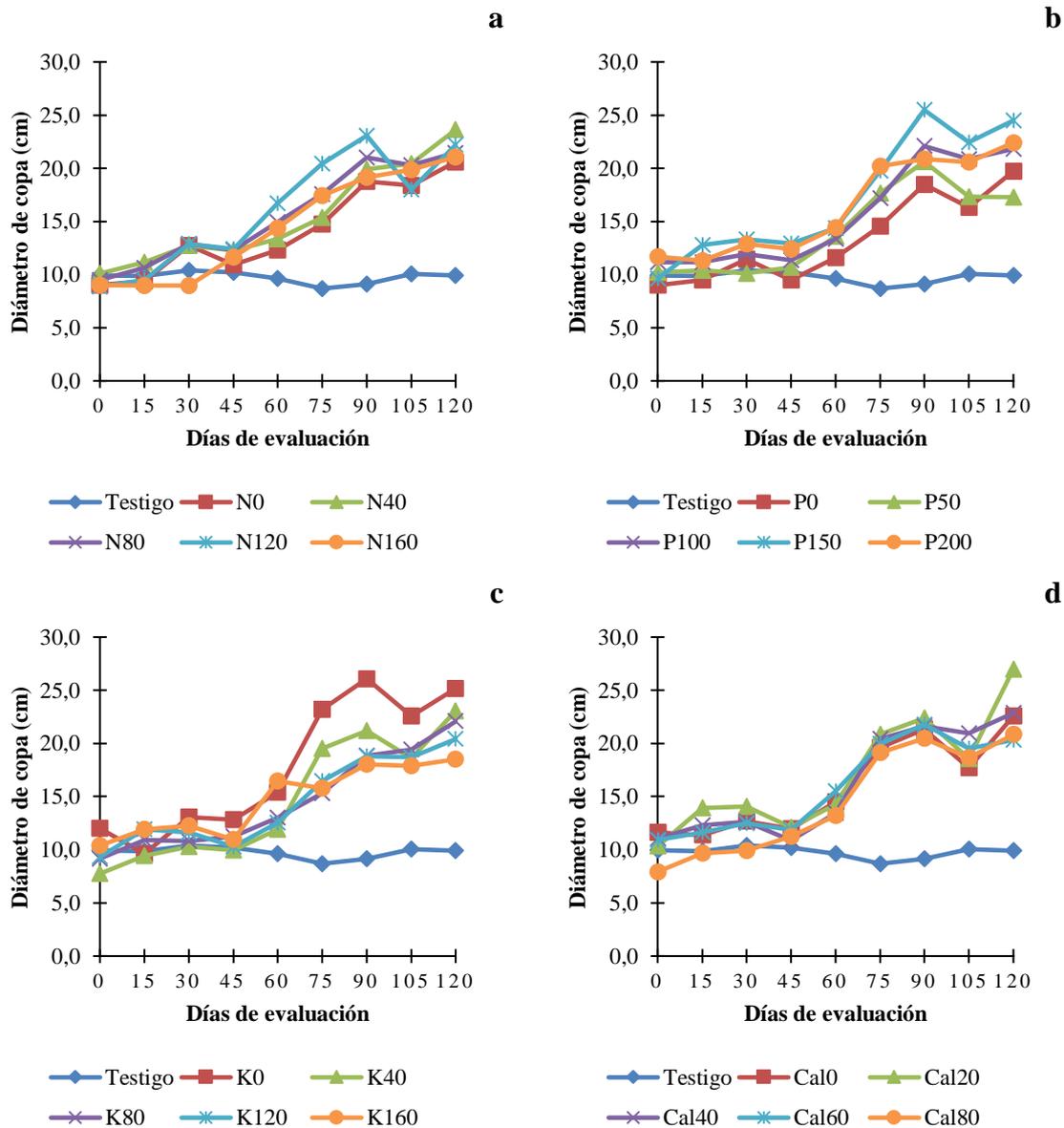


Figura 11. Diámetro de copa (DC) de *Cinchona officinalis* en función de las dosis de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c) y enmienda (d) de cal durante 120 días después del trasplante.

El diámetro de copa de *C. officinalis* mostró diferencias estadísticas con el testigo dentro de los tratamientos con nitrógeno ( $p = 0,0030$ ), fósforo ( $p = 0,0008$ ) y enmienda con cal ( $p = 0,0030$ ), ( $\alpha = 0,05$ ); mientras que, el tratamiento con potasio ( $p = 0,0654$ ) no presentó diferencias significativas (Figura 12).

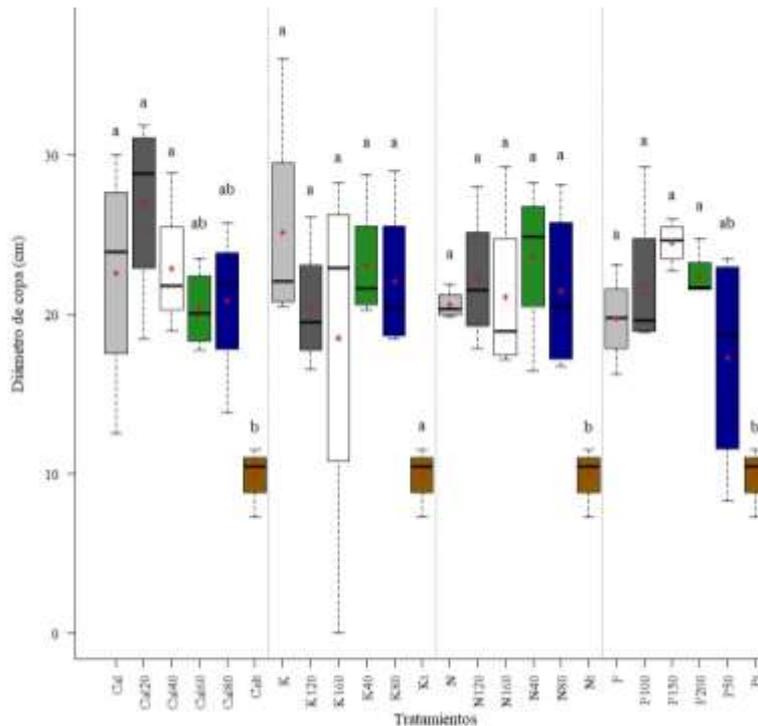
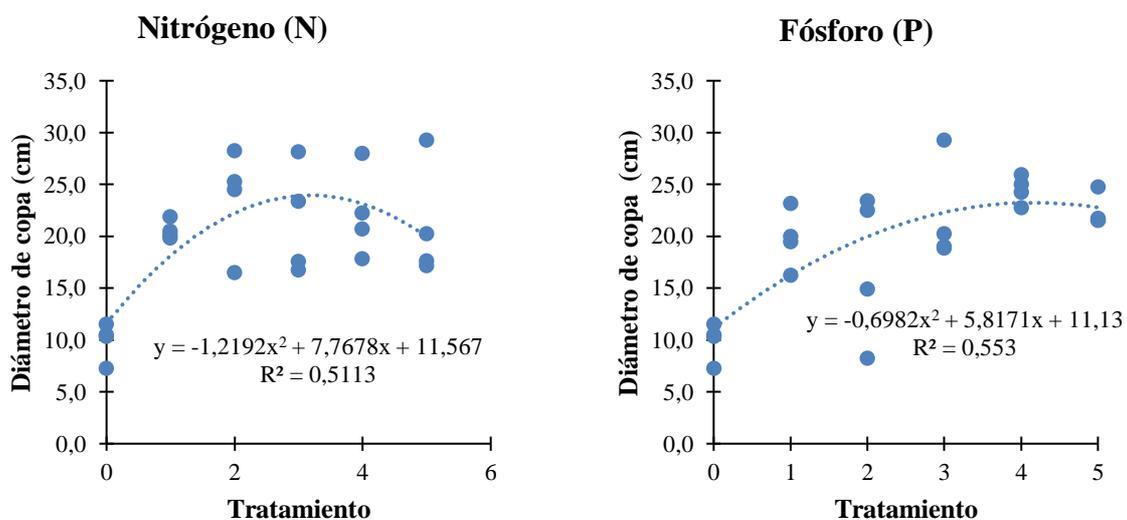


Figura 12. Análisis de variancia de diámetro de copa de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Valores medios (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La relación entre diámetro de copa y la dosis de fertilizante se ajustó en una línea de tendencia polinómica de grado dos, siendo significativa ( $p < 0,05$ ) con dosis de fertilizante con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Cabe destacar que, con el experimento con N, el mayor diámetro de copa alcanzado fue 28,25 cm (N40: 7,28 g/dm<sup>3</sup>). Respecto al P fue de 25,95 cm (P150: 29,27 g/dm<sup>3</sup>), para el K fue de 36,00 cm (K0: 0,00 g/dm<sup>3</sup>). Finalmente, con la enmienda con cal registro 31,85 cm (Cal20:21,71 g/dm<sup>3</sup>) (Figura 13).



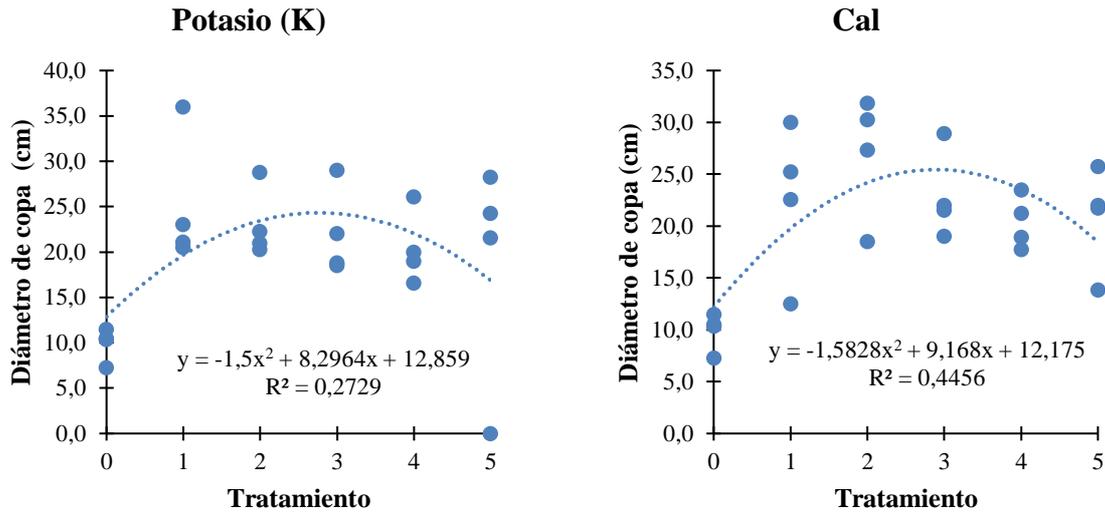
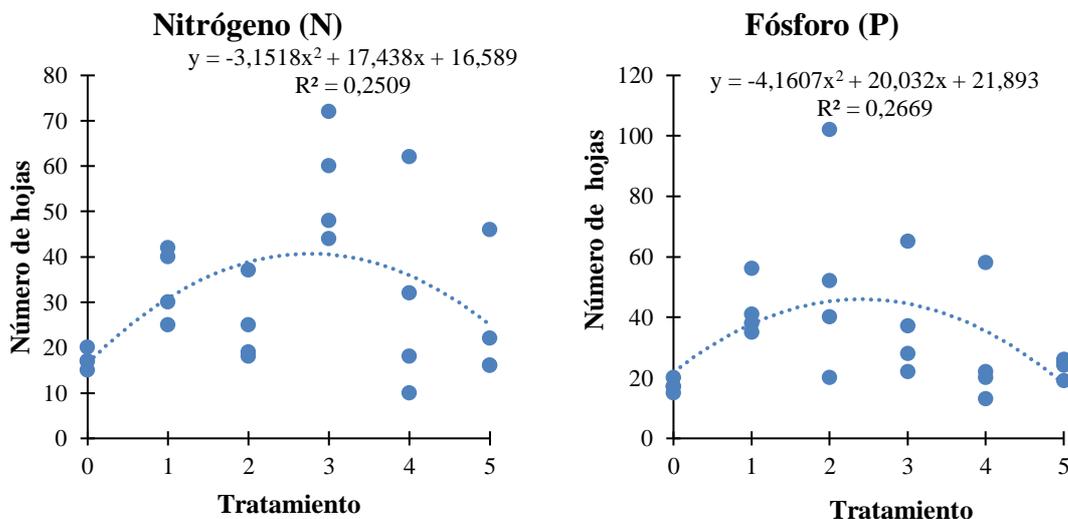


Figura 13. Regresiones polinomiales para el diámetro de copa de plántulas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0= testigo 1 = 0 , 2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0= testigo 1 = 0 , 2 =50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0 = testigo 1 = 0, 2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] y enmienda con cal [ 0= testigo 1 = 0 , 2 =20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm<sup>3</sup>] a los 120 días de evaluación.

#### 6.1.4 Número de hojas

La relación entre el número de hojas de *C. officinalis* se ajustó en una línea de tendencia polinómica de grado dos, siendo significativa ( $p < 0,05$ ) en la dosis de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio y enmienda con cal. Cabe destacar que, en el experimento con N, el número máximo de hojas alcanzado fue de 72 hojas (N80: 14,54 g/dm<sup>3</sup>). Para el P el número máximo de hojas fue de 102 hojas (P50: 9,76 g/dm<sup>3</sup>). En cuanto al K, alcanzó un máximo de 64 hojas (K80: 11,03 g/dm<sup>3</sup>). Finalmente, en la enmienda con cal, el número máximo de hojas fue de 58 hojas (Cal60: 82,29 g/dm<sup>3</sup>) (Figura 14).



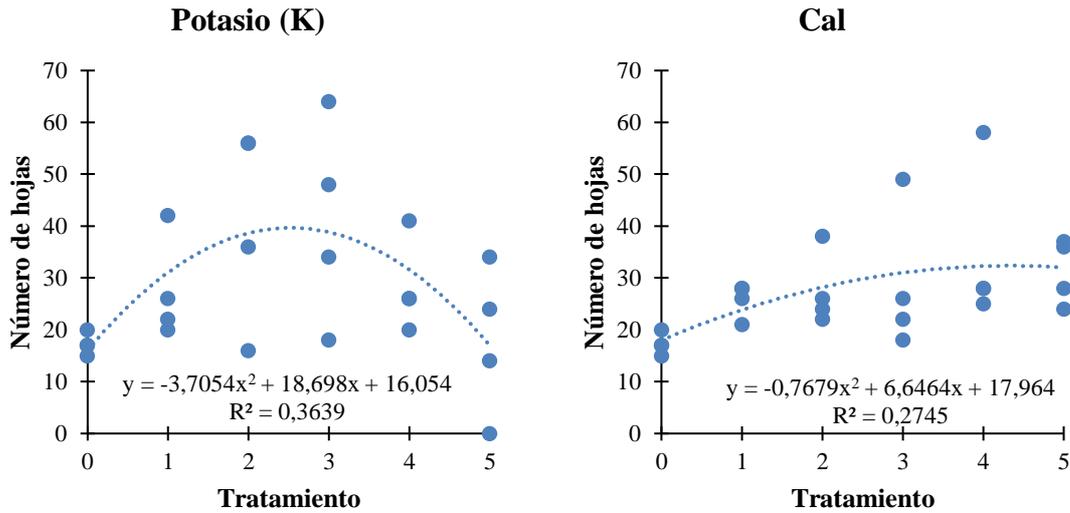
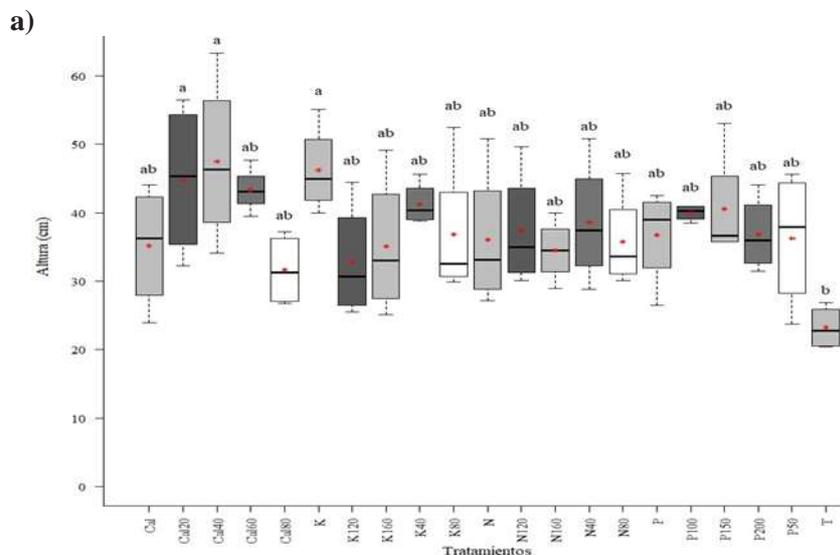


Figura 14. Regresiones polinomiales para el número de hojas de *Cinchona officinalis* bajo niveles de fertilización con nitrógeno (N) [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] fósforo (P) [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 50, 3 = 100, 4 = 150, 5 = 200 mg/dm<sup>3</sup>], potasio (K) [0= testigo 1 = 0 ,2 = 40, 3 = 80, 4 = 120, 5 = 160 mg/dm<sup>3</sup>] y enmienda con cal [0 = testigo 1 = 0 ,2 = 20, 3 = 40, 4 = 60, 5 = 80 mg/dm<sup>3</sup>] a los 120 días de evaluación.

### 6.1.5 Análisis conjunto de los tratamientos

De forma general las plantas de *C. officinalis* registraron un promedio en altura de 37,66 cm y un diámetro a la base promedio de 0,61 cm, los cuales muestran diferencias significativas ( $p = 0,0378$ ) para altura de las plantas respecto al tratamiento testigo (T) (Figura 15a). Entre tanto, para el diámetro a la base según la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0,0420$ ), respecto al tratamiento testigo (Figura 15b). Finalmente, el diámetro de copa promedio de 21,40 cm no muestra diferencias significativas entre los tratamientos, cabe destacar que el tratamiento testigo (T) fue estadísticamente igual entre tratamientos ensayados ( $p = 0,0780$ ) (Figura 15c).



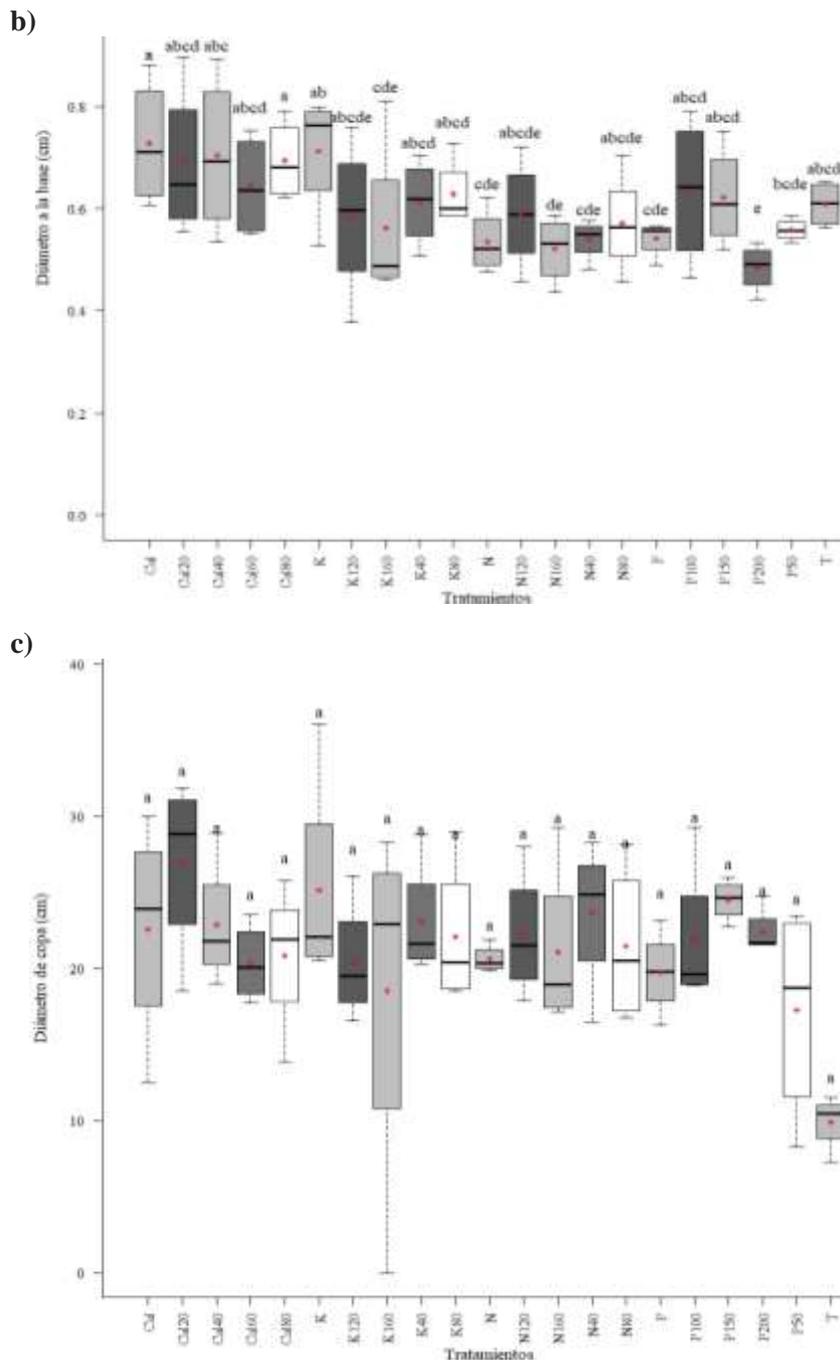


Figura 15. Análisis de variancia de a) altura, b) diámetro a la base y c) diámetro de copa de *Cinchona officinalis* a los 120 días de trasplante en los tratamientos de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda con cal. Valores medios (asterisco rojo) seguidos de letras minúsculas (dosis de fertilización) según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 6.2 Variabilidad genética de *Cinchona officinalis* L. de diferentes procedencias para fines de conservación

Los caracteres evaluados a los 120 días de *C. officinalis* a partir del análisis de variancia presentan valores significativos entre procedencias (1% de grado de libertad) para las variables altura, diámetro a la base y diámetro medio de copa (Tabla 5), indicando que existe diferencia significativa entre procedencias.

El coeficiente de variación experimental (CVe) registra una precisión de los datos entre el 16 y 47%. Entre tanto, la diferencia o desviación absoluta entre el valor real y el valor genético estimado ( $r_{\hat{a}a}$ ) muestra entre el 0,41 y 0,92 de exactitud de la estimación, por tanto, alta confiabilidad de los valores estimados.

El coeficiente de variación genética (CVgp) fue alto (6 a 15 %) y el coeficiente de determinación del efecto ambiental entre parcelas ( $c_{\text{parc}}^2$ ) fue bajo, lo que indica una escasa diferencia ambiental entre parcelas y no infieren en la estimación de los parámetros genéticos.

La heredabilidad en nivel de media de procedencias ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) estimada a los 120 días presentaron valores medios a altos (0,17 a 0,86) en todos los caracteres, sugiriendo un buen control genético especialmente de la variable altura de plantas (0,86).

Tabla 5. Estimación de variancias y parámetros genéticos para los caracteres altura (ALT), diámetro a la base (DAB), diámetro medio de copa (DMC) y número de hojas de *Cinchona officinalis*, a los 120 días de edad.

| Estimativas                    | ALT (cm)  | DAB (mm)  | DMC (m)   | Hojas (N)          |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| $\hat{\sigma}_g^2$             | 31,8520   | 0,0014    | 6,2349    | 5,4103             |
| $\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2$ | 6,5777    | 0,0003    | 1,0140    | 4,1794             |
| $\hat{\sigma}_e^2$             | 38,5820   | 0,0091    | 16,2324   | 249,1107           |
| $\hat{\sigma}_f^2$             | 77,0118   | 0,0109    | 23,4813   | 258,7005           |
| $\hat{h}_g^2$                  | 0,41±0,20 | 0,13±0,11 | 0,26±0,16 | 0,02±0,04          |
| $c_{\text{parc}}^2$            | 0,0854    | 0,0309    | 0,0431    | 0,0161             |
| $\hat{h}_{mp}^2$               | 0,86      | 0,59      | 0,77      | 0,17               |
| $r_{\hat{a}a}$                 | 0,9276    | 0,7715    | 0,8795    | 0,4167             |
| Cve (%)                        | 30,98     | 16,07     | 47,79     | 45,11              |
| CVgp (%)                       | 15,80     | 6,24      | 12,62     | 7,75               |
| $\hat{m}$                      | 35,73     | 0,60      | 19,79     | 30,0               |
| LRT ( $\chi^2$ )proc           | 22,05**   | 4,19*     | 11,22**   | 0,26 <sup>ns</sup> |

$\hat{\sigma}_g^2$ : variancia genética entre procedencias;  $\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2$ : variancia ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_e^2$ : variancia residual (ambiental + no aditiva);  $\hat{\sigma}_f^2$ : variancia fenotípica individual;  $\hat{h}_g^2$ : heredabilidad individual sentido restricto (efectos genotípicos totales de procedencias);  $c_{\text{parc}}^2$ : coeficiente de determinación de los efectos de parcela;  $\hat{h}_{mp}^2$ : heredabilidad media de procedencias;  $r_{\hat{a}a}$ : exactitud de la selección de

procedencias;  $\hat{m}$  media general del experimento; LRT: test del cociente de verosimilitud;  $\chi^2$  chi-cuadrado. \*\*significativo a 1 % (6,63); \*significativo a 5 % (3,84); ns no significativo.

### 6.3 Difundir los resultados de la investigación a los actores sociales interesados, para conocimiento y aplicación

La difusión de los resultados de la presente investigación se realizó a los actores interesados en varios eventos de investigación, mismas que se detallan a continuación:

- Socialización de los resultados del Trabajo de Integración Curricular a los actores interesados en el campo forestal, durante la presentación de los proyectos de integración de saberes, organizado por la carrera de Ingeniería Forestal, mediante un poster científico, en los exteriores del aula magna de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Loja, el viernes 01 de marzo de 2024 (Figura 16).
- Elaboración de un póster para la difusión de los resultados del Trabajo de Integración Curricular (TIC).
- Elaboración y publicación del documento final del Trabajo de Integración Curricular (TIC).

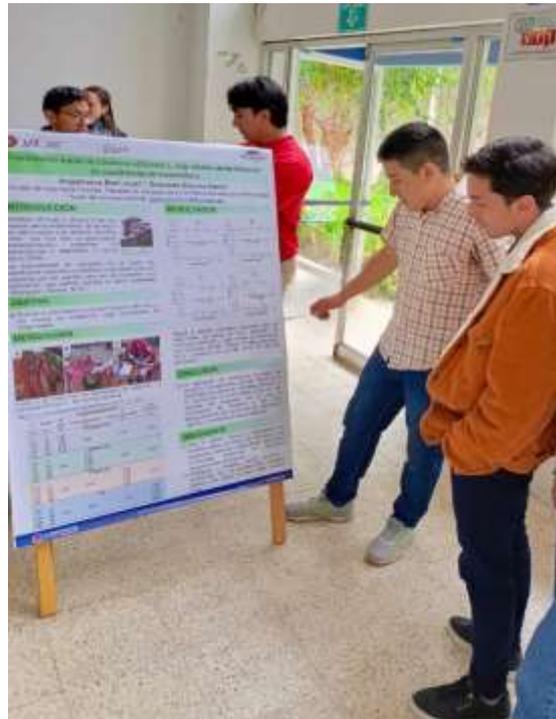


Figura 16. Difusión de los resultados de investigación mediante poster científico.

## 7. Discusión

### 7.1 Evaluación del crecimiento inicial de *Cinchona officinalis* L. en niveles de fertilización bajo condiciones de invernadero

#### 7.1.1 Nitrógeno

El nitrógeno (N) tiene un papel esencial en las plantas, forma parte de las moléculas de aminoácidos y proteínas, además participa en procesos como la fotosíntesis, respiración, diferenciación celular, crecimiento y la formación vegetativa de las plantas, promueve el desarrollo de yemas florales y fructíferas (Borges et al., 2006); por tanto, son exigidos por los vegetales en cantidades determinadas que varían de acuerdo con la especie, estado de desarrollo y a la exposición a estrés ambiental o interacciones ecológicas (Kerbaux, 2008).

En el anterior contexto la adición de nitrógeno en cuatro concentraciones mostró que el tratamiento N120 (21,82 g/dm<sup>3</sup>) fue el que presentó mayor crecimiento en altura (16,38 cm) y en cuanto al diámetro a la base fue el tratamiento N160 (29,09 g/dm<sup>3</sup>) con un incremento de 0,12 cm a los 120 días, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y con el testigo. Resultados superiores al obtenido por Freiburger et al. (2014) quienes en *Jatropha curcas* con dosis máxima de N160 (0,16 g/dm<sup>3</sup>) obtuvieron una media de 11,46 cm de altura, que promovió el crecimiento de las plantas.

Además, el análisis inicial de suelo determinó un contenido de nitrógeno de 0,0048 g/dm<sup>3</sup> que es caracterizado como bajo (Anexo 3), y pH de 6,13 (ligeramente ácido), por tanto la adición y absorción fue máxima; que según Kerbaux (2008) no se presentan limitaciones en una faja de pH entre 6 y 7. Entre tanto, Gaspar y Tejerina (2007) manifiestan que el nitrógeno es considerado como fundamental para el crecimiento de las plantas, dado que, al ser absorbido, se acumula en forma de nitrato en los tejidos foliares, impulsando la síntesis de hormonas esenciales para el crecimiento. Lo cual es corroborado por la cantidad de hojas y estado sanitario observado en los individuos de *C. officinalis*.

Por otra parte, la deficiencia de nitrógeno lleva a un crecimiento reducido y menor expansión foliar (De Bang et al., 2020) y ratificado por Khanzada et al. (2016) quienes determinan que la escasez de este macronutriente ralentiza el crecimiento, reduce el tamaño de la planta. Además, desempeña un papel crucial en la producción de masa seca de la parte aérea de plántulas.

#### 7.1.2 Fósforo

El fósforo (P) es el segundo macronutriente más importante después del nitrógeno, pero su limitada disponibilidad en el suelo puede dificultar el crecimiento de las plantas, al ser un

elemento difícil de asimilar, suele asociarse a bacterias u hongos facilitan solubilización (Müller y Harrison, 2019).

En el anterior contexto la adición de fósforo en cuatro concentraciones mostró que el T9 (P150: 29,27 g/dm<sup>3</sup>) mostró mayor incremento en altura (16,50 cm) a los 120 días de evaluación, mientras que en el diámetro a la base la mayor media de crecimiento se dio en el T8 (P100: 19,51 g/dm<sup>3</sup>) con 0,17 cm, valores superiores a los obtenidas por Freiburger et al. (2014) en dosis de 0,57 g/dm<sup>3</sup> de P que fue la que registró mayor crecimiento inicial de las plantas de *Jatropha curcas*. Soto et al (2022) encontraron que la cantidad de fósforo óptima oscila entre 30 y 100 mg dm<sup>3</sup> en plantas de *Corymbia citriodora* de acuerdo a las características evaluadas

El fósforo es crucial para el desarrollo temprano de las plantas, ya que facilita un crecimiento rápido de las raíces, tallos y hojas en las primeras etapas, cuando la planta absorbe fósforo, en forma de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> o HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, este elemento cumple funciones esenciales dentro de la planta (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [Intagri], 2017), mediante este estudio la fertilización con fósforo aumentó el porcentaje de fósforo disponible en el suelo para la absorción de *C. officinalis*.

Además, el análisis inicial de suelo determinó que el contenido de fósforo es de 0,015 gr/dm<sup>3</sup>, que es caracterizado como medio (Anexo 3), este nivel de fósforo es adecuado para muchas plantaciones, pero podría ser necesario un monitoreo y ajuste posterior según las necesidades específicas. Por otra parte, Munera y Meza (2012) manifiestan que el fósforo es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, las funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suplemento de fósforo para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima, por otra parte los efectos más significativos de la deficiencia de fósforo en las plantas es la reducción del crecimiento de las hojas y la disminución en la cantidad de ellas (Dussan et al., 2016).

### **7.1.3 Potasio**

El potasio (K) juega un papel fundamental en la salud y resistencia de las plantas, protegiéndolas de estrés biótico (enfermedades y plagas) y abiótico (sequía, salinidad, temperaturas extremas y anegamiento), además regula el desarrollo de las plantas (Rawat et al., 2016). La falta de este macronutriente provoca raíces poco desarrolladas, crecimiento lento, baja resistencia a las enfermedades. En el suelo, la mayor parte del potasio se encuentra en forma insoluble, mientras que solo una pequeña cantidad está disponible para las plantas en forma soluble. El limo, la arcilla y la arena, componentes importantes del suelo, son las principales reservas de potasio (Rawat et al., 2016).

En este contexto la adición de potasio en cuatro concentraciones mostró que el tratamiento K0 (0 g/dm<sup>3</sup>) fue el que presentó mayor incremento en altura y diámetro a la base con 23,19 cm y 0,23 cm a los 120 días en comparación a los demás tratamientos con K y el tratamiento testigo que tuvo un incremento en altura de 1,30 cm y de 0,08 cm de diámetro. Favare (2010) encontró una respuesta similar en un experimento con plántulas de *Tectona grandis*, donde el aumento en las dosis de K, resultó en un crecimiento lineal negativo tanto en altura como en diámetro. Por otro lado, Rosa (2008) determina que la ausencia de K no afecta el crecimiento de las plántulas de *Calophyllum brasiliense* en un experimento realizado en solución nutritiva utilizando la técnica de omisión de nutrientes.

El K es un elemento crucial para el desarrollo saludable de hojas, una deficiencia de K puede hacer que las plantas sean más susceptibles a plagas y enfermedades (Valencia, 1992). El contenido de potasio inicial en el suelo fue de 0,039 g/dm<sup>3</sup> que es considerado bajo, por tanto, la adición constituye un aporte crucial para la fotosíntesis, la regulación del agua y la resistencia a enfermedades de las plantas, mediante la adición de fertilizante a base de potasio (K) aumentó el nivel a un rango adecuado (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [Intagri], 2017).

#### **7.1.4 Cal dolomítica**

Sadeghian (2021) menciona que el uso de cal en suelos ácidos mejora la efectividad de los fertilizantes en las plantaciones. Esto se debe a que optimiza las condiciones físicas y químicas del suelo, creando un entorno más favorable para el crecimiento de las raíces. Una mayor exploración del suelo por parte de las raíces permite que la planta absorba mejor los nutrientes de los fertilizantes aplicados, lo que resulta en un aumento en los rendimientos de la plantación y en la eficiencia de los fertilizantes. Esto indica que corregir el suelo podría ser una práctica efectiva para estimular el crecimiento de la especie.

El crecimiento en altura que obtuvo la mayor media a los 120 días de evaluación se dio en las plantas del T18 (Ca140: 13,09 g/dm<sup>3</sup>) con un incremento de 24,90 cm, mientras que en el diámetro se obtuvo la mayor media de crecimiento en el T4 (N120: 5,46 g/dm<sup>3</sup>). Según el análisis del suelo previo a la aplicación de los tratamientos fue ligeramente ácido (6,13), lo que indica que puede haber cierta disponibilidad de aluminio, pero no en exceso. La mayoría de las especies crecen mejor en un rango de pH entre 6,0 y 7,0.

## **7.2 Estimación de la variabilidad genética de *Cinchona officinalis* L. de diferentes procedencias para fines de conservación.**

En relación con los valores de heredabilidad media obtenidos en el estudio, es relevante señalar que estos indican una alta capacidad de transmisión de características de padres a hijos,

lo que indica un notable potencial para optimizar la selección de individuos dentro de la especie, esto es consistente con lo planteado por Toro et al. (2013), quienes destacan que la heredabilidad es un parámetro crucial en los programas de mejoramiento genético. Así mismo Ruales et al. (2007) manifiestan que la heredabilidad se considera el parámetro más relevante al implementar un programa de mejora genética, ya que evalúa la influencia relativa de los factores genéticos y ambientales en las características cuantitativas.

De acuerdo con Resende (2002) los valores de heredabilidad se clasifican de  $< 0,15$  como bajo, de  $0,15$  a  $0,50$  intermediarios y  $\geq 0,50$  alta. En este contexto el coeficiente de heredabilidad individual ( $\hat{h}_g^2$ ), según la clasificación es intermedia ( $\hat{h}_g^2$  de  $0,15$  a  $0,50$ ), alta heredabilidad en nivel de media de progenies, posibilita el mejoramiento genético vía selección. En cuanto a la conservación, las heredabilidades indican que las procedencias poseen un potencial evolutivo que les permite adaptarse a cambios climáticos.

Por otra parte, la estimación de la heredabilidad media entre progenies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ), aunque varió según los caracteres y procedencias, mostró valores altos  $\hat{h}_{mp}^2$ :  $0,86$  lo que sugiere un control genético significativo y la posibilidad de lograr mejoras genéticas en las tres procedencias conservadas *ex situ* a través de la selección entre progenies. De acuerdo con la clasificación de Stanfield (1971), se considera que los caracteres presentan una alta heredabilidad ( $\hat{h}_{mp}^2$ ), cuando este valor es superior a  $0,50$ .

El coeficiente de variación experimental (CVe) para las tres procedencias fluctuó entre  $16,07\%$  y  $30,98\%$  en los caracteres de diámetro a la base y altura, valores que se consideran de intermedia a alta según Pimentel (1990). Por otra parte, la exactitud, que mide la relación entre el valor genético verdadero y el estimado o el grado de confiabilidad de los resultados, mostró valores altos ( $0,93$ ) en las procedencias según la clasificación de Resende (2002), lo que indica una alta precisión en la evaluación de la variación genética basada en la variación fenotípica observada en la variable.

## 8. Conclusiones

- El desarrollo de *Cinchona officinalis* en altura fue variado bajo diferentes fuentes de macronutrientes ensayados destacándose, el tratamiento con potasio (K0: 0 gr/dm<sup>3</sup>) y fósforo (P150: 29,27 gr/dm<sup>3</sup>) registrando 23,19 cm y 16,95 cm.
- El crecimiento inicial de *C. officinalis* no registro diferencias significativas a los 120 días de evaluación en cuanto al diámetro a la base al aplicar diferentes niveles de fertilización.
- La enmienda del suelo con cal dolomítica mostró un efecto favorable en el crecimiento inicial de *C. officinalis*, ya que no solo mejoró la disponibilidad de nutrientes, sino que también favoreció el crecimiento y calidad de las plantas.
- Las procedencias de *C. officinalis* registran variabilidad genética en los caracteres morfológicos y aportan a las estrategias de conservación y mejoramiento genético
- La socialización de información relacionada con la silvicultura y variabilidad genética de procedencias de *C. officinalis* aporta a las estrategias de conservación *ex situ* de la especie.

## 9. Recomendaciones

- Continuar el monitoreo de crecimiento de *C. officinalis* en condiciones de invernadero con el propósito de identificar cambios morfológicos en especies forestales.
- Analizar la biomasa seca y radicular de *C. officinalis*, con la finalidad de identificar la absorción de nutrientes.
- Establecer las plantulas de *C. officinalis* en condiciones de campo para reforzar las estrategias de conservación, mejorar el material genético y apoyar futuras investigaciones sobre la especie.
- Colectar frutos de varias procedencias y matrices con la finalidad de identificar la variabilidad genética y el efecto de la aplicación con fertilizantes, así como el análisis de variables climáticas para evaluar la adaptabilidad de *C. officinalis* al cambio climático.

## 10. Bibliografía

- Acosta, M. (1989). *Cinconas* del Ecuador. Editorial del Ecuador, Quito.
- Aguirre, N.; L. Ordóñez y R. Hofstede. 2012. *Comportamiento inicial de especies forestales plantadas en el Páramo*. <https://acortar.link/BreAxs>
- Aguirre, Z. (2015). Biodiversidad ecuatoriana estrategias, herramientas e instrumentos para su manejo y conservación. (1. ed). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.133 p.
- Alía, R., Agúndez, D., Alba, N., González Martínez, S., y Soto, A. (2003). Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas*, XII (3), 1-7.
- Alvarado, A y Raigosa, J. (2012). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. *Agronomía Costarricense*, 36 (1), 113-115. <https://n9.cl/3uf9n>
- Andersson L (1998) A revision of the genus *Cinchona* (RubiaceaeCinchoneae). Mem New York Bot Gard 80:1-75
- Andersson, L y Taylor, C. (1994). “Rubiaceae-Cinchoneae-Coptosapelteae”. En: Harling G, Andersson L (Eds.), Flora of Ecuador no 50. Council for Nordic Publications in Botany. Museo Botánico. Dinamarca, Pág. 114.
- Andrades, M., y Martínez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de La Rioja.
- Aymard, G. (2019). Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43, 234-241.<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1079>
- Barrios, D., Fernández, V., Chávez, E., y Rodríguez, H. R. (2009). *Manejo de la Nutrición y Fertilización en el cultivo del Nogal Pecanero*. Temas Modernos de Nutrición Vegetal, 176
- Borges, A., R. Correa, e A. Almeida. (2006). Doses e fontes de nitrogênio em fertirrigação no cultivo do maracujá-amarelo. *Rev. Bras. Frutic.* 28:301-314. 10.1590/S0100-29452006000200033
- Buitrón, X. (1999). Ecuador: Uso y comercio de plantas medicinales situación actual y aspectos importantes para su conservación. TRAFFIC Internacional, Cambridge. 101 p <https://www.traffic.org/site/assets/files/9729/ecuador-uso-y-comercio-de-plantas-medicinales.pdf>
- Cargnelutti, A., y Storck, L. (2007). Evaluation statistics of the experimental precision in corn cultivar trials. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17-24.

- Carneiro J., López, P., Torres, R. y Euclides, R. (2004). Avaliação de métodos de estimação de componentes de variância utilizando dados simulados [Evaluación de métodos de estimación de componentes de varianza utilizando datos simulados]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(2), 328-336. <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v33n2/21244.pdf>
- CATIE. (1994). Curso nacional sobre identificación, selección y manejo de rodales semilleros. Bajo Verapaz Guatemala
- Ciriello, V., Guerrini, I. A., y Backes, C. (2014). Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de guanandi. *CERNE*, 20(4), 653–660. <https://doi.org/10.1590/01047760201420041445>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y/o progenies.
- Cóndor, E., de Oliveira, B., Loayza, K., y Reyna, V. (2009). Estudio químico de los tallos de *Cinchona pubescens* Vahl. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(1), 54-63. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2009000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2009000100008&lng=es&tlng=es).
- Cornelius, J., y Ugarte, L. (2010). *Introducción a la genética y domesticación forestal para la agroforestería y silvicultura*. Lima, Perú. Centro mundial para la agroforestería (ICRAF).
- Crawford, M. (2016). *The Andean wonder drug: Cinchona bark and imperial science in the Spanish Atlantic 1630-1800*. The University Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA. 336 p
- Cruz, C. y Souza, P. (2006). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. [Modelos biométricos aplicados al mejoramiento genético]. Viçosa-Brasil: Universidad Federal de Viçosa. 584 p
- Cuvi, N. (2009). *Ciencia e imperialismo en América Latina: La Misión de Cinchona y las estaciones agrícolas cooperativas*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona Departamento de Filosofía. <https://ddd.uab.cat/record/63857>
- De Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., y Schjoerring, J. K. (2020). *The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants*. *New Phytologist*. doi:10.1111/nph.17074
- Degen, B. y Sebbenn, AM (2014). Genética y Bosques Tropicales. *Manual de silvicultura tropical*, 1–30. doi:10.1007/978-3-642-41554-8\_75-1
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- Donoso, P., Navarro, C., Soto, D., Gerding, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B., y Sanhueza, M. (2015). Fertilización de plantaciones forestales de especies nativas
- Dussan S, Villegas D, Miranda D. (2016). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. ICA Palmira II en fase de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10 (1): 40–52. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4277>
- Eras V., Minchala J., Moreno J., Yaguana M., Sinche M. y Valarezo C. (2019). Estructura, Composición Florística y Fisiología Reproductiva de *Cinchona officinalis* L. en la provincia de Loja, Laboratorio de Micropropagación Vegetal. Universidad Nacional de Loja. Ecuador: 160 p.
- Escudero, J. (2011). Varianza fenotípica: componentes genéticos y ambientales. <https://acortar.link/xQXPjw>
- Espitia, E., Martínez, E., Villaseñor, H. y Hortelano, R. (2022). Variabilidad genética y criterios de selección del rendimiento y los componentes en trigos harineros de temporal. *Rev.Mex. Cienc. Agrícola*.
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. FAO. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- FAO. (2007) *Conservación y manejo de los recursos genéticos forestales*. 110p. 978-92-9043-717-8
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. FAO, Roma.
- FAO. (2014). *Mejoramiento Genético Forestal*. <https://n9.cl/sekes>.
- Favare, L. (2010). Doses crescentes de nitrogênio, fósforo, potássio e diferentes níveis de saturação por bases em relação ao desenvolvimento e nutrição mineral de Teca (*Tectona grandis* L. F.), sob condições de vaso. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.
- Favare, L. G. D., Guerrini, I. A., y Backes, C. (2012). Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um Latossolo de textura média. *Ciência Florestal*, 22, 693-702.
- Fundación Hogares Juveniles Campesinos. (2002). *Manual agropecuario, Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente*. Quebecor World Bogotá, S, A
- Freiberger, M., Guerrini, I., Galetti, G., Fernandes, D., y Corrêa, J. (2013). Early growth and nutrition of cedar (*Cedrela fissilis* Vell.) as affected by nitrogen rates. *Revista Árvore*, 37, 385-392. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000300001>

- Freiberger, M., Guerrini, I, Castoldi, G. y Pivetta, L. (2014). Fertilizante fosfatado en el crecimiento inicial y nutrición de plántulas de *Jatropha*. *Revista Brasileña de Ciencias del Suelo*, 38 (1), 232–239. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100023>
- Flores, M, y Acosta, L. (2013). Conservación de los Recursos Genéticos de la agrobiodiversidad. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 86. [http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/rciii/v1n1/v1n1\\_a12.pdf](http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/rciii/v1n1/v1n1_a12.pdf)
- Gaspar, L., y Tejerina, W. (2007). *Fertilización del cultivo de maíz*. <http://www.agroestrategias.com/pdf/Cultivos%20-20Fertilizacion%20de%20Maiz.pdf>
- Gernandt, D. (2017). *Cinchona officinalis* L. Colecciones Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México. (en línea). <http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PV450760>.
- González, M., Eras, v., Moreno, J., Valarezo, C. (2018). Comportamiento inicial de cuatro especies forestales nativas de bosque seco, en un huerto semillero en la Estación Experimental Zapotepamba, provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 8(1):1-16.
- González, M., Murillo, R., De-Melo Virginio, E., y Ávila-Arias, C. (2018). Influencia de factores biofísicos y de manejo en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. en asocio con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15(36), 46-58.
- González, E. (2020). Regiones biogeográficas del género *Cinchona* L. (Rubiaceae-Cinchoneae). vol. 16, núm. 1, 2020. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/433/4332840007/index.html>
- Gutiérrez, A., Jaramillo, N. y Z. Aguirre (2022). Especies Endémicas que se conservan en el Jardín Botánico “Reinaldo Espinosa”. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. <https://jbreinaldoespinosa.files.wordpress.com/2020/06/especies-endemicas.pdf>
- Herbarium. (2018). Quina gris. *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae). [https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Cinchona\\_officinalis.htm](https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Cinchona_officinalis.htm)
- Hernández, A y Rubilar R. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el desarrollo y fenología de brotes de setos de *Pinus radiata*. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 53-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002012000100006>
- Infostat—Estadístico Software. (2020). <https://www.infostat.com.ar/?lang=es> (accedido en 30 abril 2020).
- Intagri. (2017). *Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura*. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

- <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. "Informe anual de condiciones meteorológicas." 2021. INAMHI. <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Hemhart, V. (1998). *Mejora Genética Forestal Operativa*. Valdivia.
- Jarvis, D., Myer, L., Klemick, H., Guarino, L., Smale, M., Brown, A., Hodgkin, T. (2000). *A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm*. Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Jiménez, F. (1993). *Viveros forestales para producción de plantas a pie para repoblación*. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_06.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_06.pdf)
- Khanzada, A.; Ali, M.; Hussain, B.; Rajput, A.; Hussain, F. and Ali, U. (2016). Evaluating right timing splitting nitrogen application rates for enhanced growth and yield of sunflower. *Euro Academ. Res.* 4(7):5986-6007.
- Kerbaui, G. B. (2008). *Fisiología vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Landis, T. (1989). Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D.; Tinus R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. *The Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agric. Handbbk.674*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, *Forest Service*: 1-67.
- Larreátegui, D. y Lafuente, L. (2013). Revisión histórica medica: El árbol de quina, 400 años de su descubrimiento en el Ecuador. *Rev. Metro Ciencia*; 21 (1): 01-08. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ecuador/2013/equ-6708/equ-6708-142.pdf>
- Lieber, D. (1996). *Fertilidad de suelos*. Universidad Estatal A Distancia.
- López, C., y Toro, M. (2007). Fundamentos de la mejora genética en acuicultura. En P. Martínez y A. Figueras (Eds) *Genética y genómica en acuicultura* (p. 155-182). Madrid-España: Editorial Paraninfo.
- Martínez, B. (2013). *Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios*. Santiago de Chile, Chile. [https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2013/12/guia-buenas-practicas\\_ppf.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2013/12/guia-buenas-practicas_ppf.pdf)
- McCalley, D. (2002). Analysis of the Cinchona alkaloids by high-performance liquid chromatography and other separation techniques. *Journal of chromatography. A*, 967(1), 1–19. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)01557-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)01557-6)
- Mendoza, H; Ramírez P y Jiménez, L. (2004). *Rubiaceae de Colombia: Guía ilustrada de géneros*. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 351 p. <http://www.bionica.info/biblioteca/MendozaRubiaceaeColombia.pdf>

- Mengel, K., y Kirkby, E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>
- Mesa, V., Quinto, Q, A., y Blair, T. (2013). *Cuantificación de quinina en extractos de Cinchona pubescens y evaluación de la actividad antiplasmodial y citotóxica*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(6), 592-602. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85629226004.pdf>
- Müller, L., y Harrison, M. (2019). Phytohormones, miRNAs, and peptide signals integrate plant phosphorus status with arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current opinion in plant biology*, 50, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.05.004>
- Navarro, G., Navarro, S. (2023). *Fertilizantes. Química y acción*. Ediciones. Mundi -Prensa. Madrid-España.
- Munera, G., y Meza, D. (2012). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Programa de tecnología química. Laboratorio de análisis de suelos, 13-15.
- Paniagua., N., Bussmann, R. y Romero, C. (2020). *Cinchona officinalis L. Cinchona pubescens Vahl* Rubiaceae. *Ethnobotany of the Andes*, 1–6. doi:10.1007/978-3-319-77093-2\_72-1
- Pimentel, F. (1990). *Curso de Estadística Experimental*. Piracicaba, Brasil: Librería Nobel S.A
- Raheem I, Goodman S, Jacobsen E. (2004). Catalytic asymmetric total syntheses of quinine and quinidine. *J Am Chem Soc* 126: 706 – 707.
- Ramírez, L., y Egaña, B. (2003). *Guía de conceptos de genética cuantitativa*. España: Universidad Pública de Navarra
- Rawat, J., Sanwal, P. y Saxena, J. (2016). El potasio y su papel en la agricultura sostenible. *Microorganismos solubilizantes de potasio para la agricultura sostenible*, 235–253. doi:10.1007/978-81-322-2776-2\_17.
- Reich, P. B., Oleksyn, J., y Wright, I. J. (2009). Leaf phosphorus influences the photosynthesis-nitrogen relation: a cross-biome analysis of 314 species. *Oecologia*, 160(2), 207–212. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1291-3>
- Reis, E., Reis, M., Sedyama, T. y Cruz, C. (2002). Estimativa de variâncias e herdabilidades de algumas características primárias e secundárias da produção de grãos em soja (*Glycine max (L.) Merrill*) [Estimación de varianza y heredabilidad de algunas características primarias y secundarias de la producción de granos de soja (*Glycine max (L.) Merrill*).]. *Ciência e Agrotecnologia*, 26(4), 749–761.
- Resende, M. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasil: Embrapa Informação Tecnológica.

- Resende, MDV (2016) Selegen-REML/BLUP: una herramienta útil para el fitomejoramiento. *Mejoramiento de cultivos y biotecnología aplicada*, 16, 330-339. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- Rimieri, P. (2017). La diversidad genética y la variabilidad genética: dos conceptos diferentes asociados al germoplasma y al mejoramiento genético vegetal. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 28(2), 7-13.
- Rivas, M. (2001). Conservación in situ de los recursos fitogenéticos. A. Berreta y M. Rivas Coords. *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur*. PROCISUR. Montevideo, Uruguay, 63-76.
- Rodríguez y Álvarez. (2010). *Nutrición y fertilización de las plantaciones forestales*. gráfica LOM, Miguel de Atero 2888, Santiago, Chile.
- Rosa, G. (2008). *Efeito da ausência de nutrientes na produção de mudas de guanandi (Calophyllum brasiliense Cambèss)*. Monografía (Trabalho de Conclusão De Curso)- Associação Cultural Educacional de Garça, Garça, 35p.
- Ruales, F., Manrique, C., y Cerón, M. (2007). *Fundamentos en mejoramiento animal*. Medellín: L. Vieco e Hijas Ltda.
- RStudio Equipo. *RStudio: integrado Desarrollo para R*; PBC: Bostón, MALO, EE. UU, 2023; Disponible en línea: <http://www.rstudio.com/>.
- Sadeghian, S. (2021). Acidez del suelo para el cultivo de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 95–99). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_6](https://doi.org/10.38141/10791/0014_6) ORCID Sadeghian, S. <https://orcid.org/0000-0003-1266-0885>
- Soto, J. L., Valiengo, S., Pessôa, M., de Paula, R. C., y González, J. V. (2022). *Determination of the effective dose of phosphorus in lemon eucalyptus plants (Corymbia citriodora)*. *Agrociencia*. 56(3): 518-546. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2804>
- Stanfield, W. (1971). *Genética. Teoría y 400 Problemas Resueltos*. México: McGraw Hill.
- Toro, F., Dooner, H., y Lübberstedt, T. (2013). A Pedigree-Based Approach to Determine the Mode of Inheritance of Quantitative Traits in Maize. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 3(11), pp. 2195–2203. <https://doi.org/10.1534/g3.113.008235>
- Torres, F. (2013). *Etnobotánica y sustancias bioactivas de las principales especies no maderables con potencial económico de los bosques de neblina del norte del Perú*. Lima, Perú, CIPCA. 9 p. <https://cies.org.pe/wp-content/uploads/2016/07/neblina-norte.pdf>

- Valencia, G. (1992). *Fertilización de los cafetales*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Vallejos, J., Badilla, Y., Picado, F., y Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 105-119.
- Vargas H., Basilio V., y Thomas., F (eds.). (2004). Manejo de Recursos Genéticos Forestales, segunda edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. <https://acortar.link/XkQAr9>
- Villar, M., Marcelo, F y Villanueva. (2018). *Estudio silvicultural de la quina Cinchona officinalis L.*
- Villar, R., Ruíz, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F., y Marañón, T. (2008). *Tasas de crecimiento en especies leñosas aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, 191-227.
- Zeballos, P. (1989). *Taxonomía, distribución geográfica y status del Género Cinchona en el Perú*. Lima-Perú: DC-UNALM.

## 11. Anexos

Anexo 1. Establecimiento del ensayo.



Figura 17. a) cernido de tierra; b) distribución de baldes en el invernadero c) fertilizantes utilizados por cada tratamiento.



Figura 18. a) aplicación de fertilizante en la tierra; b) esparcimiento; c) mezclado de fertilizante con la tierra



Figura 19. a) Distribución de plantas de *C. officinalis* b); c) trasplante de plantas de *C. officinalis*; d) plantas plantadas en balde.



Figura 20. a) monitoreo sanitario de plantas de *C. officinalis* b); riego de plantas de *C. officinalis*.

Anexo 2. Distribución espacial del ensayo bajo condiciones de invernadero.

| F1 | TESTIGO           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|----|-------------------|----|----|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|-------------|----|----|----|--|--|--|--|
|    | r1                | r2 | r3 | r4 |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T0                |    |    |    | ZH        | UR | SA | ZH |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
| F2 | T1 (Natural N)    |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T2                |    |    |    | Natural N |    |    |    | 40 mg N   |    |    |    | 80 mg N   |    |    |    | 120 mg N    |    |    |    |  |  |  |  |
|    | r1                | r2 | r3 | r4 | r2        | r1 | r1 | r3 | r1        | r2 | r3 | r1 | r3        | r1 | r2 | r1 |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T4                |    |    |    | ZH        | UR | SA | ZH | UR        | ZH | ZH | SA | ZH        | UR | SA | ZH | SA          | ZH | UR | ZH |  |  |  |  |
| F3 | T5                |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T6 (Natural P)    |    |    |    | 160 mg N  |    |    |    | Natural P |    |    |    | 50 mg P   |    |    |    | 100 mg P    |    |    |    |  |  |  |  |
|    | r2                | r1 | r3 | r1 | r2        | r3 | r1 | r3 | r2        | r1 | r1 | r3 | r1        | r2 | r3 | r4 |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T8                |    |    |    | UR        | ZH | SA | ZH | UR        | SA | ZH | SA | UR        | ZH | ZH | SA | ZH          | UR | SA | ZH |  |  |  |  |
| F4 | T9                |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T10               |    |    |    | 150 mg P  |    |    |    | 200 mg P  |    |    |    | Natural K |    |    |    | 40 mg K     |    |    |    |  |  |  |  |
|    | r2                | r1 | r4 | r2 | r3        | r2 | r3 | r1 | r3        | r4 | r2 | r3 | r4        | r3 | r2 | r3 |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T12               |    |    |    | UR        | ZH | ZH | UR | SA        | UR | SA | ZH | SA        | ZH | UR | SA | ZH          | SA | UR | SA |  |  |  |  |
| F5 | T13               |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T14               |    |    |    | 80 mg K   |    |    |    | 120 mg K  |    |    |    | 160 mg K  |    |    |    | Natural cal |    |    |    |  |  |  |  |
|    | r1                | r3 | r2 | r3 | r2        | r3 | r1 | r3 | r2        | r1 | r3 | r2 | r2        | r1 | r3 | r2 |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T16 (Natural Cal) |    |    |    | ZH        | SA | UR | SA | UR        | SA | ZH | SA | UR        | ZH | SA | UR | UR          | ZH | SA | UR |  |  |  |  |
| F6 | T17               |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |           |    |    |    |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T18               |    |    |    | 20 mg Cal |    |    |    | 40 mg Cal |    |    |    | 60 mg Cal |    |    |    | 80 mg Cal   |    |    |    |  |  |  |  |
|    | r1                | r2 | r3 | r2 | r1        | r2 | r2 | r3 | r3        | r2 | r4 | r2 | r3        | r1 | r2 | r4 |             |    |    |    |  |  |  |  |
|    | T20               |    |    |    | ZH        | UR | SA | UR | ZH        | UR | UR | SA | SA        | UR | ZH | UR | SA          | ZH | UR | ZH |  |  |  |  |

Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio.



**ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO**  
**LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**  
 km 12 1/2 vía El Descanso - BULLCAY - Guafacato www@iniap.gob.ec  
 Avulay - Ecuador TeleFon: (07) 2171151



**INFORME DE ANALISIS DE SUELOS**

| DATOS DEL PROPIETARIO |                  | DATOS DE LA PROPIEDAD |          | DATOS DE LA MUESTRA |            |
|-----------------------|------------------|-----------------------|----------|---------------------|------------|
| Nombre :              | Byron Palacios   | Nombre :              |          | Fecha Muestreo :    | 12/12/2023 |
| Dirección :           | Av Manuel Camion | Provincia :           | LOJA     | Fecha Ingreso :     | 07/02/2024 |
| Ciudad :              | LOJA             | Parroquia :           | LOJA     | Fecha Emisión :     | 14/02/2024 |
| Teléfono :            | 0981543726       | Ubicación :           | Clodoveo | Cultivo Actual :    | NE         |
| Técnico :             |                  | Latitud :             |          |                     |            |
|                       | Correo-e : NE    | Longitud :            |          |                     |            |

| N° Laborat. | Identificación del Lote | pH      | ppm    |         |        |         | mg/100ml |    |    |    | ppm |         |       |  | mg/100ml |        | Mg/K    | (Ca+Mg)/K |
|-------------|-------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|----------|----|----|----|-----|---------|-------|--|----------|--------|---------|-----------|
|             |                         |         | N      | P       | K      | Ca      | Mg       | Zn | Cu | Fe | Mn  | I Bases | Ca/Mg |  |          |        |         |           |
| 7879        | Muestra 5               | 6.1 LAc | 4.80 B | 15.10 M | 0.17 B | 10.30 A | 3.25 A   |    |    |    |     |         |       |  | 13.72    | 3.17 M | 19.12 A | 79.71 A   |

| Interpretación        |                  |                     |
|-----------------------|------------------|---------------------|
| N, P, K, Ca, Mg S     |                  |                     |
| Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl |                  |                     |
| S - Spp               | MAC - Hely-KiB   | K - Nudo            |
| M - Medio             | AC - A-20        | LA - Lig. Acido     |
| A - Alto              | MAA - Med. Acido | MAI - Med. Alcalino |
|                       | LAC - Lig. Acido | AL - Medio          |
|                       | PA - P-100       | BC - Resque Cal     |

| Determinación   | Metodología    | Extracción        |
|-----------------|----------------|-------------------|
| pH              | Directa        | Dist              |
| N, P, K, Ca, Mg | Aluvión        | Mediada           |
| Zn, Cu, Fe, Mn  | Aluvión        | MIES              |
| pH              | Fluorimetrica  | Suho agua (1:2.5) |
| S               | Turbidimetrica | Fuente de Co      |
| B               | Colorimetrica  | Molibdato         |

| Niveles Referenciales Referencia |           |    |            |
|----------------------------------|-----------|----|------------|
| N                                | 20 - 40   | Mg | 1.0 - 2.0  |
| P                                | 10 - 20   | Mn | 2 - 10     |
| K                                | 100 - 200 | Ca | 10 - 15    |
| Ca                               | 6 - 8     | Cu | 1.0 - 10.0 |

NE: No entrega  
 Se permite la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

*[Signature]*  
 Responsable Laboratorio

*[Signature]*  
 Laboratorista

Fecha de Impresión: 14/02/2024

Página 1 de 2

Anexo 4. Fotografías del crecimiento inicial de *C. officinalis* por cada experimento con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y enmienda de cal a los 120 días de evaluación.

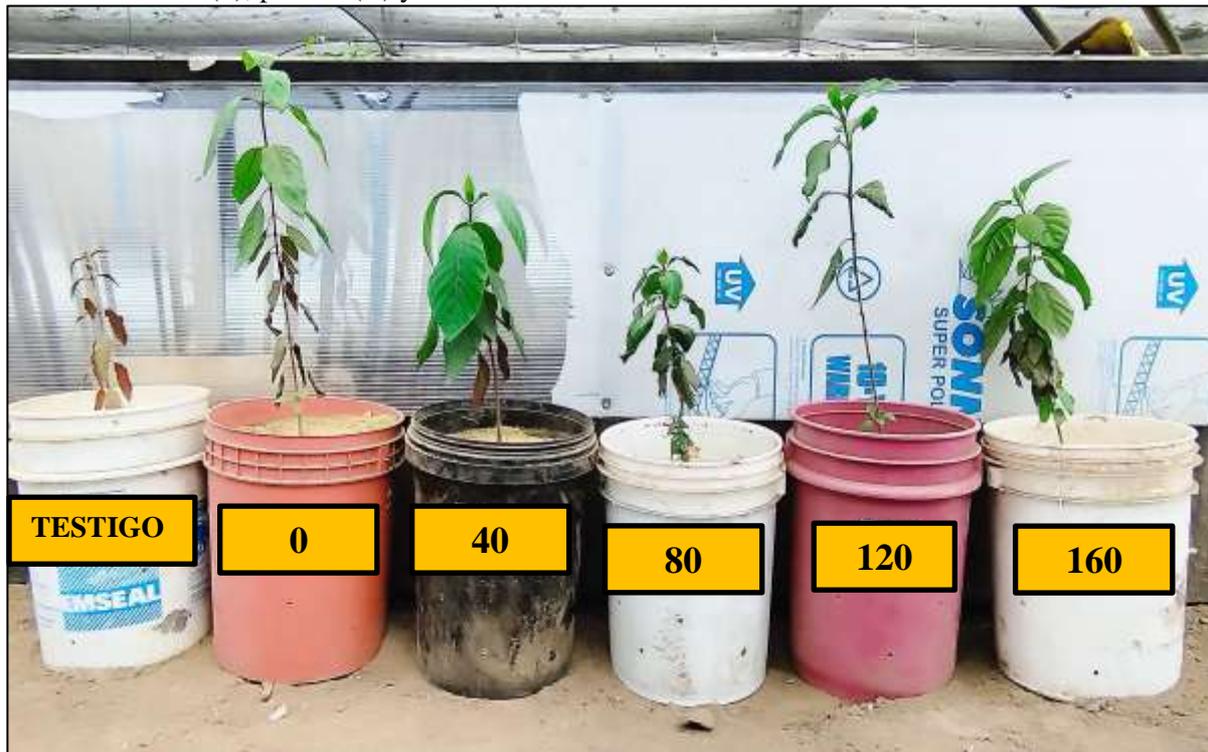


Figura 21. Plantas de *Cinchona officinalis* del experimento con dosis de nitrógeno (N) ( $\text{g}/\text{dm}^3$ ), 120 días después del trasplante.

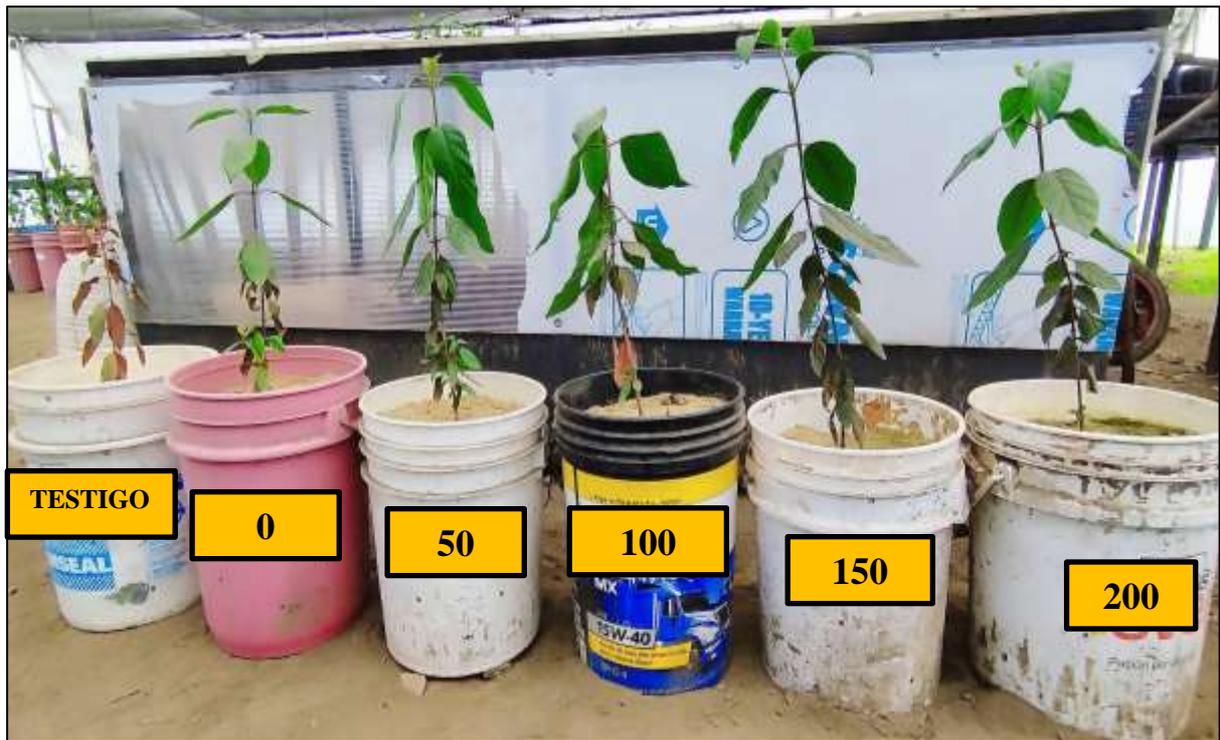


Figura 22. Plantas de *Cinchona officinalis* del experimento con dosis de fósforo (P) ( $\text{g}/\text{dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante.



Figura 23. Plantas de *Cinchona officinalis* del experimento con dosis de potasio (K) ( $\text{g/dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante.

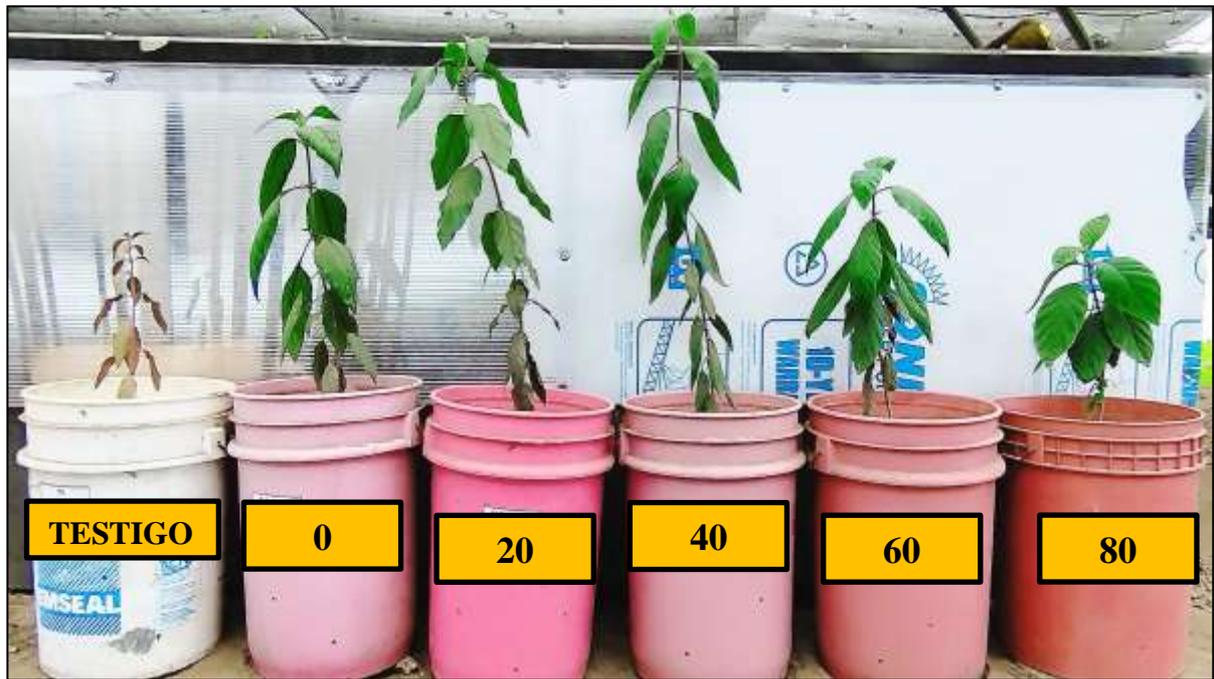


Figura 24. Plantas de *Cinchona officinalis* del experimento con niveles de saturación por bases ( $\text{g}/\text{dm}^3$ ), a 120 días después del trasplante.

Anexo 5. Análisis de varianza (ANOVA) de la altura en el crecimiento inicial de *Cinchona officinalis*.

**Nitrógeno**

**Linear Regression**

| Variable | N    | R <sup>2</sup> | Adj R <sup>2</sup> | PMSE   | AIC  |
|----------|------|----------------|--------------------|--------|------|
|          | H cm | 24             | 0,31               | 0,24   | 0,24 |
|          |      | 67,92          | 169,18             | 173,90 |      |

**Regression coefficients**

| Coef      | Est.  | S.E. | LL(95%) | UL(95%) | T     | p-value | Mallows' Cp  |
|-----------|-------|------|---------|---------|-------|---------|--------------|
| VIF const | 25,24 | 3,37 |         | 18,24   |       | 32,25   | 7,49 <0,0001 |
| Trat      | 9,00  | 3,17 | 2,42    | 15,59   | 2,84  | 0,0098  | 9,08 12,72   |
| Trat^2    | -1,47 | 0,61 | -2,74   | -0,21   | -2,42 | 0,0247  | 6,85 12,72   |

**Analysis of variance table (Sequential SS)**

| S.V.        | SS      | df     | MS     | F    | p-     |
|-------------|---------|--------|--------|------|--------|
| value Model | 513,37  | 2      | 256,69 |      |        |
|             | 4,65    | 0,0213 |        |      |        |
| Trat        | 190,25  | 1      | 190,25 | 3,44 | 0,0776 |
| Trat^2      | 323,13  | 1      | 323,13 | 5,85 | 0,0247 |
| Error       | 1160,02 | 21     | 55,24  |      |        |
| Total       | 1673,39 | 23     |        |      |        |

**Analysis of variance table (Partial SS)**

| S.V.        | SS      | df     | MS     | F    | p-     |
|-------------|---------|--------|--------|------|--------|
| value Model | 513,37  | 2      | 256,69 |      |        |
|             | 4,65    | 0,0213 |        |      |        |
| Trat        | 513,37  | 2      | 256,69 | 4,65 | 0,0213 |
| Error       | 1160,02 | 21     | 55,24  |      |        |
| Total       | 1673,39 | 23     |        |      |        |

**Fósforo**

**Linear Regression**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | Adj R <sup>2</sup> | PMSE  | AIC    | BIC    |
|----------|----|----------------|--------------------|-------|--------|--------|
| H cm     | 24 | 0,45           | 0,40               | 52,39 | 162,54 | 167,26 |

**Regression coefficients**

| Coef     | Est.  | S.E. | LL(95%) | UL(95%) | T     | p-value | Mallows' Cp | VIF   |
|----------|-------|------|---------|---------|-------|---------|-------------|-------|
| const    | 24,77 | 2,93 | 18,67   | 30,87   | 8,45  | <0,0001 |             |       |
| Trat_P   | 9,70  | 2,76 | 3,96    | 15,44   | 3,52  | 0,0021  | 13,36       | 12,72 |
| Trat_P^2 | -1,46 | 0,53 | -2,56   | -0,36   | -2,76 | 0,0117  | 8,63        | 12,72 |

**Analysis of variance table (Sequential SS)**

| S.V.     | SS      | df | MS     | F    | p-value |
|----------|---------|----|--------|------|---------|
| Model    | 718,06  | 2  | 359,03 | 8,57 | 0,0019  |
| Trat_P   | 398,65  | 1  | 398,65 | 9,52 | 0,0056  |
| Trat_P^2 | 319,41  | 1  | 319,41 | 7,63 | 0,0117  |
| Error    | 879,64  | 21 | 41,89  |      |         |
| Total    | 1597,71 | 23 |        |      |         |

**Analysis of variance table (Partial SS)**

| S.V.   | SS      | df | MS     | F    | p-value |
|--------|---------|----|--------|------|---------|
| Model  | 718,06  | 2  | 359,03 | 8,57 | 0,0019  |
| Trat_P | 718,06  | 2  | 359,03 | 8,57 | 0,0019  |
| Error  | 879,64  | 21 | 41,89  |      |         |
| Total  | 1597,71 | 23 |        |      |         |

## Potasio

### Linear Regression

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | Adj R <sup>2</sup> | PMSE   | AIC    | BIC    |
|----------|----|----------------|--------------------|--------|--------|--------|
| H_cm     | 24 | 0,21           | 0,14               | 112,75 | 179,85 | 184,56 |

### Regression coefficients

| Coef     | Est.  | S.E. | LL(95%) | UL(95%) | T     | p-value | Mallows' Cp | VIF   |
|----------|-------|------|---------|---------|-------|---------|-------------|-------|
| const    | 28,93 | 4,21 | 20,18   | 37,67   | 6,88  | <0,0001 |             |       |
| Trat_K   | 9,35  | 3,96 | 1,12    | 17,57   | 2,36  | 0,0279  | 6,58        | 12,72 |
| Trat_K^2 | -1,79 | 0,76 | -3,37   | -0,21   | -2,35 | 0,0286  | 6,53        | 12,72 |

### Analysis of variance table (Sequential SS)

| S.V.     | SS      | df | MS     | F    | p-value |
|----------|---------|----|--------|------|---------|
| Model    | 488,50  | 2  | 244,25 | 2,84 | 0,0812  |
| Trat_K   | 12,31   | 1  | 12,31  | 0,14 | 0,7092  |
| Trat_K^2 | 476,19  | 1  | 476,19 | 5,53 | 0,0286  |
| Error    | 1808,79 | 21 | 86,13  |      |         |
| Total    | 2297,29 | 23 |        |      |         |

### Analysis of variance table (Partial SS)

| S.V.   | SS      | df | MS     | F    | p-value |
|--------|---------|----|--------|------|---------|
| Model  | 488,50  | 2  | 244,25 | 2,84 | 0,0812  |
| Trat_K | 488,50  | 2  | 244,25 | 2,84 | 0,0812  |
| Error  | 1808,79 | 21 | 86,13  |      |         |
| Total  | 2297,29 | 23 |        |      |         |

## Cal dolomítica

### Linear Regression

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | Adj R <sup>2</sup> | PMSE  | AIC    | BIC    |
|----------|----|----------------|--------------------|-------|--------|--------|
| H_cm     | 24 | 0,58           | 0,54               | 74,15 | 171,07 | 175,78 |

### Regression coefficients

| Coef       | Est.  | S.E. | LL(95%) | UL(95%) | T     | p-value | Mallows' Cp | VIF   |
|------------|-------|------|---------|---------|-------|---------|-------------|-------|
| const      | 22,33 | 3,50 | 15,05   | 29,62   | 6,38  | <0,0001 |             |       |
| Trat_Cal   | 17,49 | 3,29 | 10,64   | 24,35   | 5,31  | <0,0001 | 29,19       | 12,72 |
| Trat_Cal^2 | -3,10 | 0,63 | -4,42   | -1,79   | -4,90 | 0,0001  | 25,06       | 12,72 |

### Analysis of variance table (Sequential SS)

| S.V.       | SS      | df | MS      | F     | p-value |
|------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Model      | 1712,18 | 2  | 856,09  | 14,33 | 0,0001  |
| Trat_Cal   | 275,02  | 1  | 275,02  | 4,60  | 0,0438  |
| Trat_Cal^2 | 1437,16 | 1  | 1437,16 | 24,06 | 0,0001  |
| Error      | 1254,61 | 21 | 59,74   |       |         |
| Total      | 2966,79 | 23 |         |       |         |

### Analysis of variance table (Partial SS)

| S.V.     | SS      | df | MS     | F     | p-value |
|----------|---------|----|--------|-------|---------|
| Model    | 1712,18 | 2  | 856,09 | 14,33 | 0,0001  |
| Trat_Cal | 1712,18 | 2  | 856,09 | 14,33 | 0,0001  |
| Error    | 1254,61 | 21 | 59,74  |       |         |
| Total    | 2966,79 | 23 |        |       |         |

Anexo 6. Certificación de la traducción del Abstrac.

Lic. Verónica Gabriela Sánchez Montaña., Mgs.  
0982521507  
[veronica.sanchez@unl.edu.ec](mailto:veronica.sanchez@unl.edu.ec)  
Loja – Ecuador

*Loja, 29 de Julio de 2024*

*El suscrito, Lic. Verónica Gabriela Sánchez, Mgs. **DOCENTE DE INGLES** (registro de la SENESCYT número1008-15-1421802) **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, MASTER EN PSICOPEDAGOGIA** (registro de la SENESCYT número: 7241160440) **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA; a petición de la parte interesada y en forma legal,***

**CERTIFICA:**

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por Sr. **José Luis Angamarca Buri** con cédula de ciudadanía **No. 1150293072**, cuyo tema de investigación se titula: **CRECIMIENTO INICIAL DE CINCHONA OFFICINALIS L. BAJO NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN CONDICIONES DE INVERNADERO, CANTÓN LOJA** ha sido realizado y aprobado por mi persona, **Lic. Verónica Gabriela Sánchez Montaña., Mgs.** en psicopedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honora la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



Firmado electrónicamente por:  
**VERONICA GABRIELA  
SANCHEZ MONTANO**

*Lic. Verónica Gabriela Sánchez Montaña, Mgs.*  
**ENGLISH PROFESSOR**

***Licenciada en Ciencias de La Educación Mención Ingles***  
***REG. 1008-15-1421802***  
***Master en Psicopedagogía***  
***REG.7241160440***

