

# **UCUENCA**

**Universidad de Cuenca**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Análisis del desarrollo inicial de cinco especies nativas en un experimento de  
reforestación en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay, Ecuador**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo

**Autora:**

Priscila Alexandra Cajas Alvarado

**Director:**

Fanny Ximena Palomeque Pesántez

ORCID:  0000-0003-4711-9650

**Cuenca, Ecuador**

2024 – 06 – 27

## Resumen

La reforestación es una práctica común para restaurar áreas degradadas, pero se conoce poco sobre el desarrollo de especies nativas en pastos abandonados de los Andes. Este estudio analizó el desarrollo y la supervivencia inicial de cinco especies nativas andinas (*Hedyosmum luteynii*, *Morella pubescens*, *Oreocallis grandiflora*, *Vallea stipularis* y *Weinmannia fagaroides*) en un experimento de reforestación en la provincia del Azuay, Ecuador. El experimento constó de un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos: T1: control; T2: sin sombra + pasto cortado; T3: sombra + pasto sin cortar; T4: sombra + pasto cortado, en tres sitios que representaron una gradiente altitudinal: baja (2270 m s.n.m.), media (2833 m s.n.m.) y alta (3180 m s.n.m.), con un total de 7680 plántulas establecidas. Los resultados mostraron que el crecimiento relativo en altura (TRC<sub>a</sub>), diámetro basal (TRC<sub>db</sub>) y supervivencia estuvieron influenciados por la interacción entre la altitud y los tratamientos, presentando respuestas variables al efecto de ambos factores. Sin embargo, se destacó el efecto positivo de los tratamientos con sombra (T3 y T4) sobre TRC<sub>a</sub> y la supervivencia en todas las gradientes para todas las especies, mientras que para TRC<sub>db</sub> el efecto de los tratamientos y gradiente altitudinal fue variable y no se hallaron patrones claros. La buena calidad de plántulas se asoció positivamente con la gradiente baja y la sombra. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar las características ecológicas, condiciones del sitio y el manejo adecuado para la reforestación efectiva en la región andina.

*Palabras claves del autor:* reforestación, especies nativas, sombra, pasto, gradiente altitudinal



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Abstract

Reforestation is common for restoring degraded areas, but little is known about the development of native species in abandoned pastures in the Andes. This study analyzed the development and initial survival of five native Andean species (*Hedyosmum luteynii*, *Morella pubescens*, *Oreocallis grandiflora*, *Vallea stipularis*, and *Weinmannia fagaroides*) in a reforestation experiment in Azuay province, Ecuador. The experiment used a randomized block design with four treatments: T1: control; T2: no shade + cut grass; T3: shade + uncut grass; T4: shade + cut grass, across three sites representing an altitudinal gradient: low (2270 m a.s.l.), medium (2833 m a.s.l.), and high (3180 m a.s.l.), with a total of 7680 seedlings planted. The results showed that the relative growth rate in height (TRC<sub>a</sub>), basal diameter (TRC<sub>db</sub>), and survival were influenced by the interaction between altitude and treatments, presenting variable responses to the effect of both factors. However, the positive effect of treatments with shade (T3 and T4) on TRC<sub>a</sub> and survival in all gradients for all species was highlighted, while for TRC<sub>db</sub>, the effect of treatments and altitudinal gradient was variable and no clear patterns were found. The good quality of seedlings was positively associated with the low gradient and shade. These findings highlight the importance of considering ecological characteristics, site conditions, and appropriate management for effective reforestation in the Andean region.

*Author keywords:* reforestation, native species, shade, grass, altitudinal gradient



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

Introducción .....	15
1.    Objetivos.....	16
1.1.    Objetivo general.....	16
1.2.    Objetivos específicos .....	16
2.    Preguntas de investigación .....	16
3.    Revisión de literatura .....	17
3.1.    Reforestación en los Andes: importancia del uso de especies forestales nativas .	17
3.2.    Factores que influyen en el establecimiento inicial de especies nativas en programas de reforestación.....	17
3.3.    La gradiente altitudinal en los programas de reforestación .....	18
4.    Materiales y métodos.....	20
4.1.    Área de estudio.....	20
4.2.    Selección y establecimiento de las especies.....	21
4.3.    Diseño experimental y monitoreo.....	23
4.4.    Procesamiento de los datos.....	24
4.5.    Metodología para el objetivo específico 1: Evaluar el efecto de sombra y la remoción del pasto competitivo sobre el desarrollo inicial de cinco especies nativas a lo largo de una gradiente altitudinal .....	25
4.5.1.    Cálculo de la Tasa relativa de crecimiento.....	25
4.5.2.    Cálculo de la Supervivencia.....	25
4.6.    Análisis estadístico de la Tasa relativa de crecimiento de la altura (TRCa ), diámetro basal (TRCdb ) y Supervivencia .....	25
4.7.    Metodología para el objetivo específico 2: Analizar la asociación de la calidad de las plántulas de las cinco especies nativas con los tratamientos y la gradiente altitudinal....	27
4.7.1.    Obtención de los rangos de calidad de la plántula .....	27
4.7.2.    Análisis estadístico de la calidad de la plántula.....	27
5.    Resultados.....	28
5.1.    Tasa relativa de crecimiento de la altura (TRCa ) .....	28

5.2. Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal (TRCdb) .....	32
5.3. Supervivencia .....	36
5.4. Calidad de las plántulas .....	40
6. Discusión .....	45
Conclusiones .....	48
Recomendaciones .....	49
Referencias bibliográficas .....	50
Anexos.....	60

**Índice de figuras**

<b>Figura 1.</b> Ubicación de los tres sitios que corresponden a las tres gradientes altitudinales (Sevilla de Oro: Gradiente baja, Irquis: Gradiente media, Machángara: Gradiente alta) como parte del experimento de reforestación en la provincia del Azuay.....	20
<b>Figura 2.</b> Esquema de la distribución de los tratamientos en los bloques y de las plántulas de las cinco especies nativas en las parcelas .....	24
<b>Figura 3.</b> Boxplot de la Tasa relativa de crecimiento de la altura (TRC <sub>a</sub> ) inicial de cinco especies forestales nativas (HL: <i>Hedyosmum luteynii</i> , MP: <i>Morella pubescens</i> , OG: <i>Oreocallis grandiflora</i> , VS: <i>Vallea stipularis</i> , WF: <i>Weinmannia fagaroides</i> ) bajo cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), establecidos en tres gradientes altitudinales distintas (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	29
<b>Figura 4.</b> Boxplot de la Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal (TRC <sub>db</sub> ) de cinco especies forestales nativas (HL: <i>Hedyosmum luteynii</i> , MP: <i>Morella pubescens</i> , OG: <i>Oreocallis grandiflora</i> , VS: <i>Vallea stipularis</i> , WF: <i>Weinmannia fagaroides</i> ) bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), establecidos en tres gradientes altitudinales distintas (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.). ....	33
<b>Figura 5.</b> Boxplot de la supervivencia inicial (%) de cinco especies forestales nativas (HL: <i>Hedyosmum luteynii</i> , MP: <i>Morella pubescens</i> , OG: <i>Oreocallis grandiflora</i> , VS: <i>Vallea stipularis</i> , WF: <i>Weinmannia fagaroides</i> ) en respuesta a cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), distribuidos a lo largo de tres gradientes altitudinales diferentes (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	37
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de plántulas vivas por categoría de calidad de las plántulas (Bueno, Regular, Malo) de cinco especies forestales nativas (HL: <i>Hedyosmum luteynii</i> , MP: <i>Morella pubescens</i> , OG: <i>Oreocallis grandiflora</i> , VS: <i>Vallea stipularis</i> , WF: <i>Weinmannia fagaroides</i> ) en un experimento de reforestación establecido a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) y bajo la aplicación de cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado). ....	42

**Figura 7.** Biplots de un Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) de cinco especies forestales nativas para determinar la asociación entre las categorías de calidad de las plántulas (Alto, Medio, Bajo) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270m s.n.m., Gradiente media: 2833 s.n.m., Gradiente alta: 3180 s.n.m.) y los tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado..... 44

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Datos climáticos de los tres sitios de estudio en donde se estableció e experimento de reforestación usando especies nativas.....	21
<b>Tabla 2.</b> Características ecológicas y socioeconómicas de cinco especies nativas implementadas en un experimento de reforestación bajo cuatro tratamientos y siguiendo una gradiente de elevación en la provincia del Azuay.....	22
<b>Tabla 3.</b> Modelos lineales mixtos ajustados para determinar el efecto de las variables independientes y sus interacciones (sitio, tratamiento) en la tasa relativa de crecimiento de la altura, diámetro basal y supervivencia, considerando el bloque como un efecto aleatorio. .	26
<b>Tabla 4.</b> Valores de media $\bar{x}$ , desviación estándar $\sigma$ y mediana $\tilde{x}$ , de la Tasa relativa de crecimiento de la altura ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	30
<b>Tabla 5.</b> Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal mixto de la interacción (Modelo 3, ver en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) para la Tasa relativa de crecimiento de la altura por cada especie. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Valores de media $\bar{x}$ , desviación estándar $\sigma$ y mediana $\tilde{x}$ , de la Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal ( $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	34
<b>Tabla 7.</b> Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal mixto de la interacción (Modelo 3, ver en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) en la Tasa relativa del diámetro basal por cada especie.....	35
<b>Tabla 8.</b> Valores de media $\bar{x}$ , desviación estándar $\sigma$ y mediana $\tilde{x}$ , de la supervivencia (%) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin	

sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), distribuidos a lo largo de tres gradientes altitudinales diferentes (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.)..... 38

**Tabla 9.** Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal de la interacción (Modelo 3, ver en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) en la supervivencia por cada especie..... 39

**Anexos**

<b>Anexo A.</b> Estadísticos (gl: grados de libertad, REML: Máxima Verosimilitud Restringida, AIC: Criterio de Información de Akaike, BIC: Criterio de Información Bayesiano) de los modelos lineales mixtos ajustados (Modelo 1: gradiente altitudinal: tratamiento) de las cinco especies para la tasa relativa de crecimiento de altura (TRCa), diámetro basal (TRCdb) y supervivencia.	60
.....	
<b>Anexo B.</b> Porcentaje de la calidad de las plántulas (Bueno, Regular, Malo) de cinco especies forestales nativas en una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 s.n.m., Gradiente alta: 3180 s.n.m.) y bajo tratamientos de sombra y pasto (T1: control; T2: sin sombra + pasto cortado; T3: sombra + pasto sin cortar; T4: sombra + pasto cortado).....	61
.....	
<b>Anexo C.</b> Valores de contribución a la inercia (ctr), el coseno cuadrado (cos2) y test de significancia (v.test) del Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) de cinco especies nativas, asociados con la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) y los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado). .....	62
.....	
<b>Anexo D.</b> Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de <i>Hedyosmum luteynii</i> presentes en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	63
.....	
<b>Anexo E.</b> Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de <i>Morella pubescens</i> reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	64
.....	
<b>Anexo F.</b> Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de <i>Oreocallis grandiflora</i> reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	65
.....	

<b>Anexo G.</b> Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de <i>Vallea stipularis</i> reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	66
<b>Anexo H.</b> Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de <i>Weinmannia fagaroides</i> reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).....	67

## Abreviaturas

**HL:** *Hedyosmum luteynii* Todzia

**MP:** *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) Wildbur

**OG:** *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br.

**VS:** *Vallea stipularis* L. f.

**WF:** *Weinmannia fagaroides* Kunth

**T1:** control

**T2:** sin sombra más pasto cortado

**T3:** sombra más pasto sin cortar

**T4:** sombra más pasto cortado

**TRC<sub>a</sub>:** Tasa relativa de crecimiento de la altura

**TRC<sub>db</sub>:** Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal

**aq:** Ápice quemado

**tc:** Tallo cortado

**tq:** Tallo quemado

**hq:** Hojas quemadas

**He:** Herbivoría

**De:** Defoliación

**CM:** casi muerta

## Agradecimientos

Ante todo, deseo expresar mi más profunda gratitud a Dios por brindarme la oportunidad de aprender durante esta etapa académica tan significativa. Mi agradecimiento sincero se dirige a mi directora de tesis, la Bióloga Ximena Palomeque, PhD. Su orientación constante, la dedicación de su tiempo, su vasto conocimiento, su paciencia y su amistad han sido esenciales en cada paso de este trabajo.

Además, quiero agradecer al proyecto “Consolidando una red de monitoreo de bosque de largo plazo en un paisaje modificado por humanos en el Norte del Ecuador II” (COFOREC II), financiado por VLIR-USO. Su aporte de recursos y datos ha sido invaluable para la realización de este trabajo.

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida, quienes han sido pilares fundamentales a lo largo de mi camino académico:

A mi amado esposo, Franklin, mi compañero de vida. Su apoyo incondicional y su sonrisa alentadora han sido mi fuerza en los momentos más difíciles.

A mi querida hija, Sofía, mi fuente de inspiración. Su inteligencia, curiosidad y alegría han sido mi motor y motivación constante.

A mi madre, Nancy, mi ejemplo de fortaleza y paciencia. Sus sacrificios y su amor incondicional me han enseñado el valor del trabajo arduo y la dedicación incansable.

A mi difunto padre, Patricio, cuyo legado de integridad, trabajo duro y amor eterno sigue vivo en mi corazón.

Y a mis hermanos Xavier y Patricia, mis aliados inquebrantables. Su apoyo constante y ánimo sincero han sido fundamentales en mi camino.

Gracias a todos ustedes por ser partícipes de esta maravillosa etapa y por hacer posible este logro.

## Introducción

Los bosques andinos se destacan por su alta biodiversidad y endemismo (Bokkestijn, 2017), y brindan importantes servicios ecosistémicos, como la provisión y regulación de agua, la protección contra la erosión del suelo, el mantenimiento de la biodiversidad, el almacenamiento de carbono y la regulación del clima (De la Torre et al., 2006, Spracklen & Righelato, 2014; Bokkestijn, 2017; Aguirre et al., 2018). Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan una creciente presión debido a la degradación causada por las actividades antrópicas (Myster, 2020), principalmente por el cambio de uso de suelo de bosques a pastizales (Knoke et al., 2014; Sierra et al., 2021).

En Ecuador, se estima que un 86% de los bosques naturales ha sido deforestado debido a la expansión de la superficie agropecuaria (Sierra et al., 2021). En la provincia del Azuay, la tasa de deforestación neta entre 2014 - 2016 alcanzó las 1824 hectáreas, resultando en aproximadamente el 84,21% de los bosques nativos degradados (Mogrovejo, 2017; Sierra et al., 2021). Para contrarrestar esta problemática, Ecuador ha implementado el Proyecto Nacional de Restauración 2019-2030, el cual se enfoca en la restauración de áreas prioritarias (MAATE, 2021), mediante técnicas de restauración activa (reforestación) y la restauración pasiva (regeneración natural) (Holl & Aide, 2011).

En el contexto de la restauración activa, la falta de información científica sobre las especies adecuadas para la reforestación y las estrategias de manejo, representa un desafío común en la región Andina (Murcia et al., 2017). Por lo tanto, es crucial abordar aspectos como la selección de especies, su adaptación al entorno local (Aguirre et al., 2011), y sus requerimientos ecológicos, incluyendo los niveles de luz (Christmann & Menor, 2021), las condiciones de degradación del suelo y cobertura vegetal, como la presencia de pastos exóticos (Günter et al., 2009).

Este trabajo de investigación se centró en analizar la influencia de presencia o ausencia de sombra y pasto en el desarrollo y la supervivencia inicial de cinco especies nativas *Weinmannia fagaroides* Kunth, *Oreocallis grandiflora* (Lam.), *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.), *Hedyosmum luteynii* Todzia y *Vallea stipularis* L. f., en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay. Los resultados de este estudio proporcionarán información valiosa sobre las condiciones de sitio y manejo más adecuadas para el desarrollo de estas cinco especies, contribuyendo así a los programas de reforestación en la región Andina.

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo general

Analizar el desarrollo inicial de cinco especies nativas en un experimento de reforestación en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay.

### 1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de sombra y la remoción del pasto competitivo sobre el desarrollo inicial de cinco especies nativas a lo largo de una gradiente altitudinal.
- Analizar la asociación de la calidad de las plántulas de las cinco especies nativas con los tratamientos y la gradiente altitudinal.

## 2. Preguntas de investigación

- ¿Hay diferencias en el desarrollo y crecimiento de las plántulas de cinco especies nativas bajo la aplicación de los tratamientos a lo largo de una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay?
- ¿Hay una asociación de calidad de las plántulas de cinco especies nativas con la gradiente altitudinal y los tratamientos en la provincia del Azuay?

### 3. Revisión de literatura

#### 3.1. Reforestación en los Andes: importancia del uso de especies forestales nativas

La reforestación es una práctica esencial para restaurar paisajes degradados y re establecer los bosques (FAO, 2020). En los Andes, las estrategias de reforestación han cambiado con el tiempo. En décadas pasadas, en Ecuador, ha sido una práctica común utilizar especies exóticas de los géneros como: *Pinus*, *Acacia* y *Eucalyptus*, debido a su rápido crecimiento (Dalling, 2008; Evans, 2009). Sin embargo, en los últimos años ha habido un interés creciente por el uso de especies nativas dentro de los programas de reforestación como *Alnus acuminata*, *Junglans neotropica*, *Oreopanax spp.*, motivado por su importancia ecológica, económica y social (Aguirre et al., 2011; Weber et al., 2013; Bare & Ashton, 2016).

Las especies nativas están adaptadas a las condiciones locales y no solo contribuyen a la restauración de la calidad de suelo, sino que también favorecen los procesos de sucesión a largo plazo (Mendoza-Vega et al., 2020). Además, ayudan a conservar la biodiversidad y mantener la funcionalidad de los ecosistemas a través de procesos como dispersión de semillas y la polinización (Elliot et al., 2013). En comparación con las especies exóticas, las nativas ofrecen mayores beneficios ecológicos (Lu et al., 2017). Estudios de Nunes et al. (2020) y Rachmat et al. (2021) destacan el potencial de las especies nativas para generar beneficios ecológicos significativos.

A pesar de la gran diversidad de especies potenciales para la reforestación, pocas han sido utilizadas y estudiadas para estos fines (Palomeque et al., 2020). Por ello, es crucial evaluar el desarrollo inicial de un mayor número de especies nativas con propósitos de reforestación.

#### 3.2. Factores que influyen en el establecimiento inicial de especies nativas en programas de reforestación

El establecimiento de plántulas en los programas de reforestación es una fase crítica que podría condicionar el éxito a largo plazo. Para evaluar este proceso, se utilizan métricas de atributos como el crecimiento en altura, diámetro basal, supervivencia y calidad de la planta (Le et al., 2012; Grossnickle & MacDonald, 2018a). Un rápido crecimiento en altura confiere a la planta una ventaja competitiva en sitios con vegetación (Gruntman et al., 2017), mientras que un diámetro basal robusto ayuda a reducir el daño por sequía y tolerar altas temperaturas (Hasee, 2007). Aspectos cualitativos de las plántulas como la ausencia de herviboría y daños en brotes, tallos, follaje y raíces, son indicadores importantes de calidad y resistencia futura (Preece et al., 2023). Todos estos atributos, cuando son favorables, disminuyen la

susceptibilidad al estrés de plantación y por ende la supervivencia de las plantas (Grossnickle & MacDonald, 2018b).

En las áreas de pastos abandonados, las plántulas presentan desafíos significativos que pueden ser de naturaleza biótica o abiótica. Entre las limitaciones abióticas, factores como la alta exposición a la luz solar, las temperaturas extremas y la sequía, afectan directamente al crecimiento, supervivencia y calidad de las plántulas (Florentine & Westbrooke, 2004; Bol & Vroomen, 2008). No obstante, el microclima generado por la vegetación circundante y sombreado artificial, pueden ayudar a mitigar el estrés causado por estos factores, facilitando el establecimiento de las plántulas (Benayas et al., 2005; Salazar et al., 2012).

En cuanto a los factores bióticos, la presencia de los pastos exóticos y malezas genera competencia (Rehm & Feeley, 2016; Palomeque et al., 2017), tanto a nivel superficial como subterráneo. En la superficie, la altura del pasto puede influir en la disponibilidad de luz, mientras que a nivel de raíces se produce competencia por agua y nutrientes (Gunaratne et al., 2011; Ortega-Pieck et al., 2011; Muñiz-Castro et al., 2015; Osorio-Salomón et al., 2021). Es por esto que el manejo de los pastos puede inducir respuestas tanto favorables, al generar un efecto facilitador (Meli et al., 2013), como desfavorables al intensificar la competencia (Vadigi & Ward, 2013). Estas interacciones tienen consecuencias directas sobre el crecimiento y la supervivencia de las especies forestales plantadas.

Por lo tanto, comprender cómo la sombra y la competencia con pastos afectan en el crecimiento, supervivencia y la calidad de plántulas de especies nativas es crucial para recomendar las especies óptimas para condiciones de degradación (Anbarashan et al., 2020). Esto contribuirá a mejorar los resultados de los esfuerzos de reforestación en la región andina.

### **3.3. La gradiente altitudinal en los programas de reforestación**

La gradiente altitudinal ejerce una influencia en la función y dinámica de los ecosistemas al generar diversos climas (Keenan et al., 2011). Esta variación se debe a cambios en los factores atmosféricos, como la presión, temperatura, radiación y humedad ambiental (Körner, 2007). Es por esto que comprender cómo las plantas reaccionan ante estos cambios a lo largo de las gradientes altitudinales, es esencial para entender los procesos de adaptación de las plántulas y su impacto en la supervivencia y crecimiento (Gworek et al., 2007; Abbott & Brennan, 2014).

A medida que incrementa la altitud, también lo hacen la radiación solar y humedad, mientras que la temperatura disminuye (Murga-Orillo et al., 2021). Este último factor es el principal

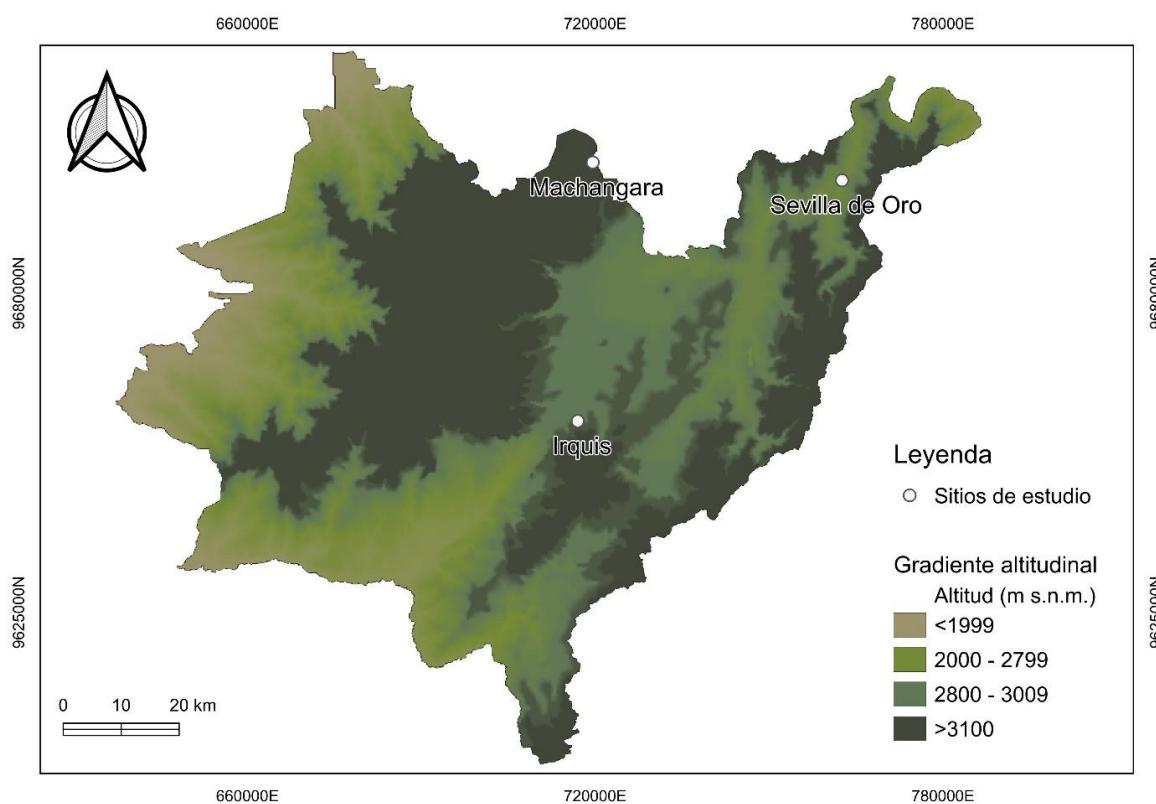
estrés abiótico que afecta al crecimiento y desarrollo de las plantas (Guan et al., 2023). La disminución de temperatura puede causar daños por fríos y heladas, afectando negativamente al crecimiento, calidad y desarrollo de las plantas (Zhang et al., 2022). Estos daños pueden ser irreversibles, llevando a la muerte de la planta, o reversibles a través de estrategias de evitación o de adaptación (Nievola et al., 2017). Sin embargo, los efectos negativos no se pueden generalizar, ya que otros factores no relacionados directamente con la gradiente, como la precipitación y su influencia sobre la humedad del suelo (Gworek et al., 2007), pueden determinar el éxito del establecimiento de las especies a mayores altitudes como lo reporta Becerra et al. (2016), con las especies *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria* y *Schinus polygamus* en un bosque esclerófilo en Chile y Lucas-Borja et al. (2022) con la especie *Pinus nigra* spp. en un ecosistema mediterráneo.

Es por esto que realizar experimentos en una gradiente altitudinal podría ayudar a entender la capacidad de respuesta de las especies frente a las variables ambientales, y por ende tomar mejores decisiones sobre especies para la reforestación en diferentes altitudes (Douterluge et al., 2015), sobre todo en parcelas de reforestación recién establecidas, cuya información aun es escasa.

#### 4. Materiales y métodos

##### 4.1. Área de estudio

Para este trabajo, se utilizó información recopilada en el marco del proyecto "Consolidando una red de monitoreo de bosques a largo plazo en un paisaje modificado por humanos en el Norte del Ecuador II" (COFOREC II) con financiamiento-VLIR UOS y "Rol de los factores ambientales y edáficos en el desarrollo inicial de plantas nativas en parcelas experimentales de reforestación en los Andes del sur del Ecuador", financiado por la Universidad de Cuenca. El experimento se llevó a cabo en tres sitios de estudio ubicados en la provincia del Azuay, distribuidos a lo largo de un gradiente altitudinal, desde los 2200 hasta los 3200 m s.n.m. (ver Figura 1). En la Tabla 1, se detallan las características climáticas de cada uno de los sitios en los que se implementó el experimento de reforestación.



**Figura 1.** Ubicación de los tres sitios que corresponden a las tres gradientes altitudinales (Sevilla de Oro: Gradiente baja, Irquis: Gradiente media, Machángara: Gradiente alta) como parte del experimento de reforestación en la provincia del Azuay.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1.** Datos climáticos de los tres sitios de estudio en donde se estableció el experimento de reforestación usando especies nativas.

Sitio	Gradiente altitudinal	Altitud (m s.n.m.)	Precipitación anual media (mm)	Humedad relativa (%)			Temperatura (°C)		
				Min	Med	Max	Min	Med	Max
Sevilla de Oro	Baja	2270	1162,21	32,15	84,93	100	4,24	14,72	28,09
Irquis	Media	2833	679,32	31,66	85,68	99,54	1,24	11,02	22,45
Machángara	Alta	3180	1266,74	31,7	89,63	100	-1,71	9,70	22,52

Nota: Los datos provienen de sensores instalados por el proyecto COFOREC II durante abril 2022 – marzo 2023.

#### 4.2. Selección y establecimiento de las especies

Las especies seleccionadas para el experimento fueron: *Weinmannia fagaroides* Kunth, *Oreocallis grandiflora* (Lam.), *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.), *Hedyosmum luteynii* Todzia y *Vallea stipularis* L. f. La elección de estas especies se basó en su importancia ecológica y social, relacionada con los usos por parte de las comunidades locales (Tabla 2). Las plántulas se propagaron a partir de semillas en el invernadero de especies forestales nativas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias desde 2020. Las semillas se recolectaron de al menos 10 plantas madre que cumplían excelentes características fenotípicas y estuvieron ubicadas en bosques nativos adyacentes como son los bosques de LLaviucu y Mazán.

Las plántulas se mantuvieron en condiciones de sombra (35%) en vivero hasta que alcanzaron un tamaño de entre 40 y 60 cm, dependiendo de la especie. Luego, se sometieron a una fase de aclimatación en cada gradiente altitudinal durante los meses de marzo a junio de 2022 bajo una malla de sarán (35% de sombra). Finalmente, el trasplante se llevó a cabo entre julio y agosto de 2022.

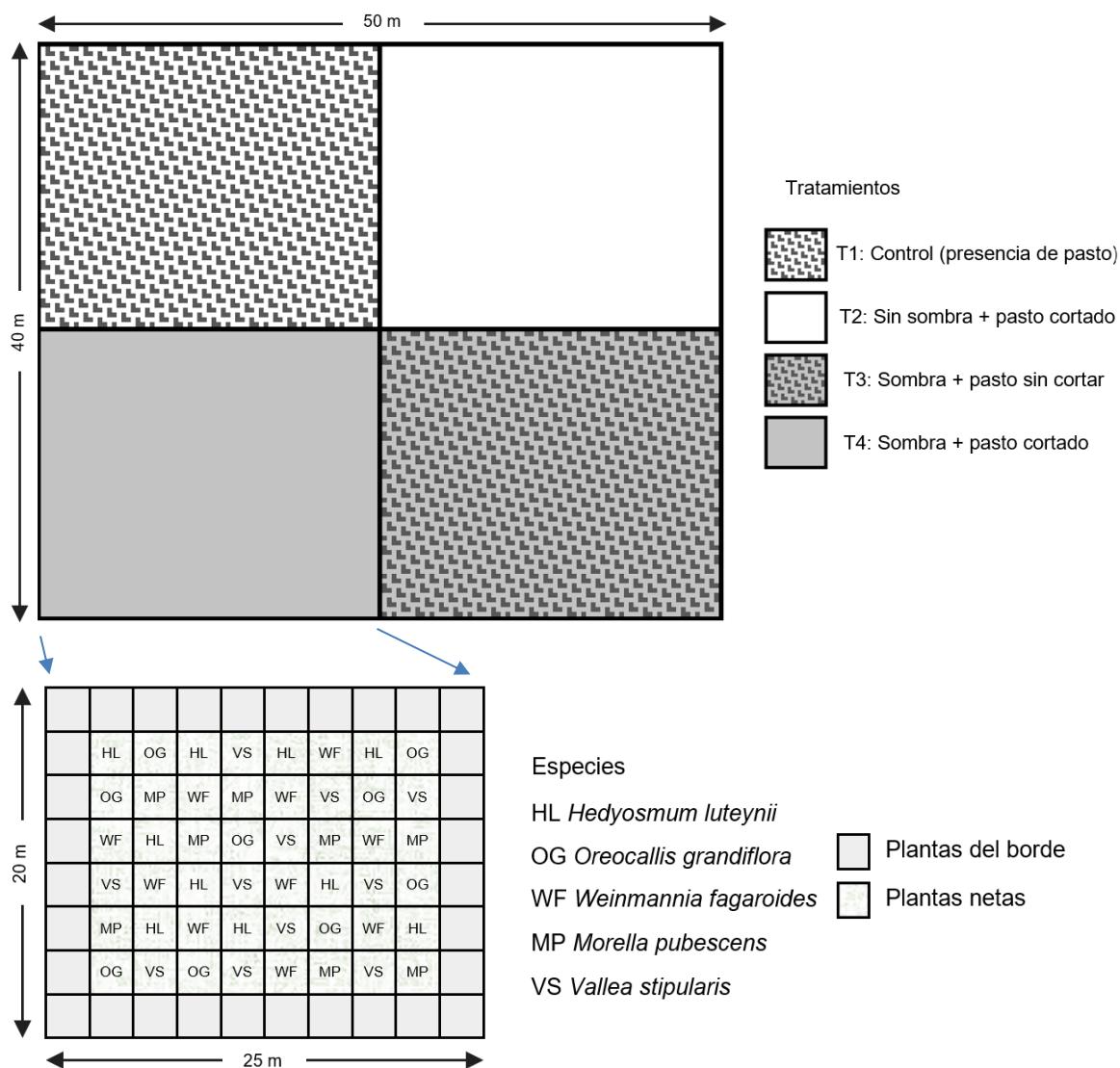
**Tabla 2.** Características ecológicas y socioeconómicas de cinco especies nativas implementadas en un experimento de reforestación bajo cuatro tratamientos y siguiendo una gradiente de elevación en la provincia del Azuay.

Espezie	<i>Hedyosmum luteynii</i> Todzia	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd) Wildbur (Lam.) R. Br.	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	
Familia	Chloranthaceae	Myricaceae	Proteaceae	Elaeocarpaceae	
Nombre común	Borracho, sacha guayusa, chasco	Laurel de cera	Gañal, cucharillo	Sacha capulí, pichul	
Importancia ecológica	Especie de bosque maduro con alta capacidad de regeneración.	Potencial para la reforestación y restauración de bosques secundarios y riberas hídricas. Especie de sucesión primaria con capacidad de fijación de nitrógeno.	Acelera procesos de sucesión vegetal y restaura suelos degradados, de pH ácido y bajo contenido de materia orgánica.	Especie con alto potencial para la regeneración de sitios quemados.	Previene la erosión del suelo y promueve la acumulación de materia orgánica.
Importancia socio-económica	La madera se emplea como leña y para la construcción. Sus hojas son aprovechadas en la preparación de infusiones medicinales.	La madera se emplea para construcción de viviendas, elaboración de artesanías. Los frutos proveen cera la cual se emplea en la elaboración de productos como jabones y cera para piso. Las hojas sirven para preparación de infusiones.	Uso maderable para elaboración de herramientas y artesanías. Sus hojas y flores tienen uso medicinal.	Uso maderable para la construcción de viviendas. Las hojas y brotes tiernos son empleados como alimento para el ganado.	La madera a más de tener un uso leñoso es empleada para la construcción. Las hojas se usan con fin medicinal y como forraje para el ganado.
Referencias	(De la Torre et al., 2006; Cerón-Factos, 2013; Torres-Rodríguez, 2019; Minga, 2021).	(Mahecha, 2004; De la Torre et al., 2006; Arrango et al., 2009).	(Bonifaz & Cornejo, 2002; Van den Eynden et al., 2003; De la Torre et al., 2006; Rios & Acevedo, 2007; Minga, 2021).	(De la Torre et al., 2006; Minga & Verdugo, 2016).	(Lozano, 2015; De la Torre et al., 2006; Puetate 2017; Minga & Verdugo, 2016).

#### 4.3. Diseño experimental y monitoreo

Se implementó un diseño de bloques al azar con ocho bloques por cada gradiente altitudinal. Cada bloque, con una dimensión 40 x 50m ( $2000\text{ m}^2$ ) y separados por 10 metros entre sí, se dividió en cuatro parcelas de 20 x 25m ( $500\text{ m}^2$ ). Cada parcela que, constituye la unidad experimental, se asignó aleatoriamente uno de cuatro tratamientos: T1 (control), T2 (sin sombra + pasto cortado), T3 (sombra + pasto sin cortar) y T4 (sombra + pasto cortado) (Figura 2). Para los tratamientos con sombra (T3 y T4) se instaló sarán al 35% a dos metros sobre el suelo, mientras que, en las parcelas con tratamiento de remoción de pasto (T2 y T4), se realizó un desbrozado mecánico antes y seis meses después del trasplante. En total se trasplantaron 7680 plántulas, 1536 por cada especie. En cada parcela, con una densidad de siembra de 2,5 x 2,5m y con un hoyado de 30 cm x 30 cm x 30 cm, se trasplantaron de manera aleatoria 80 plántulas (16 plántulas por especie) de las cuales 48 fueron las plántulas netas y 32 las del borde (Figura 2).

Los datos proceden de dos mediciones realizadas a las plántulas netas en dos momentos distintos: 1) M0: inmediatamente después del plantío (agosto de 2022), y 2) M1: cuatro meses después del trasplante (diciembre de 2022). Las variables utilizadas en este trabajo y monitoreadas dentro del proyecto fueron la altura (cm), diámetro basal (mm) y calidad de la planta. La medición de la altura de la plántula se realizó utilizando un flexómetro, midiendo desde el cuello de la planta hasta el meristemo apical. Para el diámetro basal, se utilizó un calibrador digital en el cuello de la planta, tomando dos mediciones en un mismo tallo. Con relación a la variable de calidad de la planta, los datos recolectados en campo abordaron una caracterización visual que evaluó el estado de las hojas, tallos y ápice de las plántulas. Durante esta evaluación, se identificó cualquier signo de enfermedad, deformidad, presencia de herviboría, quemaduras, cortes o cualquier otro daño en la planta. Además, se tomó en cuenta la defoliación y la presencia de nuevos brotes y/o tallos.



**Figura 2.** Esquema de la distribución de los tratamientos en los bloques y de las plántulas de las cinco especies nativas en las parcelas.

#### 4.4. Procesamiento de los datos

Los datos recopilados en campo fueron sometidos a un proceso de digitalización, verificación y limpieza antes de calcular la tasa relativa de crecimiento de la altura y diámetro basal, el porcentaje de supervivencia y calidad de las plántulas. Durante la fase de digitalización, se realizaron revisiones exhaustivas para identificar valores atípicos, errores de tipeo y valores faltantes. En la fase de verificación, se abordaron los valores atípicos para confirmar la autenticidad y asegurar de que reflejaran situaciones reales. Para los valores faltantes, se implementó un proceso de imputación que afectó al 0,8% de los datos. Estos se consideraron de naturaleza completamente aleatoria y se utilizó un modelo de regresión lineal específico para cada sitio, tratamiento y especie.

**4.5. Metodología para el objetivo específico 1: Evaluar el efecto de sombra y la remoción del pasto competitivo sobre el desarrollo inicial de cinco especies nativas a lo largo de una gradiente altitudinal**

**4.5.1. Cálculo de la Tasa relativa de crecimiento**

Para evaluar el efecto de la sombra y remoción del pasto competitivo en el crecimiento de las plántulas, se calculó la tasa relativa de crecimiento tanto para la altura y el diámetro del cuello de cada plántula (3387 plántulas). Para ello se empleó la siguiente ecuación (Hunt, 1982):

$$TRC = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{\Delta t} : [cm \cdot cm^{-1} \cdot mes^{-1}] \text{ o } [mm \cdot mm^{-1} \cdot mes^{-1}]$$

En donde:

$x_2$ : Altura (cm) o Diámetro basal (mm) cuatro meses después del trasplante (Medición 2).

$x_1$ : Altura (cm) o Diámetro basal (mm) al momento del trasplante (Medición 1).

$\Delta t$ : Tiempo transcurrido (mes) entre la medición 1 y 2.

**4.5.2. Cálculo de la Supervivencia**

La supervivencia por especie se calculó a partir del recuento de las plántulas vivas en cada parcela, después de cuatro meses del trasplante, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ supervivencia} = (x_2 / x_1) \cdot 100$$

En donde:

$x_1$ : Total de plantas al momento del trasplante (Medición 1).

$x_2$ : Número de plántulas vivas cuatro meses después del trasplante (Medición 2).

**4.6. Análisis estadístico de la Tasa relativa de crecimiento de la altura ( $TRC_a$ ), diámetro basal ( $TRC_{db}$ ) y Supervivencia**

Para analizar el efecto de los tratamientos y la gradiente altitudinal sobre la tasa relativa de crecimiento de altura y diámetro basal, así como en la supervivencia de cada especie, se realizó un análisis descriptivo a partir de las medianas debido a la presencia de valores atípicos reales verificados en campo. Además, se llevó a cabo una prueba inferencial a través de Modelos Lineales Mixtos (MLM). Para el crecimiento relativo se utilizó los valores medios por parcelas de cada una de las especies (32 observaciones/sitio), con un total de 96 observaciones. Posteriormente, se realizó un análisis por especie con MLM utilizando la

máxima verosimilitud implementada en la función lmer (Bates et al., 2015) del software R versión 4.3.0. Se ajustaron cinco modelos por cada variable de respuesta y especie, con el fin de explorar tanto efectos específicos, aditivos y aleatorios de los efectos fijos los cuales fueron la gradiente altitudinal (tres niveles: baja, media, alta) y los tratamientos (cuatro niveles: T1: control; T2: sin sombra + pasto cortado; T3: sombra + pasto sin cortar; T4: sombra + pasto cortado), mientras que el bloque se consideró como un efecto aleatorio (Tabla 3).

**Tabla 3.** Modelos lineales mixtos ajustados para determinar el efecto de las variables independientes y sus interacciones (sitio, tratamiento) en la tasa relativa de crecimiento de la altura, diámetro basal y supervivencia, considerando el bloque como un efecto aleatorio.

Modelo	Ecuación	Variables	Interacciones
		independientes	
Modelo 1	$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + (b_k + e_{ijk})$	Sitio, tratamiento	Ninguna
Modelo 2	$Y_{ijk} = \mu + (\tau_i \cdot \alpha_j) + \beta_k + (b_j + e_{ijk})$	Sitio, tratamiento	Sitio·tratamiento
Modelo 3	$Y_{ijk} = \mu + (\tau_i \cdot \alpha_j) + \beta_k + (b_k + e_{ijk})$	Sitio, tratamiento	Sitio: tratamiento
Modelo 4	$Y_{ik} = \mu + \tau_i + \beta_k + (b_k + e_{ik})$	Sitio	Ninguna
Modelo 5	$Y_{jk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (b_j + e_{jk})$	Tratamiento	Ninguna

Nota:  $Y_{ijk}$ ,  $Y_{ik}$ ,  $Y_{jk}$ : Representan la tasa relativa de crecimiento de altura, diámetro basal y supervivencia para las diferentes combinaciones de sitio, tratamiento y bloque. En donde,  $\mu$ : es el valor medio;  $\tau_i$ : representa el efecto del i-ésimo sitio;  $\alpha_j$ : es el efecto del j-ésima tratamiento;  $\beta_k$ : indica el efecto del k-ésimo bloque;  $b_j$ : señala el efecto aleatorio asociado al j-ésimo bloque o al k-ésimo bloque;  $e_{ijkl}$ : representan el término de error, que es la variabilidad no explicada en las variables de respuesta para las diferentes combinaciones de sitio, tratamiento y bloque.

Para evaluar el supuesto de normalidad en cada uno de los cinco modelos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados indicaron que el supuesto de normalidad no se cumplía en todos los modelos ( $p < 0,05$ ). Por lo tanto, se aplicaron las siguientes transformaciones a los datos con el fin de obtener comparabilidad entre todos los modelos:

- $TRC_a$ : para los modelos de todas las especies se empleó la transformación  $\sqrt[3]{TRC_a - 0,002}$
- $TRC_{db}$ : se empleó la transformación  $\sqrt[2]{TRC_{db} - 0,003}$  únicamente para las especies *M. pubescens*, *O. grandiflora* y *W. fagaroides*.
- Supervivencia: para los modelos ajustados de casi todas las especies se empleó la transformación arcseno ( $\frac{\text{Supervivencia} (\%)}{100}$ ), excepto para *M. pubescens* que se usó arcseno ( $\frac{\text{Supervivencia} (\%)}{100} - 0,001$ ).

Posterior a la aplicación de las transformaciones, se verificaron los supuestos del modelo lineal: linealidad, homogeneidad de varianza, independencia y normalidad de los errores, y la ausencia de multicolinealidad. Los modelos que no cumplían con uno o más de los supuestos, se descartaron para la comparación. Se utilizó un enfoque de selección de modelos aplicando Criterio de Información de Akaike (AIC) para seleccionar el modelo con mejor ajuste y el criterio de Información Bayesiano (BIC) para elegir el modelo más parsimonioso, y se seleccionó el modelo con el valor AIC y BIC más cercano a cero. El Modelo 3 presentó el mejor ajuste y criterios de información para todas las variables dependientes y las especies (Anexo I).

#### **4.7. Metodología para el objetivo específico 2: Analizar la asociación de la calidad de las plántulas de las cinco especies nativas con los tratamientos y la gradiente altitudinal**

##### **4.7.1. Obtención de los rangos de calidad de la plántula**

Para determinar los rangos de calidad como bueno, regular y malo, por cada individuo (3387 plántulas), se analizaron los daños más comunes reportados en la variable descriptiva de calidad de la planta y que podrían afectar al desarrollo de las plántulas. A partir de esta información se seleccionaron los siguientes criterios: ápice quemado (aq), tallo cortado (tc), tallo quemado (tq), hojas quemadas (hq), herbivoría (He), defoliación (De) y casi muerta (CM). Posteriormente, se utilizó una codificación binaria para indicar la presencia (1) o ausencia (0) de cada uno de estos criterios de daño por cada plántula. Se definió que una plántula con calidad “Buena” presenta entre 0 a 2 de estos daños, una plántula con calidad “Regular” presenta entre 3 a 5 daños, y una plántula con calidad “Mala” presenta más de 6 daños. Las plántulas que se reportaban como casi muerta, se les asignó un valor de 6, considerándola como de calidad “Malo”

##### **4.7.2. Análisis estadístico de la calidad de la plántula**

Para describir y explorar las asociaciones que existen entre la calidad de las plántulas “Bueno”, “Regular” y “Malo” con la gradiente altitudinal y los tratamientos, por especie considerando a todos los individuos, se realizó un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), para lo cual se emplearon los paquetes FactoMineR y factoextra en R versión 4.3.0.

## 5. Resultados

### 5.1. Tasa relativa de crecimiento de la altura (TRC<sub>a</sub>)

En la gradiente baja, el valor más alto de la mediana para la mayoría de las especies fue en T3. En el caso de *W. fagaroides* y *V. stipularis*, tuvieron las tasas más bajas en todos los tratamientos incluso su crecimiento fue negativo en T1 y T2 (Tabla 4) debido al reporte de tallos cortados producto de herviboría de mamíferos y del desbrozado, no obstante, lo opuesto fue encontrado en los tratamientos con sombra (T3 y T4), notándose un efecto positivo en el crecimiento; este mismo patrón fue observado para *O. grandiflora* y *M. pubescens*, las cuales tuvieron valores de mediana similar entre los tratamientos (Figura 3).

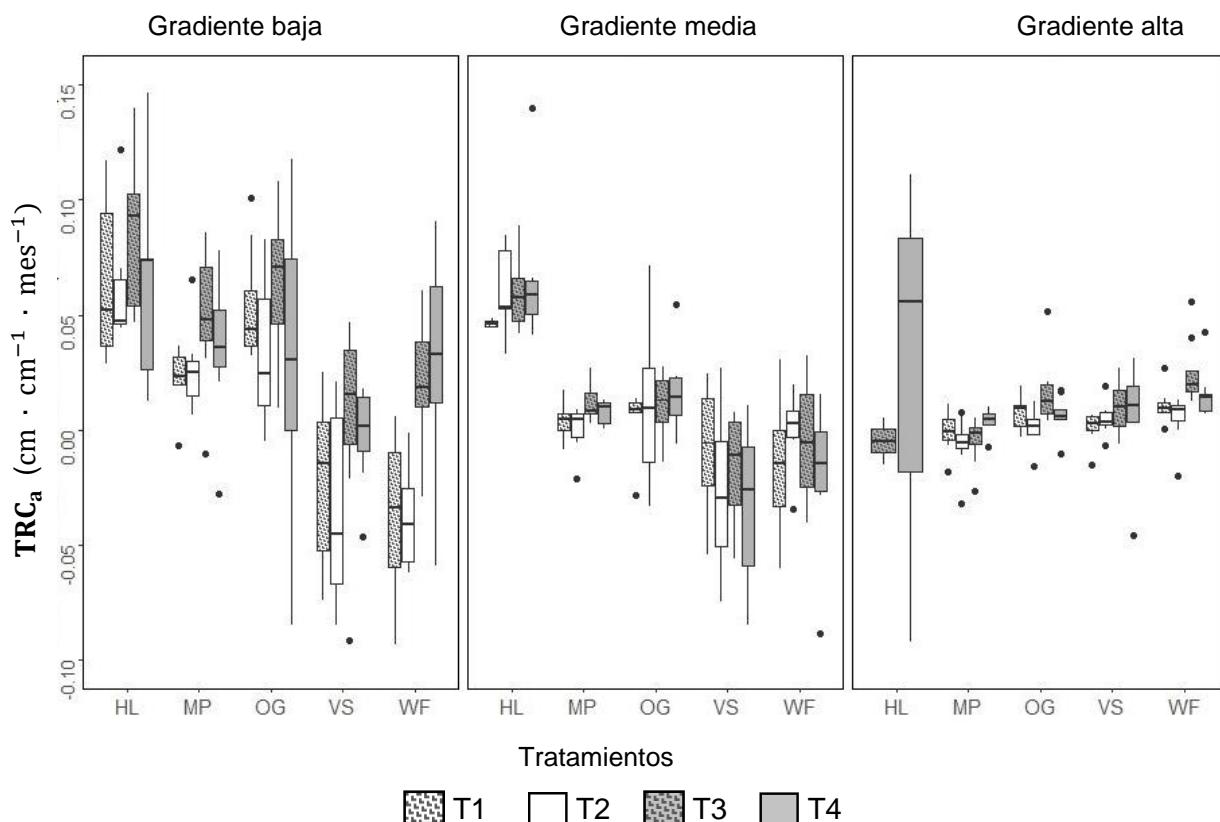
En la gradiente media, *H. luteynii* manifestó un valor de mediana superior para la tasa relativa en comparación con las demás especies y en todos los tratamientos. *W. fagaroides* se destaca por un mejor crecimiento relativo en el T2. *V. stipularis* y *W. fagaroides* tuvieron una tasa de crecimiento negativo en todos los tratamientos, excepto en T2 para *W. fagaroides*. Por otra parte, se registró un leve incremento para los valores de la mediana en la tasa de crecimiento para las especies *H. luteynii*, *M. pubescens* y *O. grandiflora* en los tratamientos con sombra (T3 y T4) (Figura 3).

En la gradiente alta, todas las especies mostraron valores de mediana superiores para la tasa relativa de altura en los tratamientos de sombra (T3 y T4). *H. luteynii*, debido a su completa mortalidad en los tratamientos T1 y T2 no se reportaron datos de crecimiento, asimismo, en el T3 su valor de mediana fue negativo. Sin embargo, en el T4 el crecimiento fue muy alto ( $0,055 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) (Tabla 4). En el caso de *M. pubescens*, en todos los tratamientos la tasa de crecimiento fue negativo, excepto en el T4 donde su valor fue positivo (Figura 3).

En función de la elevación, todas las especies tuvieron su mayor crecimiento en altura en la gradiente baja, no obstante, *W. fagaroides* y *V. stipularis* presentaron un crecimiento aún más bajo, e incluso negativo. *H. luteynii*, *M. pubescens* y *O. grandiflora* experimentó un crecimiento reducido en la gradiente alta.

El análisis de los modelos lineales mixtos ajustados para cada especie indicaron que la gradiente y el tratamiento interactúan para explicar el crecimiento relativo en altura (Tabla 5). Según los resultados del análisis estadístico (Figura 5) para la especie *H. luteynii* se encontró una reducción significativa en la altura de la plántula bajo el tratamiento T3 en la gradiente alta ( $p=0,024$ ). *M. pubescens* tuvo una respuesta positiva en el tratamiento T3 y estadísticamente significativa ( $p<0,001$ ) en la gradiente baja, sin embargo, en la gradiente

media y alta todos los tratamientos tuvieron un efecto significativamente negativo ( $p<0,015$ ). Para *O. grandiflora*, todos los tratamientos no generaron un efecto significativamente positivo de crecimiento en la gradiente alta ( $p<0,001$ ), mientras que en la gradiente media así mismo hubo esa respuesta, pero bajo los tratamientos T1, T3 y T4 ( $p<0,001$ ). En cuanto a *V. stipularis*, bajo el tratamiento T1 en la gradiente alta no presentó crecimiento ( $p=0,043$ ). Por último, *W. fagaroides* presentó una respuesta favorable del crecimiento en los tratamientos con sombra T3 ( $p=0,020$ ) y T4 ( $p<0,001$ ) en la gradiente baja, y bajo T3 en la gradiente media ( $p=0,037$ ) y alta ( $p=0,022$ ).



**Figura 3.** Boxplot de la Tasa relativa de crecimiento de la altura (TRC<sub>a</sub>) inicial de cinco especies forestales nativas (HL: *Hedyosmum luteynii*, MP: *Morella pubescens*; OG: *Oreocallis grandiflora*; VS: *Vallea stipularis*; WF: *Weinmannia fagaroides*) bajo cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control; T2: sin sombra + pasto cortado; T3: sombra + pasto sin cortar; T4: sombra + pasto cortado), establecidos en tres gradientes altitudinales distintas (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

**Tabla 4.** Valores de media  $\bar{x}$ , desviación estándar  $\sigma$  y mediana  $\tilde{x}$ , de la Tasa relativa de crecimiento de la altura ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamiento	<i>Hedyosmum luteynii</i>			<i>Morella pubescens</i>			<i>Oreocallis grandiflora</i>			<i>Vallea stipularis</i>			<i>Weinmannia fagaroides</i>		
		$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$
	T1	0,064	0,034	0,052	0,023	0,014	0,023	0,054	0,025	0,044	-0,023	0,037	-0,015	-0,059	0,053	-0,055
Gradiente	T2	0,084	0,066	0,054	0,027	0,018	0,025	0,033	0,033	0,024	-0,054	0,053	-0,067	-0,072	0,066	-0,052
baja	T3	0,117	0,051	0,121	0,048	0,030	0,048	0,063	0,033	0,071	0,004	0,045	0,015	0,021	0,028	0,018
	T4	0,108	0,071	0,111	0,035	0,031	0,036	0,034	0,067	0,031	-0,002	0,022	0,002	0,029	0,051	0,033
	T1	0,187	0,243	0,048	0,004	0,008	0,005	0,005	0,014	0,009	-0,025	0,054	-0,012	-0,017	0,032	-0,015
Gradiente	T2	0,060	0,021	0,054	0,000	0,010	0,004	0,013	0,038	0,010	-0,044	0,058	-0,039	-0,013	0,041	0,000
media	T3	0,060	0,018	0,057	0,013	0,009	0,009	0,011	0,014	0,013	-0,038	0,065	-0,020	-0,005	0,026	-0,005
	T4	0,065	0,031	0,059	0,008	0,005	0,010	0,016	0,018	0,014	-0,034	0,037	-0,026	-0,020	0,032	-0,014
	T1	-	-	-	-0,001	0,009	-0,001	0,007	0,007	0,009	0,001	0,007	0,003	0,011	0,008	0,010
Gradiente	T2	-	-	-	-0,007	0,012	-0,006	0,001	0,008	0,002	0,005	0,007	0,003	0,005	0,011	0,009
alta	T3	-0,005	0,015	-0,005	-0,005	0,010	-0,001	0,017	0,015	0,012	0,009	0,011	0,010	0,025	0,015	0,020
	T4	0,025	0,105	0,056	0,004	0,005	0,005	0,006	0,009	0,006	0,007	0,024	0,010	0,016	0,012	0,014

El número de observaciones para todas las especies es igual a 96, excepto para *Hedyosmum luteynii*, donde fueron 80 observaciones.

**Tabla 5.** Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal mixto de la interacción (Modelo 3, en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) para la Tasa relativa de crecimiento de la altura por cada especie.

Factores	<i>Hedyosmum luteynii</i>		<i>Morella pubescens</i>		<i>Oreocallis grandiflora</i>		<i>Vallea stipularis</i>		<i>Weinmannia fagaroides</i>	
	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value
Intercesto	0,38	<b>&lt;0,001</b>	0,29	<b>&lt;0,001</b>	0,36	<b>&lt;0,001</b>	0,24	<b>&lt;0,001</b>	0,14	<b>0,010</b>
Gradiente baja × T2	0,03	0,511	-0,01	0,638	-0,03	0,459	0,02	0,772	-	-
Gradiente baja × T3	0,09	0,056	0,09	<b>0,003</b>	0,01	0,736	0,09	0,089	0,16	<b>0,005</b>
Gradiente baja × T4	0,06	0,215	0,05	0,074	0,03	0,424	-0,02	0,621	0,22	<b>&lt;0,001</b>
Gradiente media × T1	0,11	0,089	-0,11	<b>&lt;0,001</b>	-0,16	<b>&lt;0,001</b>	0,00	0,951	0,13	0,051
Gradiente media × T2	-0,00	0,995	-0,13	<b>&lt;0,001</b>	-0,08	0,055	0,06	0,392	0,04	0,516
Gradiente media × T3	0,00	0,980	-0,09	<b>0,002</b>	-0,12	<b>0,002</b>	-0,11	0,050	0,13	<b>0,037</b>
Gradiente media × T4	0,01	0,859	-0,10	<b>0,002</b>	-0,11	<b>0,005</b>	-0,07	0,204	0,09	0,255
Gradiente media × T1	-	-	-0,13	<b>0,001</b>	-0,15	<b>&lt;0,001</b>	-0,10	<b>0,043</b>	0,07	0,251
Gradiente media × T2	-	-	-0,12	<b>0,006</b>	-0,21	<b>&lt;0,001</b>	-0,08	0,081	0,06	0,269
Gradiente media × T3	-0,23	<b>0,024</b>	-0,14	<b>0,015</b>	-0,14	<b>&lt;0,001</b>	-0,02	0,683	0,13	<b>0,022</b>
Gradiente media × T4	0,04	0,558	-0,16	<b>&lt;0,001</b>	-0,19	<b>&lt;0,001</b>	-0,04	0,418	0,09	0,127
Estadísticos de los modelos										
Grados de libertad	12		14		14		14		13	
Observaciones	59		66		75		45		52	
R2 Marginal	0,23		0,71		0,56		0,48		0,49	
R2 Condicional	NA		NA		0,63		0,64		0,65	

Los valores significativos ( $p < 0,05$ ) están resaltados. Los valores de los estimados de todas las especies corresponden a la transformación  $\sqrt[3]{\text{TRC}_a} - 0,002$ .

## 5.2. Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal (TRC<sub>db</sub>)

En la gradiente baja, *M. pubescens* tuvo la mayor tasa relativa de crecimiento en su diámetro basal en los cuatro tratamientos, alcanzando su mejor respuesta en T2 con una tasa mediana de  $0,108 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$  (Tabla 6). *V. stipularis* fue la especie que presentó la menor tasa en comparación con todas las especies y en casi todos los tratamientos (excepto en T4). Para el resto de las especies, los valores de mediana fueron similares entre los tratamientos (Figura 4).

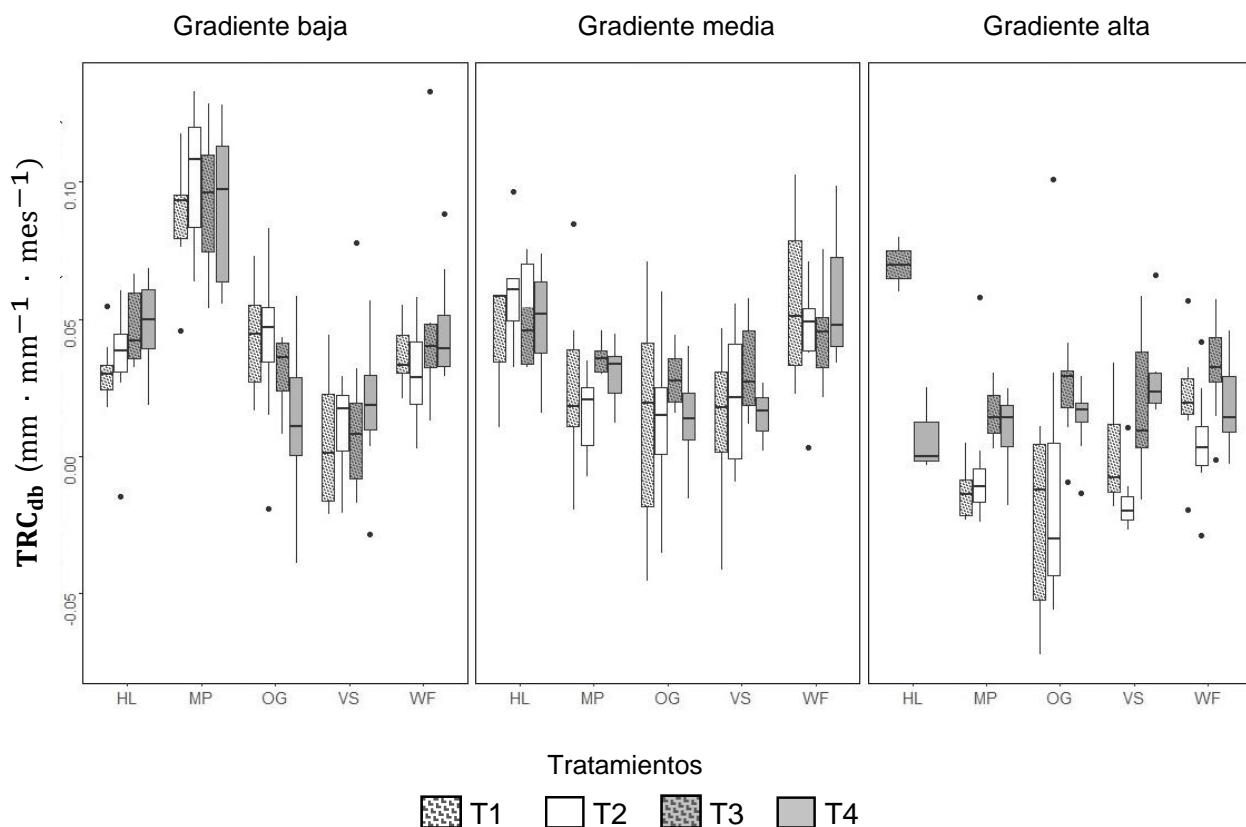
En la gradiente media, *H. luteynii* y *W. fagaroides* tuvieron la mejor respuesta en su valor de mediana en los cuatro tratamientos. *H. luteynii* presentó la tasa más alta en T2 con un valor de  $0,061 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ , seguido por *W. fagaroides* con  $0,0511 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$  en T1 (Tabla 6). La especie con la tasa más baja fue *O. grandiflora* en comparación a las otras especies en el T4. *M. pubescens*, *O. grandiflora* y *V. stipularis* respondieron positivamente en el T3 (Figura 4).

En la gradiente alta, se puede apreciar que los tratamientos con sombra (T3 y T4) tuvieron un efecto positivo en la tasa de crecimiento en todas las especies. Se destaca *H. luteynii* en el tratamiento T3 con el valor de mediana más alto ( $0,0698 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ). *V. stipularis*, presentó el valor de mediana más alta en el T4 ( $0,0233 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ). Por otro lado, *M. pubescens*, *V. stipularis* y *O. grandiflora* tuvo una tasa de crecimiento negativo en los T1 y T2 con  $-0,0139$ ;  $-0,0300$  y  $-0,0198 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$  respectivamente (Tabla 6).

En cuanto al efecto de la altitud en el crecimiento del diámetro, los resultados demostraron que en la gradiente baja, se observó un mayor crecimiento en *M. pubescens* y *O. grandiflora*. En la gradiente media, se destacaron las especies *V. stipularis* y *W. fagaroides* por tener un crecimiento superior que en los otros sitios. *H. luteynii* presentó un crecimiento superior en la gradiente alta, en comparación con las demás especies, que presentaron un menor crecimiento (Figura 4).

Los resultados del análisis estadístico indican que la interacción entre la gradiente altitudinal y los tratamientos es importante para explicar el crecimiento del diámetro basal de cada una de las especies (Tabla 7), cada interacción por especie se detalla a continuación. *H. luteynii* mostró un crecimiento significativamente positivo en la gradiente baja en el T4 ( $p=0,049$ ), en la gradiente media bajo los tratamientos T2 ( $p=0,010$ ) y T3 ( $p=0,038$ ). Así mismo en la gradiente alta, *M. pubescens* no presentó crecimiento bajo todos los tratamientos en la gradiente media y alta ( $p<0,001$ ). Para *O. grandiflora*, el tratamiento T4 (sombra + pasto cortado) tuvo un efecto negativo en todas las gradientes ( $p<0,021$ ), así mismo, provocaron la

misma respuesta el T2 en la gradiente media ( $p=0,036$ ) y T1 en la gradiente alta ( $p=0,004$ ). Para *V. stipularis*, los tratamientos con sombra T3 y T4 favorecieron al crecimiento en la gradiente media ( $p=0,023$ ) y alta ( $p=0,042$ ) respectivamente. *W. fagaroides* presentó una respuesta negativa en la gradiente alta bajo los tratamientos con pasto cortado T2 ( $p=0,004$ ) y T4 ( $p=0,22$ ).



**Figura 4.** Boxplot de la Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal (TRC<sub>db</sub>) de cinco especies forestales nativas (HL: *Hedyosmum luteynii*, MP: *Morella pubescens*, OG: *Oreocallis grandiflora*, VS: *Vallea stipularis*, WF: *Weinmannia fagaroides*) bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), establecidos en tres gradientes altitudinales distintas (Gradiante baja: 2270 m s.n.m., Gradiante media: 2833 m s.n.m., Gradiante alta: 3180 m s.n.m.).

**Tabla 6.** Valores de media  $\bar{x}$ , desviación estándar  $\sigma$  y mediana  $\tilde{x}$ , de la Tasa relativa de crecimiento del diámetro basal ( $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamiento	<i>Hedyosmum luteynii</i>						<i>Morella pubescens</i>						<i>Oreocallis grandiflora</i>						<i>Vallea stipularis</i>						<i>Weinmannia fagaroides</i>						
		$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$							
Gradiente baja	T1	0,031	0,012	0,030	0,087	0,021	0,093	0,044	0,019	0,044	0,006	0,026	0,001	0,037	0,012	0,033	0,034	0,022	0,038	0,101	0,026	0,108	0,041	0,031	0,047	0,012	0,017	0,017	0,030	0,019	0,029	
	T2	0,034	0,022	0,038	0,101	0,026	0,108	0,041	0,031	0,047	0,012	0,017	0,001	0,037	0,012	0,033	0,047	0,024	0,061	0,016	0,015	0,021	0,012	0,029	0,051	0,021	0,049	0,046	0,021	0,049		
	T3	0,047	0,014	0,042	0,093	0,025	0,096	0,032	0,013	0,036	0,013	0,031	0,008	0,048	0,014	0,040	0,051	0,019	0,046	0,036	0,016	0,027	0,017	0,045	0,017	0,046	0,049	0,023	0,048			
	T4	0,048	0,017	0,050	0,091	0,028	0,097	0,012	0,030	0,011	0,018	0,025	0,019	0,047	0,021	0,039	0,049	0,021	0,052	0,030	0,011	0,028	0,014	0,057	0,023	0,048	0,051	0,021	0,049			
Gradiente media	T1	0,043	0,028	0,059	0,026	0,031	0,018	0,014	0,041	0,020	0,011	0,033	0,018	0,058	0,031	0,051	0,061	0,024	0,061	0,016	0,015	0,021	0,012	0,026	0,021	0,046	0,021	0,049	0,049	0,021	0,046	
	T2	0,061	0,024	0,061	0,016	0,015	0,021	0,012	0,029	0,015	0,022	0,026	0,021	0,046	0,031	0,051	0,051	0,019	0,046	0,016	0,017	0,027	0,017	0,045	0,027	0,050	0,021	0,049	0,049	0,021	0,046	
	T3	0,051	0,019	0,046	0,036	0,006	0,036	0,028	0,011	0,028	0,031	0,017	0,027	0,045	0,017	0,046	0,049	0,021	0,052	0,036	0,014	0,017	0,015	0,009	0,016	0,057	0,023	0,048	0,051	0,021	0,049	
	T4	0,049	0,021	0,052	0,030	0,011	0,033	0,014	0,017	0,014	0,015	0,009	0,016	0,057	0,023	0,048	0,049	0,021	0,052	0,030	0,011	0,017	0,015	0,009	0,016	0,057	0,023	0,048	0,051	0,021	0,049	
Gradiente alta	T1	-	-	-	-0,012	0,011	-0,014	-0,023	0,033	-0,012	0,000	0,019	-0,008	0,021	0,021	0,019	-0,003	-0,003	0,026	-0,011	-0,009	0,052	-0,030	-0,016	0,012	-0,020	0,005	0,021	0,003	0,018	0,033	
	T2	-	-	-	-	-0,003	0,026	-0,011	-0,009	0,052	-0,030	-0,016	0,012	-0,020	0,005	0,021	-0,003	-0,003	0,026	-0,011	-0,009	0,052	-0,030	-0,016	0,012	-0,020	0,005	0,021	0,003	0,018	0,033	
	T3	0,070	0,014	0,070	0,016	0,010	0,014	0,023	0,016	0,029	0,018	0,025	0,009	0,032	0,018	0,033	0,070	0,014	0,070	0,016	0,010	0,014	0,023	0,016	0,029	0,017	0,019	0,014	0,017	0,014	0,018	0,033
	T4	0,007	0,016	0,000	0,009	0,017	0,014	0,014	0,013	0,017	0,029	0,016	0,023	0,019	0,017	0,014	0,007	0,016	0,000	0,010	0,014	0,023	0,016	0,029	0,017	0,019	0,014	0,017	0,014	0,018	0,033	

El número de observaciones para todas las especies es igual a 96, excepto para *Hedyosmum luteynii*, donde fueron 80 observaciones.

**Tabla 7.** Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal mixto de la interacción (Modelo 3, ver en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) en la Tasa relativa del diámetro basal por cada especie.

Factores	<i>Hedyosmum luteynii</i>		<i>Morella pubescens</i>		<i>Oreocallis grandiflora</i>		<i>Vallea stipularis</i>		<i>Weinmannia fagaroides</i>	
	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value
Intercepción	0,03	<b>&lt;0,001</b>	0,30	<b>&lt;0,001</b>	0,21	<b>&lt;0,001</b>	0,01	0,468	0,20	<b>&lt;0,001</b>
Gradiente baja × T2	0,00	0,728	0,02	0,251	0,01	0,562	0,01	0,553	-0,02	0,287
Gradiente baja × T3	0,02	0,063	0,01	0,630	-0,03	0,183	0,01	0,461	0,02	0,432
Gradiente baja × T4	0,02	<b>0,049</b>	0,01	0,783	-0,06	<b>0,021</b>	0,01	0,226	0,02	0,375
Gradiente media × T1	0,01	0,467	-0,12	<b>&lt;0,001</b>	-0,01	0,599	0,01	0,644	0,04	0,135
Gradiente media × T2	0,03	<b>0,010</b>	-0,16	<b>&lt;0,001</b>	-0,05	<b>0,036</b>	0,02	0,146	0,01	0,597
Gradiente media × T3	0,02	<b>0,038</b>	-0,10	<b>&lt;0,001</b>	-0,04	0,117	0,03	<b>0,023</b>	0,02	0,531
Gradiente media × T4	0,02	0,060	-0,12	<b>&lt;0,001</b>	-0,07	<b>0,003</b>	0,01	0,396	0,04	0,129
Gradiente media × T1	-	-	-0,22	<b>&lt;0,001</b>	-0,11	<b>0,001</b>	-0,01	0,596	-0,03	0,326
Gradiente media × T2	-	-	-0,14	<b>&lt;0,001</b>	0,04	0,253	-0,02	0,051	-0,09	<b>0,004</b>
Gradiente media × T3	0,04	<b>0,010</b>	-0,17	<b>&lt;0,001</b>	-0,04	0,105	0,01	0,265	-0,02	0,443
Gradiente media × T4	-0,02	0,071	-0,16	<b>&lt;0,001</b>	-0,07	<b>0,004</b>	0,02	<b>0,042</b>	-0,06	<b>0,022</b>
Estadísticos del modelo										
Grados de libertad	12		14		14		14		14	
Observaciones	61		80		74		96		96	
R2 Marginal	0,31		0,77		0,35		0,23		0,49	
R2 Condicional	0,44		0,82		0,42		0,33		0,55	

Los valores significativos ( $p < 0,05$ ) están resaltados. Los valores de los estimados de las especies *M. pubescens*, *O. grandiflora* y *W. fagaroides* corresponden a la transformación  $\sqrt[2]{\text{TRC}_{db}} - 0,003$ .

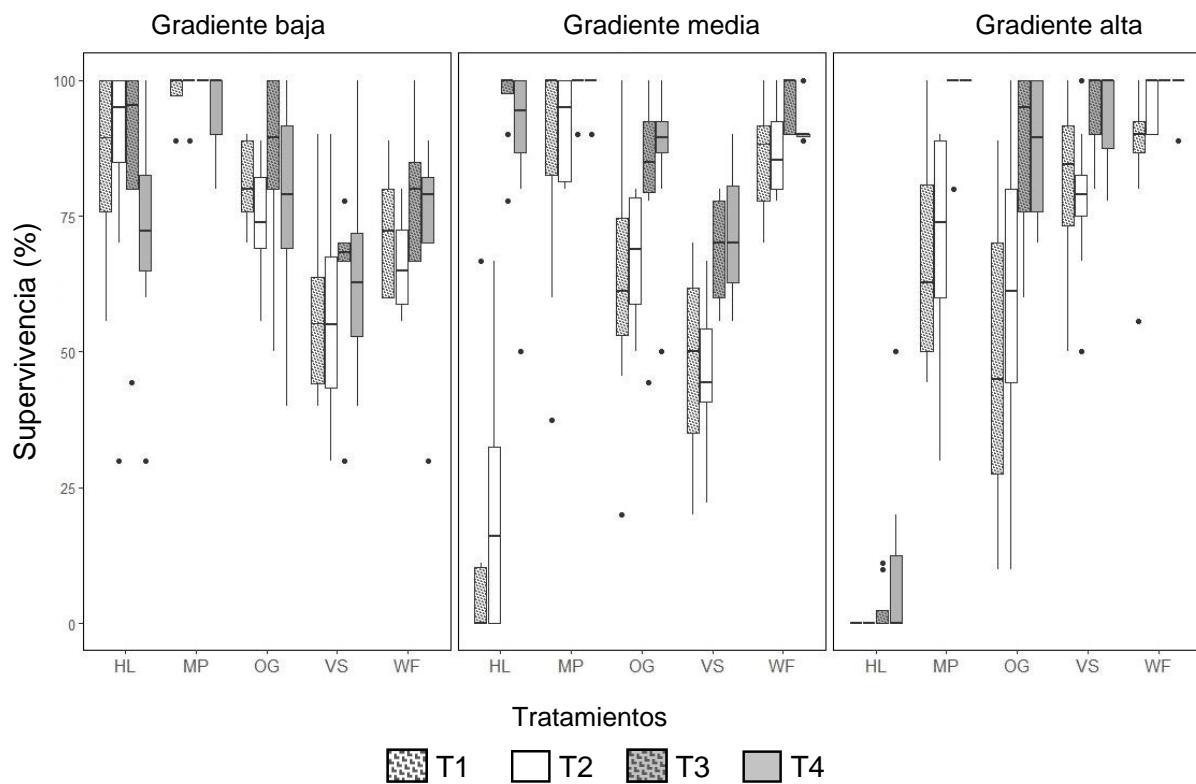
### 5.3. Supervivencia

En la gradiente baja, la supervivencia de todas las especies y bajo todos los tratamientos después de cuatro meses tras el trasplante superó el 50% (Figura 5). En la gradiente media, los tratamientos T3 y T4 fueron los mejores para todas las especies, lo cual indica un efecto positivo de la sombra (supervivencia > 60%). Por otro lado, se destaca que *H. luteynii* y *V. stipularis* tuvieron los menores porcentajes de supervivencia (< 50%) en los tratamientos T1 y T2, que corresponden a los tratamientos sin sombra (Tabla 8).

En la gradiente alta, al igual que en la gradiente media, se observó un efecto positivo de la sombra (T3 y T4) para la mayoría de las especies, con una supervivencia mayor al 80%. Sin embargo, *H. luteynii* tuvo la más baja supervivencia en todos los tratamientos (< 10%). En el caso de *M. pubescens* se registró un 100% de supervivencia (Tabla 8).

Considerando el efecto de la altitud se observó que las especies *M. pubescens*, *H. luteynii* y *O. grandiflora* presentaron los porcentajes de supervivencia más altos en la gradiente más baja, en otras palabras, la supervivencia disminuye a medida que incrementa la altitud. Interesantemente, *W. fagaroides* y *V. stipularis* mostraron mejores porcentajes de supervivencia en los sitios de mayor elevación (gradiente media y alta), mientras que lo contrario ocurrió en la gradiente más baja, y el patrón de supervivencia fue que aumenta conforme incrementa la gradiente altitudinal (Figura 5).

Según los resultados del modelo lineal de efectos mixtos ajustado por cada especie, la gradiente altitudinal y los tratamientos aplicados tienen una interacción significativa (Tabla 9). En la Tabla 9 se puede apreciar que *H. luteynii* presentó sobrevivencia significativamente negativa en la gradiente media bajo los tratamientos sin sombra T1 y T2 ( $p < 0,001$ ), mientras que en la gradiente alta todos los tratamientos tuvieron un efecto significativamente negativo. *M. pubescens* en la gradiente alta los tratamientos sin sombra T1 y T2 afectaron negativamente la supervivencia ( $p < 0,001$ ). *O. grandiflora* en la gradiente alta, bajo el tratamiento T1 (presencia de pasto), presentó una disminución significativa de la supervivencia ( $p = 0,010$ ). *V. stipularis* en la gradiente alta, bajo todos los tratamientos, mostró un aumento significativo ( $p < 0,019$ ). Por último, para *W. fagaroides* todos los tratamientos en la gradiente media y alta, generaron un efecto positivo en la supervivencia ( $p < 0,012$ ).



**Figura 5.** Boxplot de la supervivencia inicial (%) de cinco especies forestales nativas (HL: *Hedyosmum luteynii*, MP: *Morella pubescens*, OG: *Oreocallis grandiflora*, VS: *Vallea stipularis*, WF: *Weinmannia fagaroides*) en respuesta a cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), distribuidos a lo largo de tres gradientes altitudinales diferentes (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

**Tabla 8.** Valores de media  $\bar{x}$ , desviación estándar  $\sigma$  y mediana  $\tilde{x}$ , de la supervivencia (%) de cinco especies nativas bajo cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado), distribuidos a lo largo de tres gradientes altitudinales diferentes (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamiento	<i>Hedyosmum luteynii</i>				<i>Morella pubescens</i>				<i>Oreocallis grandiflora</i>				<i>Vallea stipularis</i>				<i>Weinmannia fagaroides</i>			
		$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\tilde{x}$		
Gradiente baja	T1	85,28	16,29	89,44	97,22	5,14	100,00	80,69	8,10	80,00	57,56	17,68	55,00	71,67	11,38	72,22					
	T2	85,00	24,49	95,00	98,61	3,93	100,00	74,72	11,44	73,89	56,39	19,21	55,00	66,39	10,09	65,00					
	T3	86,92	19,27	95,45	100,00	0,00	100,00	86,11	16,82	89,44	64,72	14,50	68,33	80,00	13,80	80,00					
	T4	71,39	21,27	72,22	95,00	7,56	100,00	77,92	19,74	78,89	64,17	19,49	62,78	73,19	18,87	78,89					
Gradiente media	T1	10,97	23,01	0,00	85,94	23,98	100,00	61,99	23,98	61,11	47,08	19,54	50,00	86,35	10,70	88,19					
	T2	21,11	23,82	16,11	91,48	9,63	95,00	67,64	12,45	68,89	46,11	15,58	44,44	87,31	8,94	85,35					
	T3	95,97	8,14	100,00	98,75	3,54	100,00	82,78	17,76	85,00	68,89	9,41	70,00	96,25	5,18	100,00					
	T4	88,47	17,25	94,44	98,75	3,54	100,00	85,97	15,91	89,44	71,98	12,73	70,00	90,97	3,68	90,00					
Gradiente alta	T1	0,00	0,00	0,00	67,22	20,57	62,78	48,19	28,45	45,00	80,69	17,96	84,44	86,81	14,17	90,00					
	T2	0,00	0,00	0,00	69,03	22,92	73,89	57,36	32,33	61,11	77,78	14,87	78,89	96,25	5,18	100,00					
	T3	2,64	4,90	0,00	97,50	7,07	100,00	87,22	15,98	95,00	95,00	7,56	100,00	100,00	0,00	100,00					
	T4	10,00	17,73	0,00	100,00	0,00	100,00	87,08	13,00	89,44	93,47	9,66	100,00	98,61	3,93	100,00					

El número de observaciones para todas las especies es igual a 96.

**Tabla 9.** Resultados del ajuste y estadísticos del modelo lineal de la interacción (Modelo 3, en Tabla 3) entre los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) en la supervivencia por cada especie.

Factores	<i>Hedyosmum luteynii</i>		<i>Morella pubescens</i>		<i>Oreocallis grandiflora</i>		<i>Vallea stipularis</i>		<i>Weinmannia fagaroides</i>	
	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value	Estimado	p-value
Intercepción	1,26	<0,001	1,41	<0,001	1,12	<0,001	0,87	<0,001	1,02	<0,001
Gradiente baja × T2	0,03	0,803	0,03	0,669	-0,07	0,574	-0,01	0,898	-0,06	0,477
Gradiente baja × T3	0,05	0,696	0,06	0,393	0,15	0,228	0,07	0,501	0,15	0,085
Gradiente baja × T4	-0,22	0,085	-0,04	0,568	0,03	0,838	0,10	0,336	0,02	0,793
Gradiente media × T1	-1,06	<0,001	-0,14	0,098	-0,18	0,187	-0,12	0,252	0,23	0,011
Gradiente media × T2	-0,88	<0,001	-0,10	0,227	-0,15	0,267	-0,13	0,224	0,24	0,008
Gradiente media × T3	0,21	0,131	0,03	0,691	0,08	0,536	0,11	0,277	0,43	<0,001
Gradiente media × T4	0,07	0,623	0,03	0,691	0,13	0,357	0,15	0,139	0,27	0,003
Gradiente alta × T1	-1,26	<0,001	-0,42	<0,001	-0,36	0,010	0,31	0,003	0,24	0,007
Gradiente alta × T2	-1,26	<0,001	-0,42	<0,001	-0,24	0,084	0,25	0,019	0,43	<0,001
Gradiente alta × T3	-1,18	<0,001	0,02	0,844	0,19	0,171	0,56	<0,001	0,55	<0,001
Gradiente alta × T4	-1,07	<0,001	0,06	0,457	0,16	0,247	0,54	<0,001	0,51	<0,001
Estadísticos del modelo										
Grados de libertad	14		14		14		14		14	
Observaciones	96		96		96		96		96	
R2 Marginal	0,82		0,46		0,30		0,52		0,55	
R2 Condicional	0,87		0,59		0,41		0,58		0,56	

Los valores significativos ( $p < 0,05$ ) están resaltados. Los valores de los estimados para casi todas las especies corresponden a la transformación arcseno ( $\frac{\text{Supervivencia} (\%)}{100}$ ), excepto para *M. pubescens* que se usó arcseno ( $\frac{\text{Supervivencia} (\%)}{100} - 0,001$ ).

#### 5.4. Calidad de las plántulas

En la Figura 6, se observa un claro efecto de la gradiente altitudinal sobre el porcentaje de cada rango de calidad de las plántulas. En la gradiente baja todas las especies presentaron un alto porcentaje de plántulas de calidad “Bueno” en todos los tratamientos, sin embargo, esto disminuye conforme incrementa la gradiente altitudinal, visualizándose un claro incremento en el porcentaje de plántulas de calidad “Malo”.

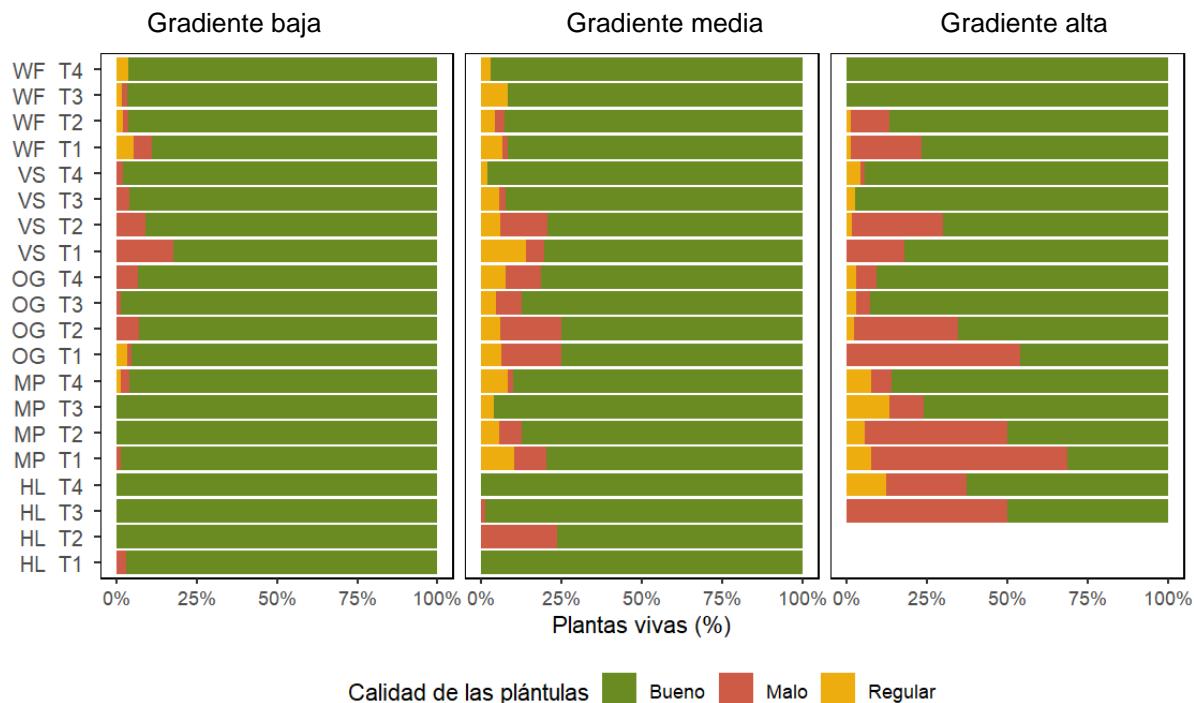
En la gradiente baja, para las especies *H. luteynii* y *M. pubescens* más del 95% de plántulas presentaron calidad “Bueno” bajo todos los tratamientos (Figura 6). Las plántulas de *O. grandiflora* presentaron más del 93% una calidad “Bueno” en todos los tratamientos, pero en T2 y T4 el 7 y 6,7% de plántulas fueron de calidad “Malo”, mientras que para *V. stipularis* el 17,8% de plántulas en T1 y el 9,1% en T2 fueron de calidad “Malo”. Las plántulas de *W. fagaroides*, más del 89% fueron de calidad “Bueno” en todos los tratamientos, presentando bajos porcentajes de plántulas de calidad “Regular” y “Malo” con valores menores a 5,5 % (Figura 6).

En la gradiente media, se visualizó un incremento de plántulas de calidad “Regular” y “Malo” para casi todas las especies, principalmente en los tratamientos T1 y T2 (sin sombra). Las plántulas de *H. luteynii*, presentaron un 25,5% en la categoría de “Malo” en el T2, pero en los otros tratamientos más del 98% fue de calidad “Bueno”. Las plántulas de *M. pubescens* tuvieron un 10,1% en la categoría “Regular” y “Malo” en el T1. En cuanto a *O. grandiflora*, en T1 y T2, el 18,7 y 19,2%, respectivamente, fueron de calidad “Malo”. Para *V. stipularis*, el 13,8% fueron de calidad “Regular” en el T1 y 14,7% de calidad “Malo” en el T2. *W. fagaroides* presentó más plántulas con calidad “Regular” en T3 con 8,1% (Figura 6).

En la gradiente alta, las plántulas en la categoría de calidad “Malo” incrementó notablemente en los tratamientos T1 y T2 (sin sombra) para casi todas las especies (Figura 6), excepto para *H. luteynii*, que bajo T3 y T4 el 50 y 62,5% de las plántulas fueron de calidad “Malo”. Para *M. pubescens* y *O. grandiflora*, más del 44,2 y 32,6% fueron de mala calidad en los tratamientos sin sombra, pero para las plántulas de *V. stipularis* y *W. fagaroides* el porcentaje en la categoría de “Malo” no sobrepasó el 22%, siendo un porcentaje bajo en comparación a las otras especies (Figura 6).

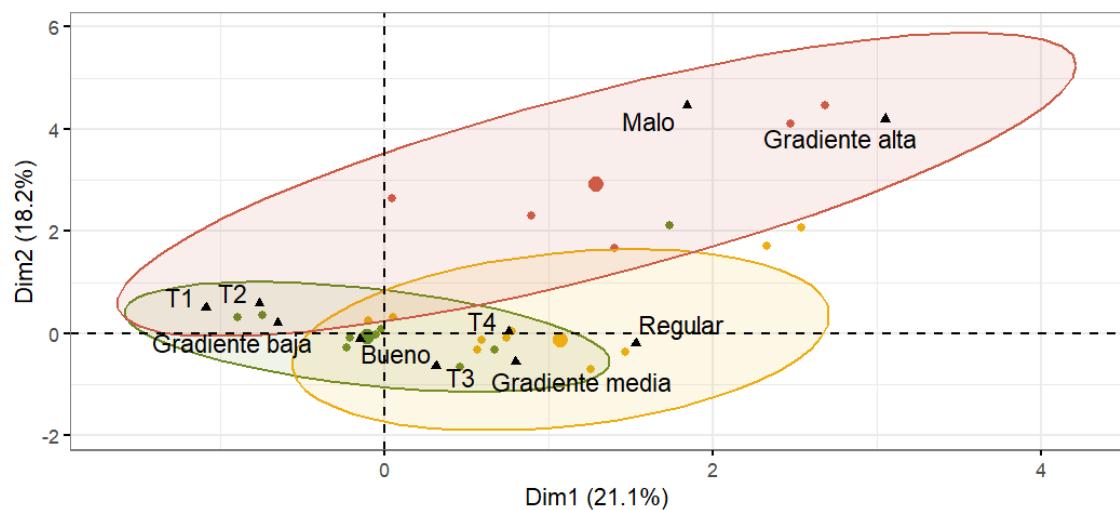
En el análisis de correspondencia múltiple (ACM) realizado por especie, se encontraron asociaciones significativas entre la calidad de las plántulas y la gradiente altitudinal, así como los tratamientos aplicados. En el caso de *H. luteynii* (39,4% de inercia entre las dimensiones 1 y 2), se observó que en la categoría de calidad “Bueno” se relacionó con la gradiente baja

y el tratamiento T3 (con sombra), mientras que la calidad "Regular" tuvo relación con la gradiente media y T4 (con sombra), y las plántulas que tuvieron calidad "Malo" se asoció fuertemente con gradiente alta (Figura 7a). Para *M. pubescens* (34,4% de inercia), la calidad de plántulas en la calidad de "Bueno" se asoció con gradiente baja y T3 (con sombra), y la calidad "Regular" con la gradiente media y T4 (con sombra), sin embargo, las plántulas en la categoría de calidad "Malo" no mostraron asociaciones claras con ninguna gradiente o tratamiento (Figura 7b). En el caso de *O. grandiflora* (36,9% de inercia), la calidad "Bueno" se relacionó con gradiente baja y T3, mientras que la calidad "Regular" estuvo más relacionada con gradiente alta, y las de calidad "Malo" no mostraron asociaciones claras (Figura 7c). Para *V. stipularis* (35 % de inercia), la calidad "Bueno" se vinculó con gradiente baja y T3, mientras que la calidad "Regular" mostró una mayor asociación con gradiente media, y las de calidad "Malo" no presentaron asociaciones claras (Figura 7d). Finalmente, *W. fagaroides* (34,7% de inercia), la calidad "Bueno" se asoció con gradiente baja y los tratamientos T3 y T4 (con sombra), la calidad "Regular" tuvo relación con gradiente media y T2, y las de calidad "Malo" no mostraron asociaciones claras con la gradiente o tratamientos (Figura 7e).

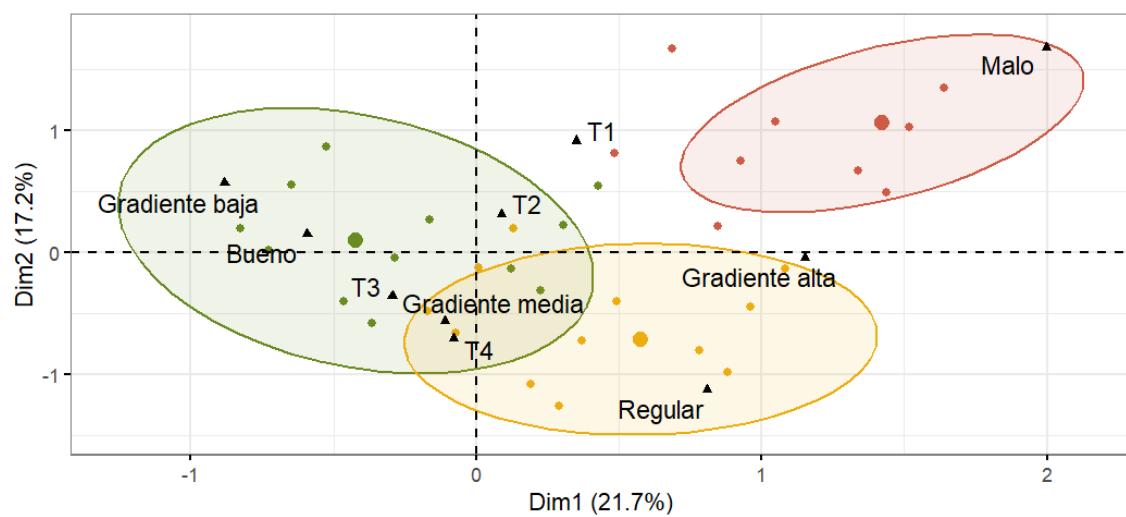


**Figura 6.** Porcentaje de plántulas vivas por categoría de calidad de las plántulas (Bueno, Regular, Malo) de cinco especies forestales nativas (HL: *Hedyosmum luteynii*, MP: *Morella pubescens*, OG: *Oreocallis grandiflora*, VS: *Vallea stipularis*, WF: *Weinmannia fagaroides*) en un experimento de reforestación establecido a lo largo de una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270, Gradiente media: 2833, Gradiente alta: 3180) y bajo la aplicación de cuatro tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado).

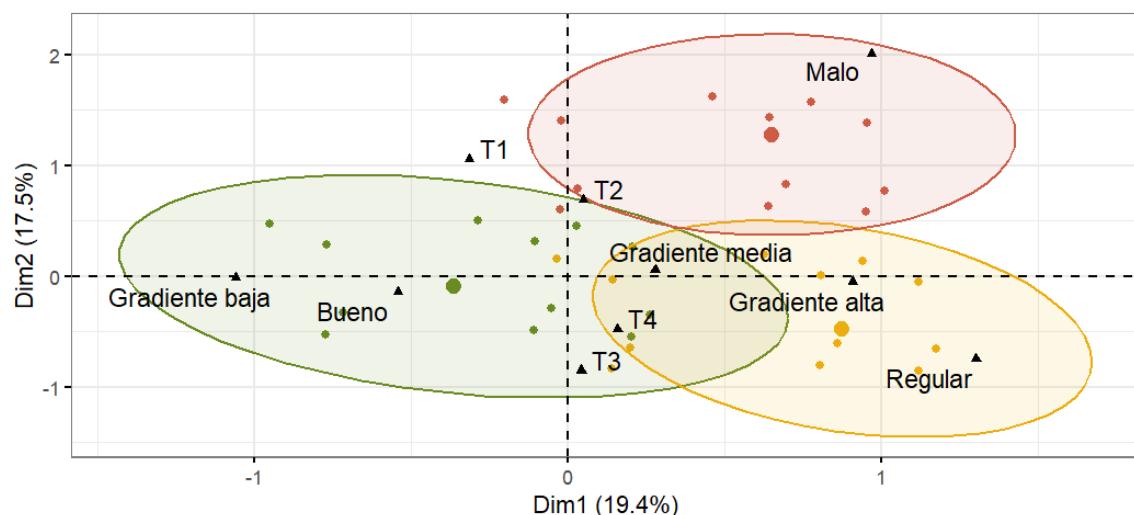
a) *Hedyosmum luteynii* Todzia - Borracho



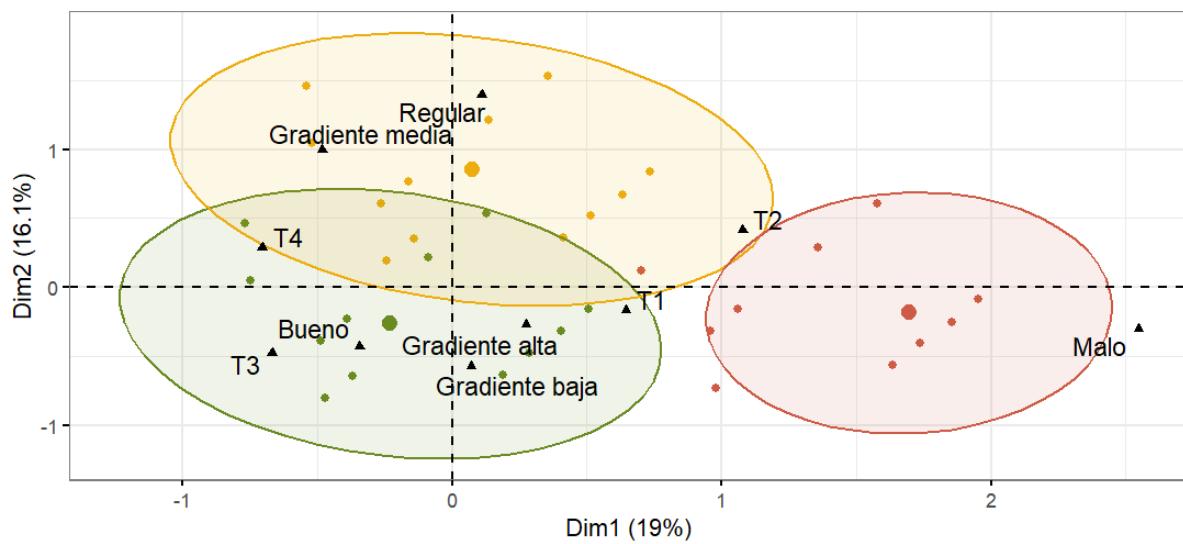
b) *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) Wildbur - Laurel



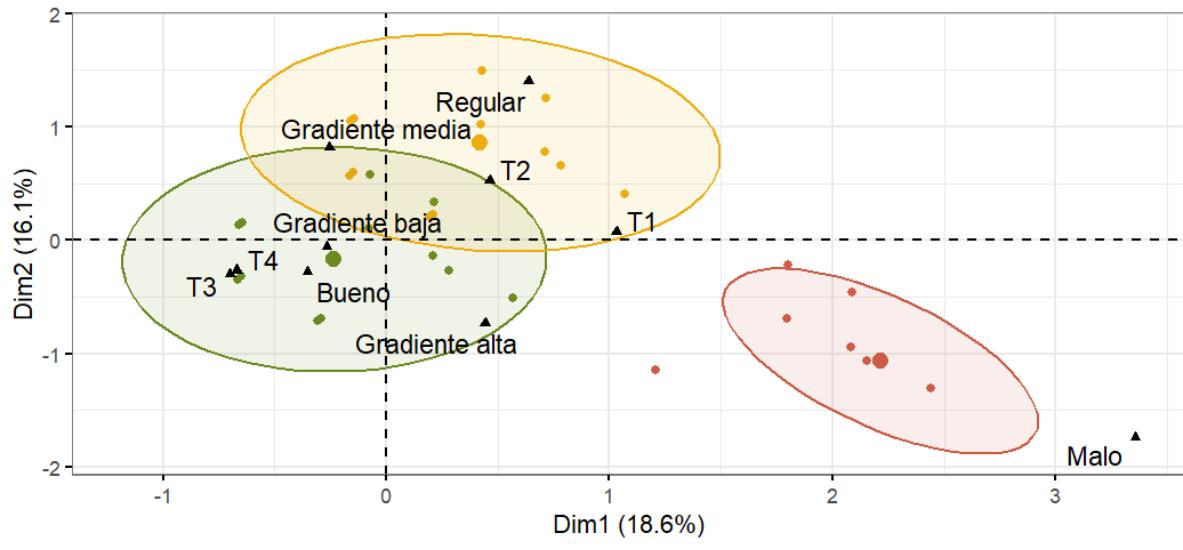
c) *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. - Gañal



d) *Vallea stipularis* L. f. - Sachacapulí



e) *Weinmannia fagaroides* Kunth - Sarar



Calidad de las plántulas    ● Bueno    ● Regular    ● Malo

**Figura 7.** Biplots de un Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) de cinco especies forestales nativas para determinar la asociación entre las categorías de calidad de las plántulas (Alto, Medio, Bajo) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 s.n.m., Gradiente alta: 3180 s.n.m.) y los tratamientos de sombra y pasto (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado).

## 6. Discusión

Los resultados indican un aumento significativo de la TRC<sub>a</sub> de *M. pubescens* en la gradiente baja principalmente en el tratamiento T3 (sombra sin corte de pasto). De manera similar, *W. fagaroides* mostró un crecimiento positivo en los tratamientos con sombra (T3 y T4). Sin embargo, en las gradiente media y alta, únicamente el tratamiento T3 resultó beneficioso para su crecimiento. Estos hallazgos sugieren que la combinación de sombra y pasto puede promover un mayor crecimiento en altura de ambas especies. Esto podría explicar que la presencia de pasto exóticos con rápido crecimiento podría generar competencia interespecífica por la luz (Meli & Dirzo, 2013), por otro lado, la sombra artificial inducida en el experimento, reduce la cantidad de luz que llega a las plántulas, lo que podría inducir al estrés de la especie forestal. En este escenario se esperaría mayor producción de giberelinas (Asghar et al., 2022) estimulando la elongación del tallo como una respuesta a la falta de luz (Stamm & Kumar 2010; Colebrook et al., 2014), esto sucede sobre todo en especies demandantes de luz como *M. pubescens*. Estos resultados coinciden con los hallazgos de García-Orth & Martínez-Ramos (2011) en pasturas abandonadas de México, de Vadigi & Ward (2013) en un ecosistema de sabana húmeda en Sudáfrica y de Medli y Dirzo (2013) en pastizales tropicales abandonados en México.

Por otro lado, en *H. luteynii*, se registró un efecto contrario para la variable TRC<sub>a</sub> con la presencia de sombra y pasto (T3) en la gradiente alta. Aunque las especies del género *Hedyosmum* se distribuyen naturalmente sobre los 2500 m s.n.m. en Ecuador, principalmente en los bosques maduros en ecosistemas húmedos altoandinos (Young, 2016; Jadán et al., 2021), las condiciones específicas del sitio en las que estuvieron expuestas en el experimento como son: la ausencia de cobertura vegetal natural y un microclima no apropiado para la especie, así como la competencia de los pastos tanto en la parte aérea y subterránea podrían haber influido en este resultado. Según Trávez & Guarderas (2023), la falta de cobertura vegetal natural en las pasturas puede disminuir las temperaturas diurnas, exponiendo a la planta a condiciones más frías en las primeras horas de la mañana, así como también incrementando la temperatura al medio día. Esto es especialmente relevante considerando la presencia de heladas reportadas principalmente en Irquis y Machángara, y confirmado por la información de los sensores instalados en los sitios experimentales (Proyecto COFOREC II, 2023, Manuscrito no publicado). Por otro lado, la presencia de pastos exóticos tuvo un efecto competitivo con esta especie, coincidiendo con los resultados de García-Orth & Martínez-Ramos (2011), Vadigi & Ward (2013) sobre todo para especies de sucesión media y tardía cuya TRC<sub>a</sub> incrementa con la remoción pasto (Günter et al., 2009; Román-Dañobeytia et al., 2012; Meli et al., 2015).

Los resultados para la variable TRC<sub>db</sub>, varía ampliamente entre especies, gradientes y tratamientos, sin encontrar un patrón claro sobre el efecto de la sombra y los tratamientos. En este estudio se pudo ver que las especies no tolerantes a la sombra como, por ejemplo, *O. grandiflora* prefieren crecer en altura que, en diámetro en todos los casos como una forma de enfrentar la competencia por luz en los tratamientos con sombra y pastos sin cortar. *H. luteynii*, una especie, no tolerante a la luz, presentó un leve crecimiento basal, esto coincide con de Vadigi & Ward (2013), donde se observó que las especies tolerantes a la sombra presentaron mayor crecimiento en diámetro basal. Esto puede explicarse por tener un xilema más gruesa y un mayor número de tejidos vasculares y tráqueas (Doley, 2010; Cui et al., 2012; Liu W G et al., 2017).

Por otra parte, el tratamiento de remoción de pasto generó un efecto negativo en la TRC<sub>db</sub> de *W. fagaroides* en la gradiente alta. Esto podría indicar una mayor exposición de la planta a la radiación solar, dando lugar una mayor evaporación, especialmente si se considera que esta especie se desarrolla en ambientes con densa vegetación (Aguirre & Merino, 2015). Este cambio podría haber sido adverso, sobre todo en un sitio en donde se ha registrado la presencia de heladas, lo cual puede dañar el xilema (Rubio-Cuadrado et al., 2024). Sin embargo, estos resultados no coinciden con los de Günter et al. (2009), Bare & Ashton (2015) y Morrison et al. (2018) quienes reportaron que la remoción de pasto no inhibe el crecimiento.

En las condiciones ambientales de la gradiente media y alta, todos los tratamientos resultaron ser adversos para *O. grandiflora* y *M. pubescens* en comparación de las otras especies, principalmente en las variables TRC<sub>a</sub> y TRC<sub>db</sub>. Estos efectos podrían atribuirse a un posible shock de plantación, degradación de suelos y las variables climáticas (Close et al., 2005; Guzmán-Luna & Martínez-Garza, 2016). El proceso de adaptación de las plántulas puede generar cambios en las características morfológicas y fisiológicas, y esto puede ralentizar el crecimiento de las especies leñosas, pues puede ocurrir una reducción en la tasa fotosintética y transpiración (Rapp et al., 2012). Esto es consistente con lo reportado en ecosistemas naturales por Bharali et al. (2012), con las especies *Rhododendron kenderickii* y *Rhododendron grandewere* en bosque caducifolio en la India, y por Mao et al. (2018) en un ecosistema natural en meseta tibetana en China.

Para la supervivencia de *V. stipularis* y *W. fagaroides*, todos los tratamientos fueron significativamente positivos en la gradiente media y alta. Estos hallazgos son similares a los encontrados en un estudio realizado en el bosque esclerófilo andino en Chile central, con *Lithrea caustica*, *Quillaja saponaria* y *Schinus polygamus* a lo largo de un gradiente altitudinal (480 - 1,500 m s.n.m.), observándose mayor supervivencia en altitudes medias y altas

(Becerra et al., 2016), y de manera similar en la región mediterránea la especie *Pinus nigra* (Lucas-Borja et al., 2022). Ambos estudios indican que una alta supervivencia en las gradientes medias y alta se debe principalmente a la adaptación natural de estas especies a dichas altitudes y a las condiciones climáticas más favorables, como mayor disponibilidad de agua y temperaturas más bajas. Factores como la distribución natural de las especies en altitudes elevadas (Rapp et al., 2012), las características adaptativas como presencia de hojas pequeñas y esclerófilas en *W. fagaroides* (Rehm & Feeley, 2016), y a una mayor humedad del suelo asociado a una mayor precipitación en todas sus formas incluyendo la neblina (Berrones et al., 2022), podrían explicar la respuesta favorable especialmente en Machángara (gradiente más alta). Mientras que por otra parte las especies *H. luteynii*, *M. pubescens* y *O. grandiflora* en la gradiente media y alta los tratamientos sin sombra T1 y T2 tuvieron un efecto negativo en la supervivencia, esto puede deberse a que ausencia de sombra podría incrementar la incidencia de los daños por el frío y heladas, lo que podría incrementar la mortalidad. Estos resultados coinciden con los de Girma et al. (2010) y Vadigi & Ward (2013).

Por otra parte, los resultados sobre la calidad de las plántulas indicaron que hay una relación con la gradiente altitudinal y los tratamientos. Aunque se requieren pruebas de inferencia estadística para confirmar esta relación, el análisis de correspondencia múltiple (ACM) reveló patrones claros. Las plántulas de calidad “Bueno” de todas las especies, estaban asociadas con la gradiente baja, donde se destacaron *H. luteynii*, *O. grandiflora*, *M. pubescens* y *V. stipularis* en el tratamiento T3 (con sombra y sin remoción de pastos) y para *W. fagaroides* con una mejor respuesta en T3 y T4. Sin embargo, en la gradiente media, bajo el T4 (con sombra y remoción de pastos), la calidad “Regular”, prevalece para la mayoría de especies, excepto para *O. grandiflora* la cual presentó esta calidad en la gradiente media y alta bajo el T4. Estos hallazgos sugieren que las condiciones específicas abióticas y bióticas de gradiente altitudinal baja, pudieron favorecer con la buena calidad de las plántulas. Además, el tratamiento T3, al proporcionar sombra y la presencia de pasto, pudo actuar como elementos claves a través de promover un microclima adecuado y la no remoción del pasto pudo evitar la desecación del suelo, por lo tanto, evitar el stress en la planta y con ello se reduce los daños en las plántulas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Damtew et al (2024) en tierras altas de Etiopia, quienes señalan que la sombra proyectada está asociada positivamente con la vitalidad de las plántulas (Wang et al., 2023). En caso de las plántulas de calidad “Malo”, excepto para *H. luteynii* en la gradiente alta, no presentaron una asociación clara entre gradiente altitudinal y tratamiento, por lo que otros factores no analizados en este

estudio podrían contribuir con esta respuesta y que a futuro podrían evaluarse, como, por ejemplo, las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

## Conclusiones

A continuación, se detallan las conclusiones derivadas de cuatro meses de monitoreo de este proyecto de investigación:

Cada especie tuvo un comportamiento diferente en función de la gradiente altitudinal y en los tratamientos del experimento de reforestación en la variable medidas. Todas las especies presentaron mayor crecimiento relativo en altura en la gradiente baja en los tratamientos con sombra (T3 y T4). Para el crecimiento relativo del diámetro basal, *H. luteynii* y *V. stipularis* mostraron mayor crecimiento en las gradientes media y alta bajo los tratamientos con sombra, mientras que las otras especies no mostraron un crecimiento favorable en esas mismas gradientes. La supervivencia de *H. luteynii* y *M. pubescens* fue menor en la gradiente alta, mientras que *O. grandiflora*, *V. stipularis* y *W. fagaroides* presentaron mejor supervivencia bajo sombra en la gradiente alta. Además, en general los tratamientos con sombra tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y la supervivencia en todas las gradientes, mientras que el tratamiento de remoción de pastos no tuvo un efecto positivo en el crecimiento y supervivencia de todas las especies y en las tres gradientes.

En general las especies que tuvieron una categoría de calidad de planta buena estuvieron presentes en la gradiente baja y en condiciones de sombra, mientras que las especies que tuvieron calidad regular estaban asociadas a la gradiente media. Para la categoría de calidad de planta mala, no tuvo una relación clara con la gradiente y el tratamiento.

Considerando los resultados de este estudio, se concluye que, para la reforestación, la sombra proyectada puede mejorar los rendimientos de las especies nativas, así como también la apropiada selección de las especies de acuerdo a la ecología de la especie y las condiciones particulares de cada sitio, para garantizar el prendimiento en pastos abandonados en la región andina.

## Recomendaciones

Con el fin de comprender mejor el desarrollo y supervivencia de las especies nativas en el experimento de reforestación, se propone las siguientes recomendaciones:

- Considerar las características físicas, químicas y biológicas del suelo y las condiciones del clima (época seca versus época lluviosa), como factores que pueden influir en el desarrollo inicial de las especies.
- Continuar con el monitoreo del crecimiento de las plántulas en las parcelas experimentales a lo largo del tiempo de la calidad para evaluar la recuperación de las plántulas de calidad Regular y Malo. Esto permitiría obtener una mejor comprensión sobre el comportamiento de las variables y poder sugerir la especie correcta para el sitio correcto, y con ello promover una reforestación más eficiente.
- Se recomienda analizar la relación entre las especies de pastos presentes en cada gradiente altitudinal con el crecimiento y supervivencia de las especies nativas forestales.

### Referencias bibliográficas

- Abbott, R. J., & Brennan, A. C. (2014). Altitudinal gradients, plant hybrid zones and evolutionary novelty. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1648), 20130346.
- Aguirre, N., Palomeque, X., Weber, M., Stimm, B., & Günter, S. (2011). Reforestation and natural succession as tools for restoration on abandoned pastures in the Andes of South Ecuador. *Silviculture in the Tropics*, 513-524.
- Aguirre, Z., Celi, H., & Herrera, C. (2018). Estructura y composición florística del bosque siempreverde montano bajo de la parroquia San Andrés, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3), 923-938.
- Anbarashan, M., Padmavathy, A., Alexandar, R., & Dhatchanamoorhty, N. (2020). Survival, growth, aboveground biomass, and carbon sequestration of mono and mixed native tree species plantations on the Coromandel Coast of India. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2), 111-120.
- Arango, O., Hurtado, A., Castillo, P., & Santacruz, M. (2009). Estudio de las condiciones de extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de laurel de cera (*Morella pubescens*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(2), 40-48
- Asghar, M. A., Ahmad, B., Raza, A., Adil, B., Hassan Javed, H., Farooq, M. U., ... & Du, J. (2022). Shade and microbes enhance drought stress tolerance in plants by inducing phytohormones at molecular levels: a review. *Journal of Plant Ecology*, 15(6), 1107-1117.
- Bare, M. C., & Ashton, M. S. (2016). Growth of native tree species planted in montane reforestation projects in the Colombian and Ecuadorian Andes differs among site and species. *New forests*, 47, 333-355.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. 67 (1), 48. *J Stat Softw* <https://doi.org/10.18637>.
- Becerra, P. I., Smith-Ramírez, C., & Armesto, J. J. (2016). Altitudinal and interannual variation in seedling survival of tree species in central Chile: implications for sclerophyllous forest restoration. *Bosque*, 37(3), 539-547.

- Benayas, J. M. R., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J. M., & Zavala, M. A. (2005). Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting *Quercus* species. *Forest ecology and management*, 212(1-3), 302-314.
- Berrones, G., Crespo, P., Ochoa-Sánchez, A., Wilcox, B. P., & Céller, R. (2022). Importance of fog and cloud water contributions to soil moisture in the Andean Páramo. *Hydrology*, 9(4), 54.
- Bharali, S., Paul, A., Khan, M. L., & Singha, L. B. (2012). Survival and growth of seedlings of two Rhododendron tree species along an altitudinal gradient in a temperate broad-leaved forest of Arunachal Pradesh, India. *International Journal of Plant Research*, 2(1), 39-46.
- Bokkestijn, A. (2018). Gestión y valorización de paisajes de Bosques Andinos para la mitigación y adaptación al Cambio Climático: Aprendizajes y desafíos. *Bosques Andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia*, págs, 27-35.
- Bol, M., & Vroomen, D. (2008). *The succession of pasture land toward original Cloud Forest* (Doctoral dissertation, Thesis. Van Hall Larenstein Institute. Netherlands).
- Bonifaz, C., & X. Cornejo. (2002). Flora of Ecuador, Proteaceae No 69. Harling and Andersson. Berlings Skogs, Trelleborg, Sweden. 123 p.
- Cerón-Factos, J. C. (2013). *Estructura y composición florística en un gradiente altitudinal de un remanente de bosque montano alto en el cantón Mejía, provincia de Pichincha* (Doctoral dissertation, Tesis Ing. Gestión Ambiental. Loja, Ecuador, Universidad Técnica Particular de Loja).
- Christmann, T., & Menor, I. O. (2021). A synthesis and future research directions for tropical mountain ecosystem restoration. *Scientific Reports*, 11(1), 23948.
- Close, D. C., Beadle, C. L., & Brown, P. H. (2005). The physiological basis of containerised tree seedling ‘transplant shock’: a review. *Australian Forestry*, 68(2), 112-120.
- Colebrook, E. H., Thomas, S. G., Phillips, A. L., & Hedden, P. (2014). The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. *Journal of experimental biology*, 217(1), 67-75.

- Cui H Y, Jin L B, Bo L I, Zhang J W, Zhao B, Dong S T., & Liu P. (2012). Effects of shading on stalks morphology, structure and lodging of summer maize in field. *Scientia Agricultura Sinica*, 45, 3497–3505.
- Dalling, J. W. (2008). Pioneer species. In *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set* (pp. 2779-2782). Elsevier Inc.
- De la Torre, L., Muriel, P., & Balslev, H. (2006). Etnobotánica en los Andes del Ecuador. *Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz*, 246-267.
- Doley D. (2010). Effects of shade on xylem development in seedlings of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *New Phytologist*, 82, 545–555.
- Douterlungne, D., Ferguson, B. G., Siddique, I., Soto-Pinto, L., Jímenez-Ferrer, G., & Gavito, M. E. (2015). Microsite determinants of variability in seedling and cutting establishment in tropical forest restoration plantations. *Restoration Ecology*, 23(6), 861-871.
- Elliott, S., Blakesley, D., & Hardwick, K. (2013). Restoring tropical forests. A practical guide. *Ecological Restoration*, 33(1), 118-119.
- Evans, J. (2009). The history of tree planting and planted forests. *Planted forests: Uses, impacts and sustainability* (pp. 5-22). Wallingford UK: CABI.
- FAO. (2020). Terms and Definitions - FRA 2020. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/531a9e1b-596d-4b07-b9fd-3103fb4d0e72/content>
- Florentine, S. K., & Westbrooke, M. E. (2004). Restoration on abandoned tropical pasturelands—do we know enough? *Journal for Nature Conservation*, 12(2), 85-94.
- García - Orth, X., & Martínez - Ramos, M. (2011). Isolated trees and grass removal improve performance of transplanted *Trema micrantha* (L.) Blume (Ulmaceae) saplings in tropical pastures. *Restoration Ecology*, 19(1), 24-34.
- García - Orth, X., & Martínez - Ramos, M. (2011). Isolated trees and grass removal improve performance of transplanted *Trema micrantha* (L.) Blume (Ulmaceae) saplings in tropical pastures. *Restoration Ecology*, 19(1), 24-34.

- Girma, A., Mosandl, R., El Kateb, H., & Masresha, F. (2010). Restoration of degraded secondary forest with native species: a case study in the highland of Ethiopia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(S8), 86-91.
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018a). Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283.
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018b). Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New forests*, 49, 1-34.
- Gruntman, M., Groß, D., Májeková, M., & Tielbörger, K. (2017). Decision-making in plants under competition. *Nature communications*, 8(1), 2235.
- Guan, Y., Hwarari, D., Korboe, H. M., Ahmad, B., Cao, Y., Movahedi, A., & Yang, L. (2023). Low temperature stress-induced perception and molecular signaling pathways in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 207, 105190.
- Gunaratne, A. M. T. A., Gunatilleke, C. V. S., Gunatilleke, I. A. U. N., Weerasinghe, H. M., & Burslem, D. F. R. P. (2011). Release from root competition promotes tree seedling survival and growth following transplantation into human-induced grasslands in Sri Lanka. *Forest ecology and management*, 262(2), 229-236.
- Günter, S., Gonzalez, P., Alvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F., & Weber, M. (2009). Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 81-91.
- Guzmán-Luna, A., & Martínez-Garza, C. (2016). Performance of 15 tropical tree species recruited or transplanted on restoration settings. *Botanical Sciences*, 94(4), 757-773.
- Gworek, J. R., Vander Wall, S. B., & Brussard, P. F. (2007). Changes in biotic interactions and climate determine recruitment of Jeffrey pine along an elevation gradient. *Forest Ecology and Management*, 239(1-3), 57-68.
- Haase, D. L. (2007). Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: Riley, LE; Dumroese, RK; Landis, TD *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006. Proceedings RMRS-P-50*. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 3-8, 50.

- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest ecology and management*, 261(10), 1558-1563.
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis* (pp. 248-pp).
- Jadán, O., Donoso, D. A., Cedillo, H., Bermúdez, F., & Cabrera, O. (2021). Floristic groups, and changes in diversity and structure of trees, in tropical montane forests in the Southern Andes of Ecuador. *Diversity*, 13(9), 400.
- Keenan, T., J. Serra, M. Lloret, M. Ninyerola & S. Sabate. (2011). Predicting the future of forests in the Mediterranean under climate change, with niche- y process-based models: CO<sub>2</sub> matters. *Global Change Biology* 17:565–579.
- Knoke, T., Bendix, J., Pohle, P., Hamer, U., Hildebrandt, P., Roos, K., & Beck, E. (2014). Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. *Nature communications*, 5(1), 1-12.
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574.
- Le, H. D., Smith, C., Herbohn, J., & Harrison, S. (2012). More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of Rural Studies*, 28(1), 5-19.
- Liu W G, Sajad H, Liu T, Zou J L, Ren M L, Zhou T, Liu J, Yang F., & Yang W Y. (2017). Shade stress decreases stem strength of soybean through restraining lignin biosynthesis. *Journal of Integrative Agriculture*, 18, 43–53.
- Lozano, P. (2015). Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador. *Quito, Pichincha, Ecuador: MAE*.
- Lu, Y., Ranjitkar, S., Harrison, R. D., Xu, J., Ou, X., Ma, X., & He, J. (2017). Selection of native tree species for subtropical forest restoration in Southwest China. *PloS one*, 12(1), e0170418.
- Lucas-Borja, M. E., Jing, X., Candel-Perez, D., Parhizkar, M., Rocha, F., Heydari, M., ... & Zema, D. A. (2022). Afforestation with *Pinus nigra* Arn ssp *salzmannii* along an elevation gradient: controlling factors and implications for climate change adaptation. *Trees*, 1-10.

Mahecha Vega, G. E., Barrero Barrero, D., Camelo Salamanca, D., Ovalle Escobar, A., & Rozo Fernández, A. (2017). Vegetación del territorio CAR 450 especies de sus llanuras y montañas.

Mao, L., Chen, S., Zhang, J., & Zhou, G. (2018). Altitudinal patterns of maximum plant height on the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, 11(1), 85-91.

Meli, P., & Dirzo, R. (2013). Effects of grasses on sapling establishment and the role of transplanted saplings on the light environment of pastures: implications for tropical forest restoration. *Applied Vegetation Science*, 16(2), 296-304.

Meli, P., & Dirzo, R. (2013). Effects of grasses on sapling establishment and the role of transplanted saplings on the light environment of pastures: implications for tropical forest restoration. *Applied Vegetation Science*, 16(2), 296-304.

Meli, P., Rey Benayas, J. M., Martinez Ramos, M., & Carabias, J. (2015). Effects of grass clearing and soil tilling on establishment of planted tree seedlings in tropical riparian pastures. *New Forests*, 46, 507-525.

Mendoza-Vega, J., Ku-Quej, V. M., Messing, I., & Pérez-Jiménez, J. C. (2021). Effects of native tree planting on soil recovery in tropical montane cloud forests. *Forest Science*, 66(6), 700-711.

Minga, D. & A. Verdugo. (2016). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco. 212 pp.

Minga, D., Guzmán, N., Jiménez, M. & A. Verdugo. (2021). Plantas nativas de los ecosistemas del Azuay, un acercamiento conceptual al Jardín Botánico de Cuenca-Ecuador. Universidad del Azuay.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica. (2021). Proyecto Nacional de Restauración del Paisaje. Quito - Ecuador.

Mogrovejo Jaramillo, P. R. (2017). *Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático* (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

Morrison, T. A., Holdo, R. M., Rugemalila, D. M., Nzunda, M., & Anderson, T. M. (2019). Grass competition overwhelms effects of herbivores and precipitation on early tree establishment in Serengeti. *Journal of Ecology*, 107(1), 216-228.

- Muñiz-Castro, M. A., Williams-Linera, G., & Benítez-Malvido, J. (2015). Restoring montane cloud forest: establishment of three Fagaceae species in the old fields of central Veracruz, Mexico. *Restoration Ecology*, 23(1), 26-33.
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Peralvo, M., & Gálmez, V. (2017). La restauración de bosques andinos tropicales. *Documentos Ocasionales*, 170(4).
- Murga-Orrillo, H., Coronado Jorge, M. F., Abanto-Rodríguez, C., & Almeida Lobo, F. D. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y bosques*, 27(3).
- Myster, R. W. (2020). Disturbance and response in the Andean cloud forest: a conceptual review. *The Botanical Review*, 86(2), 119-135.
- Nievola, C. C., Carvalho, C. P., Carvalho, V., & Rodrigues, E. (2017). Rapid responses of plants to temperature changes. *Temperature*, 4(4), 371-405.
- Nunes, S., Gastauer, M., Cavalcante, R. B., Ramos, S. J., Caldeira Jr, C. F., Silva, D., ... & Siqueira, J. O. (2020). Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species. *Forest Ecology and management*, 466, 118120.
- Ortega-Pieck, A., López-Barrera, F., Ramírez-Marcial, N., & García-Franco, J. G. (2011). Early seedling establishment of two tropical montane cloud forest tree species: The role of native and exotic grasses. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1336-1343.
- Osorio-Salomón, K., Bonilla-Moheno, M., López-Barrera, F., & Martínez-Garza, C. (2021). Accelerating tropical cloud forest recovery: Performance of nine late-successional tree species. *Ecological Engineering*, 166, 106237.
- Palomeque, X., Günter, S., Hildebrandt, P., Stimm, B., Aguirre, N., & Weber, M. (2020). Reforestación con especies nativas y exóticas: caso del valle de San Francisco, Zamora Chinchipe. *De la parcela al paisaje: restauración forestal en los Andes ecuatorianos* (pp. 16–36). FLACSO. FLACSO.
- Palomeque, X., Günter, S., Siddons, D., Hildebrandt, P., Stimm, B., Aguirre, N., ... & Weber, M. (2017). Natural or assisted succession as approach of forest recovery on abandoned lands with different land use history in the Andes of Southern Ecuador. *New forests*, 48, 643-662.

- Preece, N. D., van Oosterzee, P., & Lawes, M. J. (2023). Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. *Journal of environmental management*, 336, 117645.
- Proyecto COFOREC II. (2023). *Manuscrito no publicado*.
- Puetate, G. S. (2017). *Translocación de plántulas de: Weinmannia Rollottii, Weinmannia Fagaroides, Prunus Huantensis y Ocotea Infrafaveolata, en un área degradada en la parroquia el Carmelo, provincia del Carchi* (Bachelor's thesis).
- Rachmat, H. H., Ginoga, K. L., Lisnawati, Y., Hidayat, A., Imanuddin, R., Fambayun, R. A., ... & Susilowati, A. (2021). Generating Multifunctional Landscape through Reforestation with Native Trees in the Tropical Region: A Case Study of Gunung Dahu Research Forest, Bogor, Indonesia. *Sustainability*, 13(21), 11950.
- Rapp, J. M., Silman, M. R., Clark, J. S., Girardin, C. A., Galiano, D., & Tito, R. (2012). Intra-and interspecific tree growth across a long altitudinal gradient in the Peruvian Andes. *Ecology*, 93(9), 2061-2072.
- Rehm, E. M., & Feeley, K. J. (2016). Seedling transplants reveal species-specific responses of high-elevation tropical treeline trees to climate change. *Ecologia*, 181, 1233-1242.
- Ríos, L., & Acevedo, G. (2007). *Ecología, Utilización e Impactos Producidos por el aprovechamiento del Cucharillo Oreocallis grandiflora (Lam) R. Br. en las parroquias de Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualel de la Provincia de Loja* (Doctoral dissertation, Tesis para optar el Título de Ingeniero Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador).
- Román-Dañobeytia, F. J., Levy-Tacher, S. I., Aronson, J., Rodrigues, R. R., & Castellanos-Albores, J. (2012). Testing the performance of fourteen native tropical tree species in two abandoned pastures of the Lacandon rainforest region of Chiapas, Mexico. *Restoration Ecology*, 20(3), 378-386.
- Rubio-Cuadrado, Á., Gordaliza, G. G., Gil, L., López, R., & Rodríguez-Calcerrada, J. (2024). Thinning reduces late-spring frost impact on stem radial growth in a beech forest stand. *Forest Ecology and Management*, 554, 121675.

- Salazar, A., Goldstein, G., Franco, A. C., & Miralles-Wilhelm, F. (2012). Differential seedling establishment of woody plants along a tree density gradient in Neotropical savannas. *Journal of Ecology*, 100(6), 1411-1421.
- Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990–2018: Factores, Promotores y Tendencias Recientes. *Ministerio de Ambiente y Agua Del Ecuador, Ministerio de Agricultura Del Ecuador, En El Marco de La Implementación Del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador*, 216.
- Spracklen, D. V., & Righelato, R. (2014). Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences*, 11(10), 2741-2754.
- Torres-Rodríguez, S. H. (2019). Determinación de los principios activos de valor real y/o potencial de la especie nativa tarqui (*Hedyosmum luteynii Todzia*); bosque de Jacarón, Juan de Velasco, Chimborazo, Ecuador.
- Trávez, W. G., & Guarderas, P. (2023). Land use affects the local climate of a tropical mountain landscape in northern Ecuador. *Mountain Research and Development*, 43(1), R10-R19.
- Vadigi, S., & Ward, D. (2013). Shade, nutrients, and grass competition are important for tree sapling establishment in a humid savanna. *Ecosphere*, 4(11), 1-27.
- Vadigi, S., & Ward, D. (2013). Shade, nutrients, and grass competition are important for tree sapling establishment in a humid savanna. *Ecosphere*, 4(11), 1-27.
- Van den Eynden, V., Cueva, E., Cabrera, O., & Eynden, V. Van den. (2003). Wildwoods from Southern Ecuador. *Economic Botany*, 57(4), 576–603.
- Wang, B., Waters, C., Anwar, M. R., Cowie, A., Li Liu, D., Summers, D., ... & Feng, P. (2022). Future climate impacts on forest growth and implications for carbon sequestration through reforestation in southeast Australia. *Journal of environmental management*, 302, 113964.
- Weber, M., Stimm, B., López, M. F., Gerique, A., Pohle, P., Hildebrandt, P., & Kübler, D. (2013). Conservation, management of natural forests and reforestation of pastures to retain and restore current provisioning services. *Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador*, 171-185.

Young, K. R. (2006). Bosques húmedos. *Botánica Económica de los Andes Centrales.*, 121-129.

Zhang, H., Zhu, J., Gong, Z., & Zhu, J. K. (2022). Abiotic stress responses in plants. *Nature Reviews Genetics*, 23(2), 104-119.

## Anexos

**Anexo A.** Estadísticos (gl: grados de libertad, REML: Máxima Verosimilitud Restringida, AIC: Criterio de Información de Akaike, BIC: Criterio de Información Bayesiano) de los modelos lineales mixtos ajustados (Modelo 1: gradiente altitudinal: tratamiento) de las cinco especies para la tasa relativa de crecimiento de altura (TRC<sub>a</sub>), diámetro basal (TRC<sub>db</sub>) y supervivencia.

Espece	Variable dependiente	gl	REML	AIC	BIC
<i>Hedyosmum luteynii</i>	TRC <sub>a</sub>	12	-76,80	-52,81	-27,88
	TRC <sub>db</sub>	12	-246,20	-222,17	-196,84
	Supervivencia	14	-260,20	-232,20	-196,30
<i>Morella pubescens</i>	TRC <sub>a</sub>	14	-147,60	-119,58	-88,92
	TRC <sub>db</sub>	14	-217,30	-189,31	-155,96
	Supervivencia	14	-293,30	-265,31	-229,41
<i>Oreocallis grandiflora</i>	TRC <sub>a</sub>	14	-137,40	-109,35	-76,91
	TRC <sub>db</sub>	14	-168,50	-140,55	-108,29
	Supervivencia	14	-220,50	-192,54	-156,64
<i>Vallea stipularis</i>	TRC <sub>a</sub>	14	-82,80	-54,76	-29,47
	TRC <sub>db</sub>	14	-168,50	-350,09	-314,19
	Supervivencia	14	-256,90	-228,95	-193,05
<i>Weinmannia fagaroides</i>	TRC <sub>a</sub>	13	-108,60	-82,60	-57,24
	TRC <sub>db</sub>	14	-222,70	-194,69	-159,24
	Supervivencia	14	-311,70	-283,72	-247,82

**Anexo B.** Porcentaje de la calidad de las plántulas (Bueno, Regular, Malo) de cinco especies forestales nativas en una gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) y bajo tratamientos de sombra y pasto (T1: control; T2: sin sombra + pasto cortado; T3: sombra + pasto sin cortar; T4: sombra + pasto cortado).

		<i>Hedyosmum luteynii</i>			<i>Morella pubescens</i>			<i>Oreocallis grandiflora</i>			<i>Vallea stipularis</i>			<i>Weinmannia fagaroides</i>		
		Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo
Gradiente altitudinal	Tratamiento															
Gradiente baja	T1	96,97	0,00	3,03	98,61	0,00	1,39	95,16	3,23	1,61	82,22	0,00	17,78	89,09	5,45	5,45
	T2	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	92,86	0,00	7,14	90,91	0,00	9,09	96,15	1,92	1,92
	T3	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	98,48	0,00	1,52	95,92	0,00	4,08	96,67	1,67	1,67
	T4	100,00	0,00	0,00	96,00	1,33	2,67	93,33	0,00	6,67	97,96	0,00	2,04	96,43	3,57	0,00
Gradiente media	T1	100,00	0,00	0,00	79,71	10,14	10,14	75,00	6,25	18,75	80,56	13,89	5,56	91,80	6,56	1,64
	T2	76,47	0,00	23,53	87,50	5,56	6,94	75,00	5,77	19,23	79,41	5,88	14,71	92,75	4,35	2,90
	T3	98,65	0,00	1,35	96,00	4,00	0,00	87,50	4,69	7,81	92,45	5,66	1,89	91,89	8,11	0,00
	T4	100,00	0,00	0,00	90,28	8,33	1,39	81,54	7,69	10,77	98,21	1,79	0,00	97,22	2,78	0,00
Gradiente alta	T1	-	-	-	31,37	7,84	60,78	45,95	0,00	54,05	81,97	0,00	18,03	76,47	1,47	22,06
	T2	-	-	-	50,00	5,77	44,23	65,12	2,33	32,56	70,00	1,67	28,33	86,67	1,33	12,00
	T3	50,00	0,00	50,00	76,00	13,33	10,67	92,75	2,90	4,35	97,30	2,70	0,00	100,00	0,00	0,00
	T4	62,50	12,50	25,00	86,08	7,59	6,33	90,77	3,08	6,15	94,29	4,29	1,43	100,00	0,00	0,00

**Anexo C.** Valores de contribución a la inercia (ctr), el coseno cuadrado ( $\cos^2$ ) y test de significancia (v.test) del Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) de cinco especies nativas, asociados con la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.) y los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado).

Variables (niveles)	Dimensión 1			Dimensión 2			Dimensión 1			Dimensión 2		
	<i>Hedyosmum luteynii</i>						<i>Morella pubescens</i>					
	ctr	$\cos^2$	v.test	ctr	$\cos^2$	v.test	ctr	$\cos^2$	v.test	ctr	$\cos^2$	v.test
<b>Gradiente alta</b>	14,67	0,22	9,76	32,08	0,42	13,41	26,55	0,58	22,13	0,04	0,00	-0,79
<b>Gradiente baja</b>	16,78	0,60	-16,07	1,86	0,06	4,97	18,17	0,43	-19,01	9,72	0,18	12,36
<b>Gradiente media</b>	16,85	0,41	13,21	9,38	0,20	-9,17	0,27	0,01	-2,28	8,92	0,16	-11,71
<b>T1</b>	13,77	0,25	-10,26	3,35	0,05	4,71	1,85	0,04	5,54	15,98	0,25	14,48
<b>T2</b>	7,60	0,14	-7,72	5,24	0,08	5,97	0,12	0,00	1,43	1,99	0,03	5,13
<b>T3</b>	2,24	0,05	4,61	10,75	0,21	-9,39	1,54	0,03	-5,20	2,88	0,05	-6,32
<b>T4</b>	11,79	0,25	10,35	0,05	0,00	0,64	0,11	0,00	-1,40	10,87	0,18	-12,26
<b>Bueno</b>	1,36	0,24	-10,13	0,73	0,11	-6,92	15,25	0,68	-24,01	1,38	0,05	6,43
<b>Regular</b>	9,60	0,15	8,05	0,17	0,00	-1,00	10,37	0,21	13,25	25,12	0,40	-18,32
<b>Malo</b>	5,35	0,08	5,89	36,40	0,48	14,29	25,78	0,43	19,16	23,10	0,31	16,11
<i>Oreocallis grandiflora</i>						<i>Vallea stipularis</i>						
<b>Gradiente alta</b>	19,01	0,37	16,03	0,06	0,00	-0,83	2,38	0,05	5,85	2,75	0,05	-5,81
<b>Gradiente baja</b>	29,40	0,62	-20,60	0,00	0,00	-0,22	0,12	0,00	1,18	8,59	0,14	-9,31
<b>Gradiente media</b>	1,91	0,04	5,16	0,09	0,00	1,04	4,95	0,09	-7,60	25,13	0,40	15,79
<b>T1</b>	1,56	0,03	-4,29	19,44	0,30	14,40	7,08	0,12	8,74	0,56	0,01	-2,26
<b>T2</b>	0,04	0,00	0,68	8,63	0,14	9,63	19,18	0,33	14,33	3,34	0,05	5,51
<b>T3</b>	0,04	0,00	0,72	17,10	0,29	-14,21	9,35	0,17	-10,41	5,63	0,09	-7,45
<b>T4</b>	0,51	0,01	2,57	5,13	0,09	-7,71	10,36	0,19	-10,95	2,04	0,03	4,47
<b>Bueno</b>	14,82	0,64	-20,90	1,13	0,04	-5,48	6,09	0,26	-12,74	11,43	0,41	-16,09
<b>Regular</b>	24,37	0,41	16,79	8,77	0,13	-9,56	0,21	0,00	1,52	39,86	0,58	19,20
<b>Malo</b>	8,35	0,13	9,40	39,65	0,55	19,45	40,30	0,58	19,17	0,68	0,01	-2,29
<i>Weinmannia fagaroides</i>												
<b>Gradiente alta</b>	5,55	0,11	9,54	17,61	0,31	-15,77						
<b>Gradiente baja</b>	1,53	0,03	-4,68	0,07	0,00	-0,96						
<b>Gradiente media</b>	1,73	0,03	-5,24	20,79	0,36	16,87						
<b>T1</b>	19,02	0,32	16,01	0,11	0,00	1,11						
<b>T2</b>	4,07	0,07	7,48	6,07	0,09	8,47						
<b>T3</b>	9,77	0,17	-11,69	2,10	0,03	-5,03						
<b>T4</b>	8,85	0,16	-11,11	1,59	0,02	-4,37						
<b>Bueno</b>	7,25	0,39	-17,59	5,15	0,24	-13,76						
<b>Regular</b>	6,26	0,10	9,00	35,28	0,50	19,82						
<b>Malo</b>	35,96	0,49	19,69	11,24	0,13	-10,22						

**Anexo D.** Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de *Hedyosmum luteynii* presentes en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamientos	Categoría de calidad	CM	aq	tc	tq	hq	He	De
Gradiente baja	T1	Bueno	0	2	2	5	51	2	3
	T1	Regular	0	0	0	0	2	0	2
	T1	Malo	2	0	0	0	0	0	0
	T2	Bueno	0	1	2	1	49	1	1
	T2	Regular	0	0	0	0	1	0	1
	T2	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T3	Bueno	0	4	4	9	28	4	6
	T3	Regular	0	0	0	0	2	0	2
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	7	8	10	27	7	9
	T4	Regular	0	2	3	1	2	1	3
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0
Gradiente media	T1	Bueno	0	0	0	0	7	0	0
	T1	Regular	0	0	0	0	1	0	1
	T1	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T2	Bueno	0	1	1	1	11	1	1
	T2	Regular	0	1	0	0	1	0	0
	T2	Malo	4	0	0	1	2	0	0
	T3	Bueno	0	1	1	2	50	1	1
	T3	Regular	0	4	0	3	6	0	1
	T3	Malo	1	0	0	0	1	0	0
	T4	Bueno	0	3	4	4	54	3	4
	T4	Regular	0	1	0	5	6	0	0
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0
Gradiente alta	T1	Bueno	-	-	-	-	-	-	-
	T1	Regular	-	-	-	-	-	-	-
	T1	Malo	-	-	-	-	-	-	-
	T2	Bueno	-	-	-	-	-	-	-
	T2	Regular	-	-	-	-	-	-	-
	T2	Malo	-	-	-	-	-	-	-
	T3	Bueno	0	0	0	0	0	0	0
	T3	Regular	0	0	0	0	1	0	1
	T3	Malo	1	0	0	0	1	0	0
	T4	Bueno	0	0	1	0	2	0	0
	T4	Regular	0	0	1	1	1	0	0
	T4	Malo	2	0	0	0	0	0	0

**Anexo E.** Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de *Morella pubescens* reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamientos	Categoría de calidad	CM	aq	tc	tq	hq	He	De
Gradiente baja	T1	Bueno	0	4	10	10	27	4	7
	T1	Regular	0	0	0	0	3	0	3
	T1	Malo	1	0	0	0	0	0	0
	T2	Bueno	0	2	5	5	22	2	4
	T2	Regular	0	0	2	0	3	0	1
	T2	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T3	Bueno	0	0	2	4	24	0	1
	T3	Regular	0	0	6	0	1	0	5
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	7	9	9	33	7	11
	T4	Regular	0	3	6	3	7	3	8
	T4	Malo	2	0	0	0	0	0	0
Gradiente media	T1	Bueno	0	0	0	1	28	0	5
	T1	Regular	0	0	2	22	26	0	13
	T1	Malo	7	0	1	3	5	0	3
	T2	Bueno	0	0	1	2	21	0	12
	T2	Regular	0	0	1	16	31	0	18
	T2	Malo	5	0	0	0	0	0	0
	T3	Bueno	0	1	1	2	60	1	2
	T3	Regular	0	1	4	6	8	0	3
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	0	0	1	50	0	1
	T4	Regular	0	0	8	10	16	0	4
	T4	Malo	1	0	0	0	0	0	0
Gradiente alta	T1	Bueno	0	0	1	0	0	0	6
	T1	Regular	0	0	2	6	11	0	9
	T1	Malo	31	0	0	3	9	0	10
	T2	Bueno	0	0	0	0	1	0	14
	T2	Regular	0	0	2	3	13	0	13
	T2	Malo	23	3	0	6	15	0	10
	T3	Bueno	0	0	2	0	18	0	10
	T3	Regular	0	0	5	8	35	0	34
	T3	Malo	8	0	0	1	3	0	3
	T4	Bueno	0	0	1	1	20	0	16
	T4	Regular	0	0	1	13	37	0	30
	T4	Malo	5	0	0	2	4	0	4

**Anexo F.** Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de *Oreocallis grandiflora* reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamientos	Categoría de calidad	CM	aq	tc	tq	hq	He	De
Gradiente baja	T1	Bueno	0	4	8	8	29	4	11
	T1	Regular	0	0	2	1	3	1	2
	T1	Malo	2	0	0	1	1	0	1
	T2	Bueno	0	2	4	3	30	2	4
	T2	Regular	0	0	1	0	2	0	1
	T2	Malo	4	0	0	0	1	0	2
	T3	Bueno	0	0	1	3	20	0	7
	T3	Regular	0	0	1	1	4	0	4
	T3	Malo	1	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	9	14	9	26	9	21
	T4	Regular	0	0	2	0	3	0	5
	T4	Malo	4	0	2	0	0	0	1
Gradiente media	T1	Bueno	0	0	0	1	26	0	0
	T1	Regular	0	2	4	5	12	0	4
	T1	Malo	9	0	2	3	6	0	1
	T2	Bueno	0	1	2	1	25	1	2
	T2	Regular	0	2	7	6	12	0	5
	T2	Malo	10	0	1	1	4	0	1
	T3	Bueno	0	0	0	2	32	0	4
	T3	Regular	0	4	2	8	15	0	4
	T3	Malo	5	0	0	4	5	0	0
	T4	Bueno	0	0	0	1	39	0	3
	T4	Regular	0	2	2	11	12	0	4
	T4	Malo	7	0	1	2	4	0	2
Gradiente alta	T1	Bueno	0	0	1	0	9	0	3
	T1	Regular	0	0	2	2	1	0	3
	T1	Malo	20	0	2	5	4	0	14
	T2	Bueno	0	0	1	1	10	0	7
	T2	Regular	0	0	2	2	7	0	10
	T2	Malo	14	0	1	2	3	0	7
	T3	Bueno	0	0	0	1	30	0	8
	T3	Regular	0	0	4	4	24	0	24
	T3	Malo	3	0	0	1	0	0	2
	T4	Bueno	0	0	2	1	26	0	6
	T4	Regular	0	0	1	7	20	0	22
	T4	Malo	4	0	0	0	2	0	3

**Anexo G.** Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de *Vallea stipularis* reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamientos	Categoría de calidad	CM	aq	tc	tq	hq	He	De
Gradiente baja	T1	Bueno	0	0	15	1	2	0	10
	T1	Regular	0	0	6	0	1	0	5
	T1	Malo	40	0	1	0	0	0	1
	T2	Bueno	0	0	10	1	0	0	6
	T2	Regular	0	0	11	0	0	0	11
	T2	Malo	20	0	0	0	0	0	0
	T3	Bueno	0	0	13	0	2	0	19
	T3	Regular	0	0	7	1	0	0	6
	T3	Malo	10	0	1	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	0	8	0	2	0	23
	T4	Regular	0	0	10	1	2	0	7
	T4	Malo	5	0	0	0	0	0	0
Gradiente media	T1	Bueno	0	1	2	2	13	0	8
	T1	Regular	0	2	5	3	7	0	6
	T1	Malo	10	0	0	0	1	0	0
	T2	Bueno	0	1	4	4	13	0	6
	T2	Regular	0	0	5	2	2	0	5
	T2	Malo	25	0	0	1	1	0	0
	T3	Bueno	0	0	4	1	10	0	12
	T3	Regular	0	1	13	2	4	3	9
	T3	Malo	5	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	1	11	4	11	1	15
	T4	Regular	0	0	11	2	2	0	8
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0
Gradiente alta	T1	Bueno	0	0	1	5	14	0	41
	T1	Regular	0	0	2	0	1	0	1
	T1	Malo	55	0	1	1	0	0	6
	T2	Bueno	0	0	0	3	13	0	35
	T2	Regular	0	0	3	1	2	0	3
	T2	Malo	85	1	1	3	2	0	6
	T3	Bueno	0	0	2	3	48	0	25
	T3	Regular	0	0	0	2	2	0	2
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	0	1	9	37	0	25
	T4	Regular	0	0	4	1	3	0	3
	T4	Malo	5	0	0	0	0	0	0

**Anexo H.** Tabla de contingencia de la frecuencia de los daños de *Weinmannia fagaroides* reportados en cada una de las categorías de calidad, los tratamientos (T1: control, T2: sin sombra + pasto cortado, T3: sombra + pasto sin cortar, T4: sombra + pasto cortado) y la gradiente altitudinal (Gradiente baja: 2270 m s.n.m., Gradiente media: 2833 m s.n.m., Gradiente alta: 3180 m s.n.m.).

Gradiente altitudinal	Tratamientos	Categoría de calidad	CM	aq	tc	tq	hq	He	De
Gradiente baja	T1	Bueno	0	0	35	3	6	0	2
	T1	Regular	0	0	7	3	3	0	4
	T1	Malo	15	0	0	0	0	0	1
	T2	Bueno	0	0	22	0	8	0	3
	T2	Regular	0	0	11	5	2	0	5
	T2	Malo	5	0	0	0	0	0	0
	T3	Bueno	0	0	15	3	10	0	17
	T3	Regular	0	0	8	3	1	0	5
	T3	Malo	5	0	0	0	0	0	0
Gradiente media	T4	Bueno	0	0	13	2	10	0	9
	T4	Regular	0	0	10	2	5	0	5
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T1	Bueno	0	0	12	5	31	0	3
	T1	Regular	0	1	13	3	13	0	4
	T1	Malo	10	0	0	0	0	0	0
	T2	Bueno	0	1	8	3	38	0	2
	T2	Regular	0	0	15	3	15	0	2
	T2	Malo	10	0	0	1	2	0	2
Gradiente alta	T3	Bueno	0	1	10	0	35	0	4
	T3	Regular	0	1	4	4	7	0	4
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	0	12	0	35	0	6
	T4	Regular	0	0	9	2	7	0	4
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T1	Bueno	0	0	1	0	35	0	36
	T1	Regular	0	0	0	1	1	0	1
	T1	Malo	75	0	0	0	4	0	2
	T2	Bueno	0	0	0	1	44	0	39
	T2	Regular	0	0	0	1	1	0	1
	T2	Malo	45	0	0	0	1	0	1
	T3	Bueno	0	0	0	6	62	0	5
	T3	Regular	0	0	1	0	1	0	0
	T3	Malo	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Bueno	0	0	0	10	61	0	5
	T4	Regular	0	0	0	0	0	0	0
	T4	Malo	0	0	0	0	0	0	0

