

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de diferentes rasgos funcionales de cinco especies nativas forestales andinas en pre y post plantación en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay

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


Autores:

Elizabeth del Carmen Ortiz Bernal

Andrés Efrén Montesdeoca Paidá

Directora:

Fanny Ximena Palomeque Pesántez

ORCID:  0000-0003-4711-9650

Cuenca, Ecuador

2023-07-05

Resumen

Los rasgos funcionales son importantes de estudiar porque explican la relación de las plantas con su entorno. El objetivo de este estudio fue evaluar ocho rasgos funcionales de cinco especies nativas andinas en tres fases de la reforestación: Invernadero, aclimatación y plantación, estas dos últimas fueron evaluados en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay. Se seleccionaron al azar 25 plantas por especie en las dos primeras fases y 32 plantas en la tercera fase. Las especies evaluadas fueron: *Oreocallis grandiflora*, *Hedyosmum luteynii*, *Weinmannia fagaroides*, *Morella pubescens* y *Vallea stipularis*. En el experimento de reforestación se establecieron ocho bloques conformados por cuatro tratamientos; 1) Control, 2) Sin competencia de pastos (SS+ P. cortado), 3) Sombra con pasto (S + Pasto), y 4) Sombra sin pastos (S + P. cortado). Los rasgos funcionales evaluados fueron: tasa de crecimiento en altura (TCA), tasa de crecimiento de diámetro basal (TCD), espesor de hoja (EH), clorofila (CL), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), longitud específica de raíz (LER) y diámetro de la raíz fina (DRF). Los resultados a nivel de invernadero, mostraron que especies adquisitivas sobresalen frente a conservativas. En la aclimatación, todas las especies excepto *V. stipularis*, presentaron diferencias significativas para la mayoría de rasgos funcionales evaluados, considerando el efecto de la gradiente altitudinal. En la fase de plantación, se observó un mejor rendimiento de las especies, en los tratamientos bajo sombra. Este estudio contribuye con información sobre la selección de especies para la reforestación en función de rasgos funcionales.

Palabras clave: rasgos funcionales, reforestación, especies nativas

Abstract

Functional traits are important to study because they explain plants relationship with its environment. The objective of this study was to evaluate eight functional traits of five native Andean species in three phases of reforestation: greenhouse, acclimatization and plantation, the last two were evaluated in an altitudinal gradient in the province of Azuay. Twenty-five plants per species were randomly selected in the first two phases and 32 plants in the third phase. The species evaluated were: *Oreocallis grandiflora*, *Hedyosmum luteynii*, *Weinmannia fagaroides*, *Morella pubescens* and *Vallea stipularis*. In the reforestation experiment, eight blocks made up of four treatments were established; 1) Control, 2) Without grass competition (SS+ Cut P.), 3) Shade with grass (S + Grass), and 4) Shade without grass (S + Cut P.). The functional traits evaluated were: height growth rate (TCA), basal diameter growth rate (TCD), leaf thickness (LT), chlorophyll (CL), leaf area (LA), specific leaf area (SLA), specific root length (SRL) and fine root diameter (DRF). The results at the greenhouse level showed that acquisitive species stand out over conservative ones. In acclimatization, all species except *V. stipularis* had significant differences for most of the functional traits evaluated, considering the effect of the altitudinal gradient. In the plantation phase, a better performance of the species was observed in the treatments under shade. This study contributes with information on the selection of species for reforestation based on functional traits.

Keywords: functional traits, reforestation, native species

Índice de contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. Pregunta de investigación	13
3. Revisión de la literatura	14
3.1 La reforestación como una estrategia de revertir la degradación en ecosistemas de montaña	14
3.2 Rasgos funcionales y su respuesta a las diferentes condiciones ambientales	14
3.3 Rasgos funcionales en un contexto de restauración	15
4. Materiales y métodos	17
4.1 Descripción y establecimiento de las zonas de estudio.....	17
4.2 Descripción de la medición de rasgos funcionales en fase de pre plantación (Invernadero, aclimatación).....	22
4.3 Medición de rasgos funcionales en la fase de post plantación (en campo).....	23
5. Análisis estadístico	24
6. Resultados	25
6.1 Objetivo 1	25
6.2 Objetivo 2.....	30
7. Discusión.....	48
Conclusiones	52
Recomendaciones.....	53
Anexos	61

Índice de figuras

Figura 1. Representación de los sitios de estudio a lo largo de una gradiente altitudinal, Machángara (3180 msnm), Granja de Irquis (2833 msnm), Sevilla de Oro (2270 msnm), en la provincia del Azuay.	18
Figura 2. Diseño experimental de reforestación implementado en tres gradientes altitudinales Machángara, Irquis y Sevilla de Oro, en la provincia del Azuay.	20
Figura 3. Boxplots de cinco especies forestales andinas en la fase de invernadero, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. a) tasa de crecimiento de altura (TCA) b) tasa de crecimiento de diámetro basal (TCD), c) área foliar (AF), d) área foliar específica (AFE), e) espesor de hoja (EH) f) clorofila (CL), g) longitud específica de raíz (LER), h) diámetro de la raíz fina (DRF). n=25	27
Figura 4. Boxplots que representa la tasa de crecimiento altura (cm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25	33
Figura 5. Boxplots que representa la tasa de crecimiento diámetro basal (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25.....	34
Figura 6. Boxplots que representa el área foliar (cm ²) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25.....	35
Figura 7. Boxplots que representa el área foliar específica (cm ² /g) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25	36
Figura 8. Boxplots que representa el espesor de hoja (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25.....	37
Figura 9. Boxplots que representa la clorofila (SPAD) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25.....	38
Figura 10. Boxplots que representa la longitud específica de raíz (cm/g) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25	39
Figura 11. Boxplots que representa el diámetro de la raíz fina (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25	40

Figura 12. Boxplots que corresponde a tasa de crecimiento de altura (TCA) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32..... 44

Figura 13. Boxplots que corresponde a tasa de crecimiento de diámetro basal (TCD) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32..... 45

Figura 14. Boxplots que corresponde a espesor de hoja (EH) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32 46

Figura 15. Boxplots que corresponde a clorofila (CL) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32 47

Índice de tablas

Tabla 1. Elevación, tipo de suelo y condiciones meteorológicas de los sitios de estudio en una gradiente altitudinal de la provincia del Azuay.	17
Tabla 2. Rasgos funcionales destructivos y no destructivos evaluados en las fases de pre y post plantación. TCA (tasa de crecimiento altura), TCD (tasa de crecimiento diametro), AFE (área foliar específica), LER (longitud específica de raíz). Nota: * rasgo funcional medido, ** rasgo funcional no medido.....	21
Tabla 3. Estadística descriptiva de rasgos funcionales en fase de invernadero	29
Tabla 4. Resultados de prueba de Kruskal-Wallis para los rasgos funcionales en la fase de aclimatación por especie en las tres gradientes de estudio (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro) en la provincia del Azuay. $p < 0.05$	41

Abreviaturas

AF: área foliar

AFE: área foliar específica

CL: clorofila

DRF: diámetro de raíz fina

EH: espesor de hoja

LER: longitud específica de raíz

TCA: tasa de crecimiento de altura

TCD: tasa de crecimiento de diámetro basal

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por habernos dado la salud y protección para culminar con nuestro trabajo de titulación, a su vez queremos expresar nuestro profundo agradecimiento, a todas las personas que estuvieron presentes en esta investigación, de manera especial a nuestra directora de tesis, Blga. Ximena Palomeque PhD., por haber sido nuestra guía y brindarnos sus conocimientos, apoyo, paciencia y amistad, para la culminación de este estudio. También a nuestro codirector Ing. Franklin Marín Msc, por brindarnos su amistad, apoyo y enseñanza en la fase de campo. Agradecemos 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), por proporcionar los recursos para esta investigación. A nuestros compañeros que formaron parte de nuestro equipo de trabajo en fase de campo por su colaboración y apoyo y por haber compartido conocimientos y experiencias, Ing. Johnny Delva, Ing. Amanda Suqui Msc, Blga. Gabriela Maldonado Msc, a nuestros compañeros y amigos Walter Merchán, Klever Jaramillo, David Murillo y a los estudiantes que nos ayudaron en laboratorio. Finalmente, agradecemos al departamento de movilidad de la Universidad de Cuenca, por su cooperación en el traslado hacia los sitios de estudio.

Dedicatoria

Este trabajo dedico de manera especial a las personas más importantes de mi vida a mi hijo por haber sido mi principal motivación y mi fuerza para la culminación de mi tesis y de mi carrera, a mi esposo y compañero por su amor, sacrificio, empeño y esfuerzo para superarnos como familia, a mi madre por su ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por su amor, apoyo incondicional y ayuda económica brindada para la culminación de mi carrera, y a todos mis familiares mis hermanos y mi padre, por su apoyo y motivación durante todo este proceso educativo, sin todos ustedes no hubiese sido posible este logro.

Elizabeth

Dedico este logro a mi padre (†), aunque sé que ya no estas, te llevo presente en mi corazón y en cada logro que doy en la vida, tus influencias perduraran siempre en mi ser. A mi adorada esposa, a mi pequeño Andrés Sebastián, a mi madre querida, a mis hermanos, les dedico este logro alcanzado.

Andrés

Introducción

Los bosques andinos son ecosistemas que albergan alta diversidad de especies (Abud & Torres, 2016) y contribuye con una gran oferta de servicios ambientales (Tobón, 2009). Estos ecosistemas son sensibles a cambios en su estructura y composición (Herzog et al., 2011), que dependen de la geomorfología del paisaje, suelos, humedad, temperatura, vientos, precipitación, radiación solar (Tobón, 2009); así como también son amenazadas por actividades antropogénicas, como el avance de la frontera agrícola y pecuarias, tala selectiva y extracción ilegal de especies de los bosques, deforestación entre otros, y en consecuencia provocan degradación (Lizcano et al., 2002).

La deforestación, considerado un problema ambiental en el mundo, afecta principalmente a los bosques tropicales (Díaz & Mas Causel, 2009), de allí que muchos esfuerzos de restauración se enfocan en recuperar la funcionalidad de bosques nativos que han sido degradados debido a su importancia en la dotación de servicios importantes para el bienestar humano como son: secuestro de carbono, regulación hídrica, control de erosión, hábitats para la biodiversidad, así como también el mantenimiento y recuperación de valores culturales (FAO, 2020).

Para contrarrestar la deforestación, una práctica que se ha vuelto común es la reforestación como una estrategia de la restauración activa (Holl & Aide, 2011). En los últimos años, ha tomado relevancia el uso de especies nativas en la región andina, sin embargo, poco se conoce sobre el proceso de adaptación o establecimiento de las especies nativas en su etapa inicial en una reforestación, la cual es crítica, pues las plántulas tienen que adaptarse a una alta variabilidad de condiciones climáticas. En muchos casos las condiciones son desfavorables para las plantas, como por ejemplo, alta radiación, cambios bruscos de temperatura, estrés hídrico en épocas de baja y alta precipitación (Córdova et al., 2016; Hofstede & Llambí, 2020).

Se conoce, además, que la temperatura disminuye en 0,5°C por cada aumento de 100 m en elevación en las montañas tropicales húmedas (Jorgensen & Yáñez, 1999), esto podría tener un efecto en la morfología y fisiología de las especies forestales. No obstante, se conoce bien que ciertas especies presentan alta plasticidad fenotípica, con mayores oportunidades de sobrevivir en ambientes heterogéneos o ambientes de transición por su habilidad de aclimatarse a las condiciones ambientales (Valladares et al., 2006).

En este contexto, el estudio de rasgos funcionales de especies de plantas nativas, como por ejemplo, área foliar, área foliar específica, espesor de la hoja, aportan con información valiosa para entender la capacidad de adaptación de las plantas a las variaciones impuestas por el

clima (Zelada & Reynel, 2019), las mismas que en algunos casos están asociadas a la elevación en las montañas.

Con estos antecedentes, en este estudio se evaluó los rasgos funcionales en hojas, tallos, raíces y a nivel fisiológico de plántulas de cinco especies nativas en un experimento de reforestación tanto en su fase de invernadero, aclimatación (pre- plantación) y plantación (post plantación) ubicadas en una gradiente altitudinal en la provincia del Azuay. Las especies evaluadas fueron: *Oreocallis grandiflora*, *Hedyosmum luteynii*, *Weinmannia fagaroides*, *Morella pubescens* y *Vallea stipularis*. Este trabajo de titulación se enmarca dentro del proyecto de investigación titulado “*Consolidando una red de monitoreo de bosque de largo plazo en un paisaje modificado por humanos en el Norte del Ecuador (COFOREC II)*”, que tiene financiamiento VLIR UOS, con la participación de la Universidad de Ghent, EPN y la Universidad de Cuenca. Los resultados contribuirán al conocimiento sobre la capacidad de adaptación de las especies nativas utilizadas en la reforestación y de esta manera recomendar acerca de la apropiada selección de especies nativas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar los diferentes rasgos funcionales de cinco especies nativas forestales andinas en pre y post plantación en la Provincia del Azuay.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la variación de la respuesta de los rasgos funcionales morfológicos y fisiológicos de cinco especies forestales andinas nativas en la fase de invernadero.
- Comparar la variación de la respuesta de los rasgos funcionales morfológicos y fisiológicos en cinco especies forestales andinas nativas en la fase de aclimatación y en un experimento de la reforestación en una gradiente altitudinal.

2. Pregunta de investigación

¿Cómo varía la respuesta de las plántulas en sus rasgos funcionales morfológicos y fisiológicos de cinco especies forestales nativas a nivel de invernadero?

¿Cómo varía la respuesta de las plántulas en sus rasgos funcionales morfológicos y fisiológicos de cinco especies forestales nativas en una gradiente altitudinal en la fase de aclimatación?

¿Cómo varía la respuesta de las plántulas en sus rasgos funcionales morfológicos y fisiológicos de cinco especies forestales nativas entre una gradiente altitudinal y entre tratamientos de reforestación?

3. Revisión de la literatura

3.1 La reforestación como una estrategia de revertir la degradación en ecosistemas de montaña

La degradación severa de los bosques montañosos tropicales puede impactar sobre los niveles de organización ecológica, pérdida en la diversidad biológica, cambios en las interacciones de especies, reducción en los tamaños de las poblaciones de la flora y fauna, e incluso disminuir la diversidad genética (Soh et al., 2019). Varias iniciativas a nivel mundial pretenden contrarrestar la degradación, de allí que, a nivel mundial las Naciones Unidas han declarado al 2021-2030 como la “Década de la restauración ecosistémica” (UN decade of Restoration, 2023).

En el Ecuador, en el periodo de 2014 a 2016, la deforestación neta anual en el país fue de 61.112 ha/año (MAE, 2019). Con el propósito de revertir este problema, el país tiene como meta a corto plazo de implementar un proyecto nacional de restauración de paisaje para los años 2022-2025, donde se pretende restaurar un área total de 30.000 ha (MAATE, 2021). Sin duda la reforestación es una estrategia para recuperar la funcionalidad de los servicios ecosistémicos como: captura de carbono, provisión de agua y conservación de biodiversidad, (Holl & Brancalion, 2020; Mengist et al., 2020).

La reforestación en décadas pasadas en los Andes, se utilizaron en su mayoría especies exóticas como, por ejemplo: pino, eucalipto, entre otras (Palomeque et al., 2020). Sin embargo, en los últimos años, el uso de especies nativas en la reforestación ha cobrado gran importancia, pues se reconoce que estas están adaptadas a las condiciones ambientales del lugar a ser restaurado (SER, 2019), y son un factor importante en el éxito de la restauración activa. No obstante, todavía existe un vacío de conocimiento sobre las especies nativas que resisten a las condiciones de degradación, de allí la importancia de estudiar sus aspectos ecológicos, morfológicos y funcionales, para una apropiada selección y su uso en programas de reforestación a larga escala (Holl & Brancalion, 2020).

3.2 Rasgos funcionales y su respuesta a las diferentes condiciones ambientales

La importancia de estudiar los rasgos funcionales de ecosistemas tropicales de montaña, radica en poder analizar las variaciones impuestas por el ambiente y explicar ecológicamente la relación de una planta con su entorno (Zelada & Reynel, 2019). Los rasgos funcionales son atributos de las plantas que podrían afectar significativamente las funciones del ecosistema y reflejan la respuesta de la vegetación a los cambios por factores de estrés abióticos como: sombra, alta radiación, sequía, heladas, y bióticos como la herbívora, competencia, entre otros (Zamora et al., 2004). De acuerdo a la teoría, se conoce que hay dos tipos de estrategias

ecológicas, la primera corresponde a las plantas que adquieren nutrientes y tienen una tasa de crecimiento rápida y se conoce como “Adquisitivas,” mientras que la segunda corresponde a las plantas con una adquisición de recursos y crecimiento más lento que se conoce como “Conservativas” (De la Riva et al., 2014).

Por otra parte, la gradiente altitudinal de los Andes puede considerarse como laboratorios naturales (Alvizu, 2004; Valenzuela et al., 2015) para el estudio del comportamiento de las especies vegetales y su adaptación al cambio ambiental (Valenzuela et al., 2015). En un estudio realizado en una gradiente altitudinal en un bosque seco en Brasil por Faccion et al., (2021), se encontró que los rasgos de las hojas varían desde conservativas a adquisitivas, y tienen relación con la ecología propia de las especies. Asimismo, las condiciones del hábitat determinan una variación inter o intraespecífica de las hojas en la comunidad de la vegetación.

Báez et al, (2022), en bosques andinos tropicales en el sur de Ecuador, encontraron que, mientras más baja es la gradiente altitudinal los valores promedios fueron altos en los rasgos funcionales de área foliar, área foliar específica, contenido de N y P de la hoja, en cambio a mayor elevación, este patrón de composición de rasgos se invirtió, reflejando así la variación de los rasgos funcionales a lo largo de una gradiente altitudinal.

Es evidente, que, en función de las condiciones propias de cada ecosistema, sean estos húmedos o secos, las plantas adquieren rasgos funcionales que responden a sus condiciones ambientales propias. En los bosques húmedos tropicales, los rasgos funcionales que se destacan con valores más altos son: densidad de madera, altura total del árbol y diámetro del fuste del árbol (Aguirre et al., 2019), mientras que en los bosques secos los rasgos funcionales que sobresalen con valores superiores son: contenido foliar de materia seca, densidad de madera y contenido máximo de agua en el tallo (Moreno & Rubiano, 2020).

Krichen et al, (2017) demostraron que, bajo condiciones más húmedas, las especies tienen una mayor expresión en los rasgos funcionales y una mayor biomasa, dando como resultado una mayor productividad.

3.3 Rasgos funcionales en un contexto de restauración

Estudios realizados sobre rasgos funcionales en reforestación con especies nativas en los Andes tropicales, son muy escasos. A continuación, se reportan algunos estudios relacionados a la restauración activa y pasiva en contextos de ecosistemas más amplios. Rada et al, (2021) encontró que en etapas tempranas de sucesión en un ecosistema tropical

altoandino, dominaron los siguientes rasgos: área específica foliar, nitrógeno en las hojas y en la tasa de asimilación de CO₂.

Otro estudio realizado en una plantación en la Amazonía Brasileña, ubicada a 60 msnm, utilizando especies nativas, analizaron 12 rasgos funcionales a nivel de hojas, cuyos resultados indicaron que hubo una correlación con la tasa de crecimiento relativo de las plantas y hubo una tendencia clara de la eficiencia fotosintética, por tanto, existió una importante incorporación de carbono en la biomasa (Guimarães et al., 2018). En el estudio se concluye la importancia de una adecuada selección de las especies para asegurar el crecimiento inicial.

De acuerdo a De la Riva et al., (2014), que estudiaron las especies del género *Quercus* de ecosistemas del mediterráneo, reportaron la presencia de semillas grandes, bajas tasas de crecimiento relativo, baja área específica foliar y una alta proporción de raíz en condiciones de invernadero; mientras, en condiciones de campo, se observó que las tasas de crecimiento fueron variables para una misma especie y que estas tasas de crecimiento estuvieron correlacionados con el área específica foliar y la concentración de nitrógeno.

4. Materiales y métodos

4.1 Descripción y establecimiento de las zonas de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en tres fases: invernadero y aclimatación que se ha denominado como pre plantación y posterior a la siembra de un proyecto de reforestación, que se ha denominado post plantación, en la provincia del Azuay. La primera fase de invernadero de plantas nativas forestales se ubicó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, Campus Yanuncay (2°55'15.7"S 79°01'26.9"W). Las fases de aclimatación y plantación se realizaron en tres sitios de estudio, siguiendo una gradiente altitudinal y son: Machángara alto (2°42'54.0"S, 79°00'32.4"W) en los predios de ELECAUSTRO, Granja de Irquis (3°06'59.8"S 79°03'58.3"W) en los predios de la Universidad de Cuenca y en Sevilla de Oro (2°43'33.0"S, 78°38'26.1"W) en los predios de CELEC, cuyas características propias de cada lugar se mencionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Elevación, tipo de suelo y condiciones meteorológicas de los sitios de estudio en una gradiente altitudinal de la provincia del Azuay.

Gradiente altitudinal	Elevación (msnm)*	Tipo de Suelo	Temperatura promedio (°C)*	Precipitación (mm)*
Machángara	3180	Andosol ¹	9.70	1266.74
Irquis	2833	Inceptisol ²	11.02	679.32
Sevilla de Oro	2270	Entisol ²	14,72	1162.21

Fuente: ¹ Quichimbo et al., 2012; ² Marín et al., 2018. * Parámetros meteorológicos y de elevación fueron tomados de los sensores instalados en los sitios de estudio por el proyecto COFOREC II (2022 – 2023).

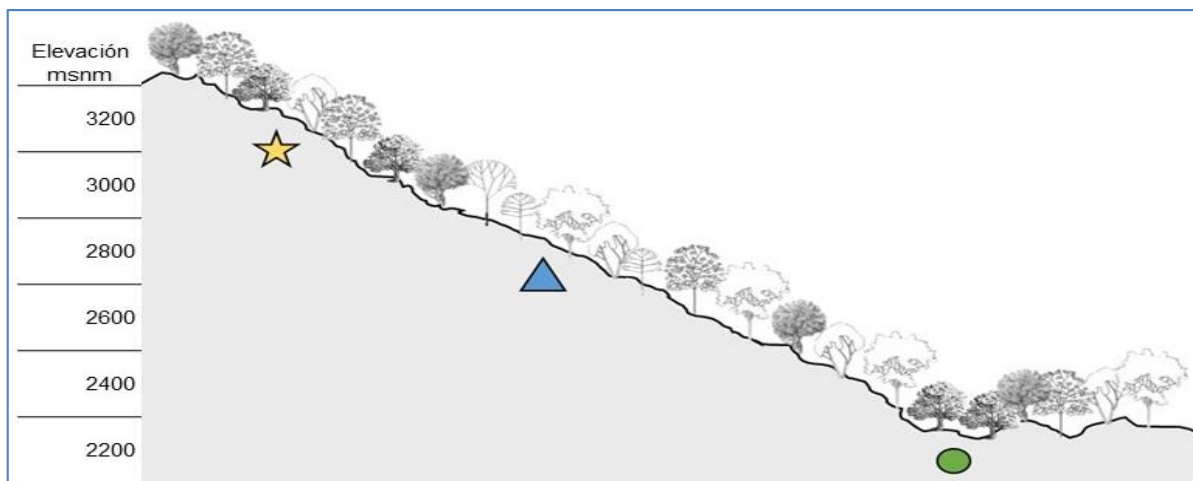


Figura 1. Representación de los sitios de estudio a lo largo de una gradiente altitudinal, ★ Machángara (3180 msnm), ▲ Granja de Irquis (2833 msnm), ● Sevilla de Oro (2270 msnm), en la provincia del Azuay.

Para el análisis de rasgos funcionales en las tres etapas del proyecto, se trabajó con cinco especies nativas de bosques altoandinos, estas son: *Oreocallis grandiflora*, *Hedyosmum luteynii*, *Weinmannia fagaroides*, *Morella pubescens*, *Vallea stipularis*

A continuación, se describe la metodología por cada fase:

a. Fase de invernadero

Las plántulas de las cinco especies nativas forestales fueron propagadas a partir de semillas en el invernadero de especies nativas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias desde inicios del 2020. Las semillas fueron colectadas en los bosques naturales altoandinos, circundantes a las zonas para ser reforestadas.

La caracterización de los rasgos funcionales en esta fase, se realizó en febrero de 2022. Se evaluaron ocho rasgos funcionales basados en los protocolos de (Cornelissen et al., 2003; Pérez et al., 2013), divididos en dos grupos: destructivos (área foliar, área foliar específica, longitud específica de la raíz, diámetro de la raíz) y no destructivos (altura, diámetro basal, espesor de la hoja, concentración de clorofila) (Tabla 3).

Se seleccionaron al azar 25 plántulas por cada especie de un lote de 10.000 plántulas (2000 por especie), cuando las plantas tenían una altura promedio entre 10–20 cm en las especies *H. luteynii* y *W. fagaroides*, entre 20-30 cm para *O. grandiflora* y *V. stipularis* y más de 30 cm para *M. pubescens*, considerándose listas para el trasplante. Los rasgos fueron medidos una sola vez a excepción de la altura (cm) y diámetro basal (mm), que tuvieron dos mediciones en un intervalo de 45 días, con el fin de obtener la tasa de crecimiento.

b. Fase de aclimatación

Previo a la siembra, las plántulas fueron sometidas a una fase de aclimatación en los sitios de acuerdo a la gradiente altitudinal establecida. El traslado de las plántulas se realizó en la época lluviosa para evitar estrés hídrico, y, por tanto, evitar su mortalidad. Se seleccionaron y etiquetaron nuevamente 25 plántulas al azar por especie en cada gradiente. Así mismo, se realizaron dos mediciones para los rasgos de altura (cm) y diámetro basal (mm) en los meses de marzo y julio de 2022 (120 días), con el fin de obtener la tasa de crecimiento. Los demás rasgos funcionales destructivos y no destructivos (Tabla 2), fueron evaluados al finalizar este periodo. Cabe recalcar que el área foliar y el área foliar específica en la especie *V. stipularis*, fueron medidos a los 150 días, debido a que la especie sufrió una defoliación en la gradiente de Sevilla de Oro, y por tanto, se esperó varios días hasta el rebrote de nuevas hojas.

c. Fase de post plantación

El experimento de reforestación con especies nativas en pastizales abandonados, tuvo un diseño experimental de bloques al azar, instalados entre los meses de mayo y junio de 2022. Estos constaron de ocho bloques, y en cada bloque se establecieron cuatro tratamientos: 1) Competencia de pastos (Control), 2) Sin competencia de pastos (SS+ P. cortado) (eliminación de pastos de manera manual), 3) Sombra con pasto (S + Pasto), y 4) Sombra sin pastos (S + P. cortado). En cada parcela (tratamiento), se sembraron 16 plantas por especie distribuidas de manera aleatoria. La distancia de siembra fue de 2,5 m x 2,5 m entre plantas, en parcelas de 20 x 25 m (un total de 80 plantas por parcela) (Figura 2).

Para la medición de los rasgos funcionales en esta fase, se seleccionó un individuo por cada especie, en cada parcela (tratamiento), dando un total de 160 plantas por sitio. Durante la fase de post plantación los rasgos funcionales fueron medidos a los 5 meses después de la siembra. De igual manera que en las fases anteriores, se realizaron dos mediciones para los rasgos de altura (cm) y diámetro basal (mm), entre los meses de julio (medición 1) y diciembre (medición 2) de 2022, mientras que el espesor de la hoja y concentración de clorofila fueron evaluados al término de este periodo (150 días), para esta fase no se midieron rasgos funcionales no destructivos (Tabla 2).

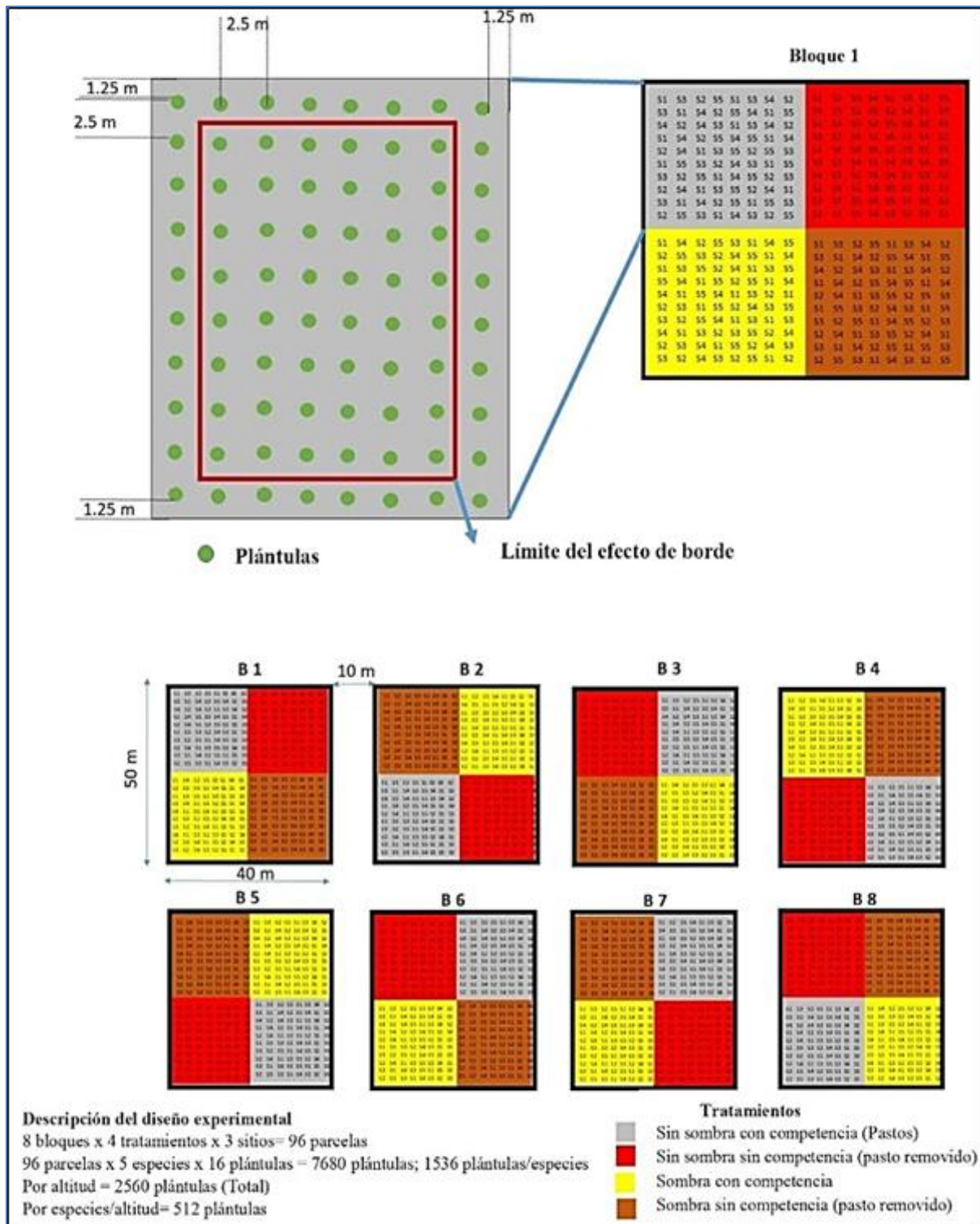


Figura 2. Diseño experimental de reforestación implementado en tres gradientes altitudinales Machángara, Irquis y Sevilla de Oro, en la provincia del Azuay.

Fuente: Experimento de reforestación, proyecto COFOREC II

Tabla 2. Rasgos funcionales destructivos y no destructivos evaluados en las fases de pre y post plantación. TCA (tasa de crecimiento altura), TCD (tasa de crecimiento diámetro), AFE (área foliar específica), LER (longitud específica de raíz). Nota: * rasgo funcional medido, ** rasgo funcional no medido.

Rasgos Funcionales	Tipo de rasgos (destructivo y no destructivo)	Pre plantación		Post plantación	Cálculo
		Fase invernadero	Fase aclimatación	Fase plantación	
Tasa de crecimiento altura (cm)	No destructivo	*	*	*	$TCA = (Altura\ 2 - Altura\ 1) / tiempo$
Tasa de crecimiento diámetro (mm)	No destructivo	*	*	*	$TCD = (Diámetro\ 2 - Diámetro\ 1) / tiempo$
Área foliar (cm ²)	Destructivo	*	*	**	
Área foliar específica (cm ² /g)	Destructivo	*	*	**	$AFE = \text{área foliar} / \text{peso seco}$
Espesor (mm)	No destructivo	*	*	*	
Clorofila (SPAD)	No destructivo	*	*	*	
Longitud específica de raíz (cm/g)	Destructivo	*	*	**	$LER = \text{longitud} / \text{peso seco}$
Diámetro de Raíz (mm)	Destructivo	*	*	**	

4.2 Descripción de la medición de rasgos funcionales en fase de pre plantación (Invernadero, aclimatación).

A continuación, una breve descripción de la evaluación de cada rasgo funcional:

Altura (cm) y diámetro basal (mm)

Para estos rasgos funcionales, en cada individuo seleccionado se realizó una marca a nivel del cuello, esto con el fin de posteriormente realizar la segunda medición. La altura se obtuvo mediante el uso de un flexómetro desde la marca, hasta la base del primer ápice, mientras que el diámetro basal se obtuvo con un calibrador digital Mitutoyo 500-171-30. Para obtener la tasa de crecimiento tanto de altura como diámetro basal se aplicó la ecuación 1 y 2.

Ecuación 1. TCA (tasa de crecimiento altura)

$$TCA = \frac{(\text{altura 2} - \text{altura 1})}{\text{tiempo}}$$

Fuente: (Sosa & Trejo, 2003)

Ecuación 2. TCD (tasa de crecimiento diámetro)

$$TCD = \frac{(\text{diámetro 2} - \text{diámetro 1})}{\text{tiempo}}$$

Fuente: (Sosa & Trejo, 2003)

Espesor (mm), área (cm²), y concentración de clorofila de la hoja (SPAD)

Para la medición de estos rasgos funcionales se seleccionaron y etiquetaron cinco hojas de cada planta seleccionada. Mediante el uso de un calibrador digital FTVOGUE, se midió el espesor de la hoja en la parte central de la misma, evitando las nervaduras. La clorofila se determinó mediante el medidor de clorofila CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA). En la fase de invernadero se cosecharon y etiquetaron las hojas para ser trasladadas inmediatamente al laboratorio para su procesamiento. En la fase de aclimatación, las hojas cosechadas fueron conservadas en papel absorbente húmedo para evitar su deshidratación y guardadas en fundas plásticas con su respectiva etiqueta para su traslado al Laboratorio de semillas y Ecología Forestal.

Para las dos fases, el área foliar se obtuvo con un scanner EPSON WORKFORCE WF2750 y posteriormente las imágenes fueron procesadas mediante el software ImageJ, para ello se

partió de un área conocida de 1 cm². Las hojas seleccionadas fueron puestas en fundas de papel con su respectiva etiqueta, y colocadas en la estufa por 48 horas a una temperatura de 72°C, con el fin de obtener su peso seco. El AFE (cm²/g) se obtuvo mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. AFE (área foliar específica), AF (área foliar), PS (peso seco).

$$AFE = \frac{AF}{PS}$$

Fuente: (Cornelissen et al., 2003; Pérez et al., 2013)

Longitud específica (cm/g) y diámetro de la raíz fina (mm)

En fase de invernadero las raíces fueron seleccionadas y procesadas al momento de la extracción en el laboratorio. En la fase de aclimatación, las raíces fueron colocados junto con el sustrato en fundas plásticas etiquetadas y trasladados para ser almacenados a una temperatura de 5°C, para evitar la pudrición. Para la medición de la longitud específica de la raíz y diámetro de la raíz se seleccionaron 10 raíces al azar por especie. Las raíces obtenidas fueron procesadas con un scanner EPSON WORKFORCE WF2750 y luego analizadas mediante el software ImageJ. Una vez procesadas las raíces, se guardaron en bolsas de papel con su respectiva etiqueta y fueron colocadas en la estufa por 48 horas a una temperatura de 72°C para obtener su peso seco. Para el diámetro de la raíz fina y longitud específica de raíz se consideró una distancia conocida de 1 mm y 1 cm respectivamente. Este último rasgo funcional se obtuvo mediante la ecuación 4.

Ecuación 4. LER (longitud específica de raíz), PS (peso seco).

$$LER = \frac{\text{Longitud}}{PS}$$

Fuente: (Cornelissen et al., 2003; Pérez et al., 2013)

4.3 Medición de rasgos funcionales en la fase de post plantación (en campo).

Los rasgos funcionales caracterizados no fueron destructivos y son: altura de la planta, diámetro basal, espesor de la hoja y concentración de la clorofila. Para la medición de los rasgos funcionales se siguió la metodología mencionada en la fase de pre plantación, empleando el protocolo propuesto por (Cornelissen et al., 2003; Pérez et al., 2013), (Sosa & Trejo, 2003).

5. Análisis estadístico

Para la fase de invernadero se realizó un análisis descriptivo por especie para los rasgos funcionales evaluados. En la fase de aclimatación, se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, teniendo a la gradiente altitudinal como factor y a las mediciones de los rasgos funcionales como variables de respuesta. En fase de post plantación se aplicó un modelo lineal general univariado (MLGu), considerando a los sitios y tratamientos como factores fijos y a las mediciones de los rasgos funcionales como variables de respuesta. Para este último análisis se verificó la homogeneidad de varianza y la normalidad, en caso de no cumplirse los supuestos, se procedió a realizar transformación de datos, hasta cumplir con lo requerido. Los análisis se obtuvieron en el software IBM SPSS Statistics versión 26.

6. Resultados

6.1 Objetivo 1

Rasgos funcionales de especies forestales nativas en fase de invernadero

Tasa de crecimiento de altura, cm (TCA)

La especie con mayor TCA, fue *M. pubescens* con una mediana de 3.63 cm, seguido de *V. stipularis* y *W. fagaroides* que mostraron valores de 2.20 cm y 1.47 cm respectivamente. Finalmente, *O. grandiflora* y *H. luteynii* presentaron la menor TCA, con una mediana de 1.17 cm y 0.35 cm respectivamente (Figura 3a). Cabe indicar que las especies *W. fagaroides*, *M. pubescens* y *V. stipularis* mostraron una alta variación en sus valores (Tabla 3).

Tasa de crecimiento de diámetro basal, mm (TCD)

Similar al TCA, la especie *M. pubescens* tuvo una mediana mayor TCD de 0.28 mm con respecto a las otras especies (Figura 3b). Las especies *O. grandiflora*, *V. stipularis* y *W. fagaroides*, mostraron valores de mediana de 0.20 mm, 0.21 mm y 0.18 respectivamente. *H. luteynii* mostró el valor más bajo con una mediana de 0.16 mm (Tabla 3).

Área foliar, cm² (AF)

M. pubescens presentó mayor AF con un valor de mediana de 25.34 cm², seguida de *O. grandiflora* con 17.24 cm², mientras que *V. stipularis*, *H. luteynii* y *W. fagaroides* presentaron las medianas inferiores a 6 cm² (Tabla 3). Se destaca que las especies de *O. grandiflora* y *M. pubescens* tuvieron una alta variación (Figura 3c).

Área foliar específica, cm²/g (AFE)

V. stipularis sobresale para el rasgo AFE entre las cinco especies estudiadas, con una mediana de 362.29cm²/g y también presentó una alta variabilidad. *M. pubescens*, *W. fagaroides* y *H. luteynii* presentaron una mediana de 196.65 cm²/g, 196.85 cm²/g y 193.09 cm²/g, respectivamente (Tabla 3). Finalmente, *O. grandiflora* presentó los valores más bajos de este rasgo con una mediana de 150.02 cm²/g (Figura 3d).

Espesor de la hoja, mm (EH)

H. luteynii fue la especie que resaltó en el rasgo EH, siendo el valor de la mediana de 0.39 mm, seguido de *O. grandiflora* y *M. pubescens*, con medianas de 0.30 mm y 0.28 mm, respectivamente mientras que *W. fagaroides* y *V. stipularis* tuvieron los valores más bajos con 0.20 mm y 0.21 mm. respectivamente (Figura 3e). (Tabla 3).

Clorofila SPAD (CL)

En el análisis de concentración de clorofila, los valores más altos se presentaron en *M. pubescens*, siendo su mediana 33.37 SPAD, seguido de *O. grandiflora* con una mediana de 26,68 SPAD. El resto de las especies presentaron valores relativamente más bajos 23.92 para *H. luteynii*, 23.49 para *V. stipularis* y 23.35 SPAD para *W. fagaroides* (Figura 3f). Para todas las especies se registró una alta variabilidad (Tabla 3).

Longitud específica de la raíz, cm/g (LER)

La especie que mostró valores mayores en este rasgo fue *W. fagaroides*, con una media de 10514.47 cm/g. *V. stipularis* presento una media de 10024,59 cm/g. Las especies que mostraron valores bajos fueron *O. grandiflora*, *M. pubescens* y *H. luteynii* con medias de 3956.81, 3724.11 y 3234.98 cm/g respectivamente (Figura 3g). (Tabla 3).

Diámetro de la raíz fina, mm (DRF)

El diámetro de la raíz fina fue mayor en la especie *H. luteynii* con una mediana de 0.51 mm, seguido de *M. pubescens* y *O. grandiflora* con medianas de 0.30 y 0,28 mm respectivamente (Tabla 3). Los valores bajos se presentaron en las especies de *V. stipularis* y *W. fagaroides* con valores de 0.18 mm para las dos especies (Figura 3h).

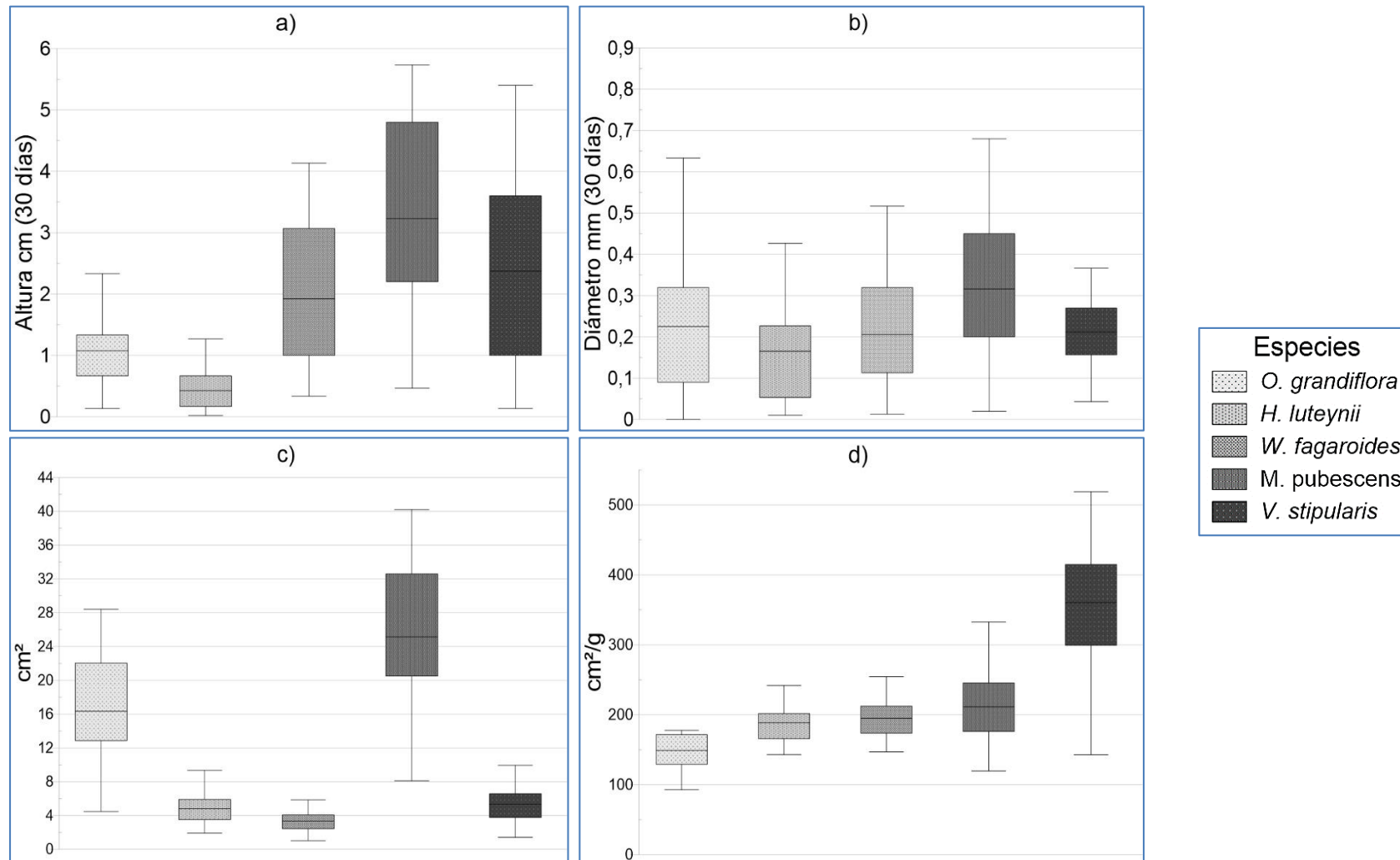


Figura 3. Boxplots de cinco especies forestales andinas en la fase de invernadero, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. a) tasa de crecimiento de altura (TCA) b) tasa de crecimiento de diámetro basal (TCD), c) área foliar (AF), d) área foliar específica (AFE). n=25

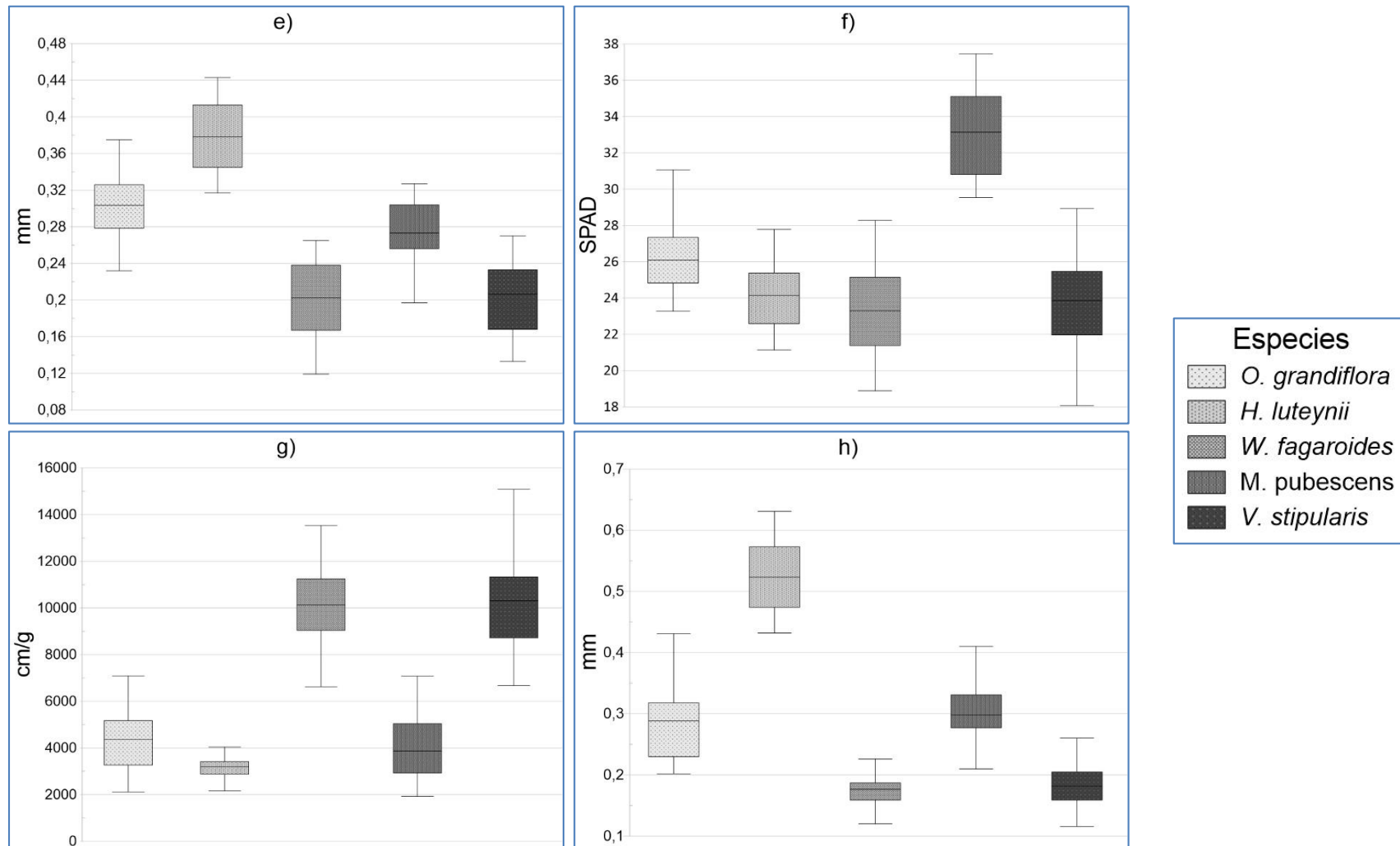


Figura 3. Boxplots de cinco especies forestales andinas en la fase de invernadero, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. e) espesor de hoja (EH) f) clorofila (CL), g) longitud específica de raíz (LER), h) diámetro de la raíz fina (DRF). n=25

Tabla 3. Estadística descriptiva de rasgos funcionales en fase de invernadero

Valores y medidas de Rasgos Funcionales								
	TCA	TCD	AF	AFE	EH	CL	LER	DRF
<i>Oreocallis grandiflora</i>								
Media	1,07	0,23	16,35	148,87	0,30	26,08	4371,72	0,29
Desviación Est.	0,54	0,20	6,53	23,55	0,03	2,68	1529,67	0,06
Mediana	1,17	0,20	17,24	150,02	0,30	26,68	3956,81	0,28
Máximo	2,33	0,63	28,42	177,91	0,38	31,05	8266,39	0,43
Mínimo	0,13	0,00	4,49	92,88	0,23	20,23	2115,21	0,20
<i>Hedyosmum luteynii</i>								
Media	0,43	0,17	4,81	188,54	0,38	24,14	3193,85	0,52
Desviación Est.	0,34	0,13	1,81	27,32	0,04	2,16	507,02	0,06
Mediana	0,35	0,16	5,00	193,09	0,39	23,92	3234,98	0,51
Máximo	1,27	0,52	9,35	241,79	0,44	29,59	4320,91	0,63
Mínimo	0,02	0,01	1,92	143,14	0,32	21,13	2160,04	0,43
<i>Weinmannia fagaroides</i>								
Media	1,92	0,21	3,36	195,08	0,20	23,30	10133,59	0,18
Desviación Est.	1,27	0,13	1,20	29,25	0,04	2,51	2279,34	0,02
Mediana	1,47	0,18	3,36	196,85	0,20	23,35	10514,47	0,18
Máximo	4,13	0,52	5,84	254,43	0,27	28,27	13534,73	0,23
Mínimo	0,33	0,01	1,02	147,05	0,12	18,89	6624,93	0,12
<i>Morella pubescens</i>								
Media	3,23	0,31	25,13	211,42	0,27	33,13	3865,84	0,30
Desviación Est.	1,63	0,19	8,45	59,53	0,04	2,35	1325,88	0,05
Mediana	3,63	0,28	25,34	196,65	0,28	33,37	3724,11	0,30
Máximo	5,73	0,68	40,21	332,66	0,33	37,45	7077,87	0,41
Mínimo	0,47	0,02	8,11	119,57	0,20	29,53	1925,30	0,21
<i>Vallea stipularis</i>								
Media	2,37	0,21	5,35	360,53	0,21	23,85	10310,55	0,18
Desviación Est.	1,62	0,10	2,25	109,93	0,04	2,78	2365,94	0,04
Mediana	2,20	0,21	5,64	362,29	0,21	23,49	10024,59	0,18
Máximo	5,40	0,47	9,95	590,80	0,27	28,93	15085,52	0,26
Mínimo	0,13	0,04	1,41	143,04	0,13	18,07	6671,02	0,12

6.2 Objetivo 2

Rasgos funcionales de especies forestales nativas en fase de aclimatación en una gradiente altitudinal

Tasa de crecimiento de altura, cm (TCA)

Para este rasgo funcional las especies mostraron una tendencia marcada, mientras disminuye la altitud se incrementa la TCA (Figura 4). Se destaca el valor más alto de la mediana para *M. pubescens* en Sevilla de Oro con 1.08 cm, mientras que el valor más bajo se presentó en *O. grandiflora* con 0.05 cm en Machángara. Se encontró diferencias significativas entre los sitios en la mayoría de las especies ($p < 0.05$), excepto para *V. stipularis* (Tabla 4).

Tasa de crecimiento de diametro basal, mm (TCD)

O. grandiflora, *W. fagaroides*, *M. pubescens* y *V. stipularis* mostraron un menor valor de mediana para TCD en el sitio de Machangara con respecto a Irquis, sin embargo, hubo un incremento en la gradiente más baja (Sevilla de Oro) (Figura 5). No obstante, este patrón no fue observado para la especie *H. luteynii*, siendo levemente mayor su TCD en la gradiente más baja. El análisis estadístico demostró diferencias significativas ($p < 0.05$) para el factor gradiente altitudinal (Tabla 4), excepto para *V. stipularis*.

Área foliar, cm² (AF)

Las especies *H. luteynii*, *W. fagaroides* y *V. stipularis* tuvieron los valores de mediana más baja en las tres gradientes altitudinales, no obstante, estas dos últimas especies tuvieron un leve incremento del área foliar en el sitio de Machángara con los siguientes valores 4.96 y 4.40 cm², respectivamente. Las especies *O. grandiflora* y *M. pubescens* presentaron medianas más altas sobre los 18 cm² en las tres gradientes. Cabe recalcar que para *O. grandiflora*, el área foliar más elevada fue registrada en Irquis (26.49 cm²) y para *M. pubescens* tuvieron medias similares en Machángara e Irquis (23.83 cm² y 23.33 cm²) (Figura 6). Las especies *M. pubescens* y *O. grandiflora* no presentaron diferencias significativas para el factor gradiente (Tabla 4).

Área foliar específica, cm²/g (AFE)

Las especies *O. grandiflora*, *H. luteynii* y *M. pubescens* mostraron una tendencia similar para el factor gradiente, mientras mayor es la gradiente altitudinal, existe un incremento en el AFE. Estas tres especies mostraron valores de mediana más alta en Machángara con 129.09, 173.00 y 159.89 cm²/g respectivamente. En el caso de *V. stipularis* sobresale la mediana en

este rasgo con el valor más alto de 298.91 cm²/g, para el sitio Sevilla de Oro. Mientras que *W. fagaroides* mostró en el sitio de Irquis con 146.61 cm²/g (Figura 7).

Se presentó diferencias estadísticas significativas para el factor de gradiente ($p < 0.05$) únicamente para las especies *M. pubescens* y *V. stipularis* (Tabla 4).

Espesor de hoja, mm (EH)

Para este rasgo funcional no se muestra una tendencia marcada, sin embargo, se observa que, a menor altitud, mayor fue la mediana de EH, para las especies de *M. pubescens* y *H. luteynii* en el sitio Sevilla de Oro con 0.36 mm y 0.41 mm, respectivamente. Las especies *O. grandiflora* y *W. fagaroides* mostraron mayor EH en el sitio de Irquis con medianas de 0.42 mm y 0.25 mm respectivamente. *V. stipularis* presentó la mediana más baja con 0.21 mm en el sitio Machángara (Figura 8). El análisis estadístico mostró para todas las especies diferencias significativas ($p < 0.05$), excepto para la especie *V. stipularis* (Tabla 4).

Clorofila SPAD (CL)

Para este rasgo las especies *W. fagaroides*, *M. pubescens* y *V. stipularis* mostraron mayor incremento de Clorofila para el sitio Machángara con respecto a las dos gradientes en estudio. Por otro lado, *O. grandiflora*, y *H. luteynii* tuvieron una mediana superior en Irquis con valores de 29.74 y 29.93 SPAD, respectivamente. *V. stipularis* mostró una tendencia que conforme la altitud es más baja, la mediana es menor (Figura 9). Además, esta especie también se destaca por tener una amplia variabilidad. Estadísticamente hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) para todas las especies, excepto para *V. stipularis* (Tabla 4).

Longitud específica de raíz, cm/g (LER)

En este rasgo funcional se observó un claro patrón para las especies *O. grandiflora*, *W. fagaroides* y *M. pubescens*, donde, a mayor elevación (Machángara), los valores de la mediana fueron superiores con respecto a los otros sitios, cuyos valores fueron 1606.57, 3178.76 y 2014.97 cm/g respectivamente. En el caso de *H. luteynii* hubo una similitud de las medianas entre las gradientes de Irquis y Sevilla de Oro. Finalmente, *V. stipularis* mostró que conforme la gradiente desciende los valores de la mediana de LER se incrementa, por tanto, en Sevilla de Oro el valor fue de 3036.32 cm/g (Figura 10). Para este rasgo, todas las especies presentaron diferencias estadísticas para el factor de la gradiente altitudinal (Tabla 4).

Diámetro de la raíz fina, mm (DRF)

En este rasgo se observa que para las especies como: *H. luteynii*, y *M. pubescens*, los valores de la mediana son similares entre las tres gradientes, y, por tanto, no presentaron diferencias estadísticas. *O. grandiflora*, presentó un alto valor de mediana de DRF en Irquis con 0.63 mm, con respecto a los dos gradientes; en el caso de *W. fagaroides* se observó que el valor de la mediana para Machángara fue levemente inferior que los otros sitios, y finalmente, para *V. stipularis* la mediana de DRF fue superior en Irquis e inferior en Sevilla de Oro (Figura 11). Estas tres últimas especies presentaron diferencias estadísticas (Tabla 4).

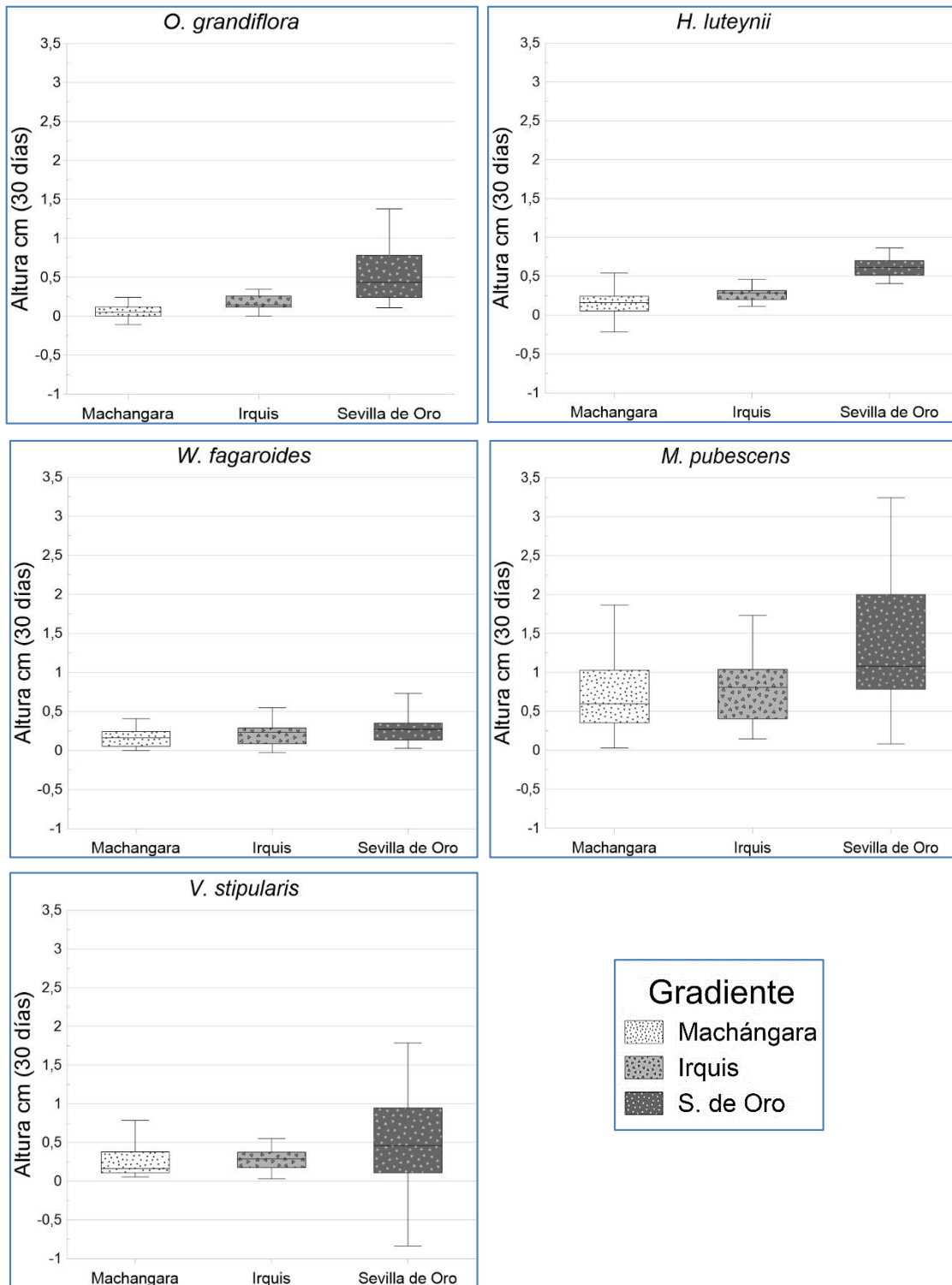


Figura 4. Boxplots que representa la tasa de crecimiento altura (cm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

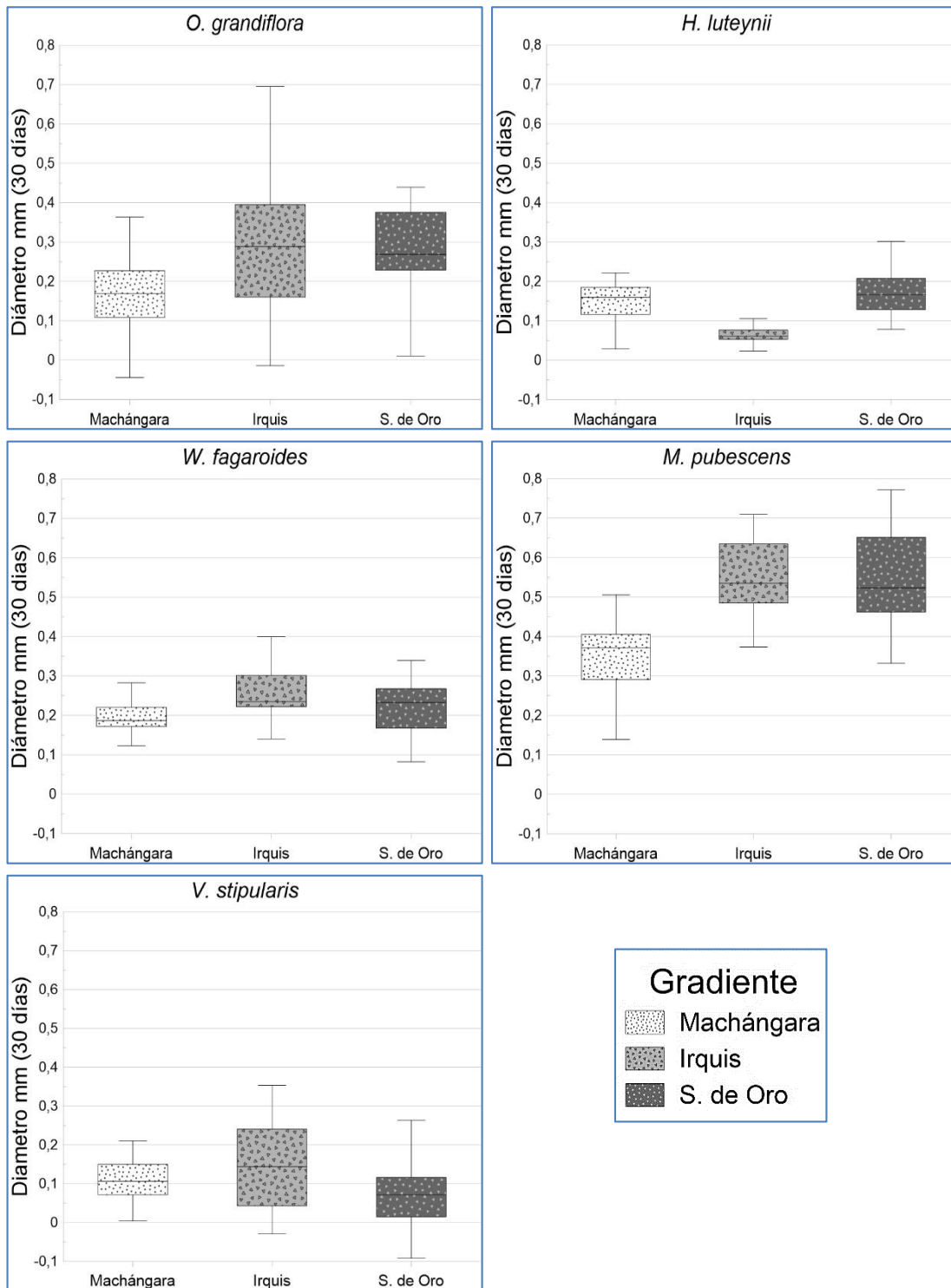


Figura 5. Boxplots que representa la tasa de crecimiento diámetro basal (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

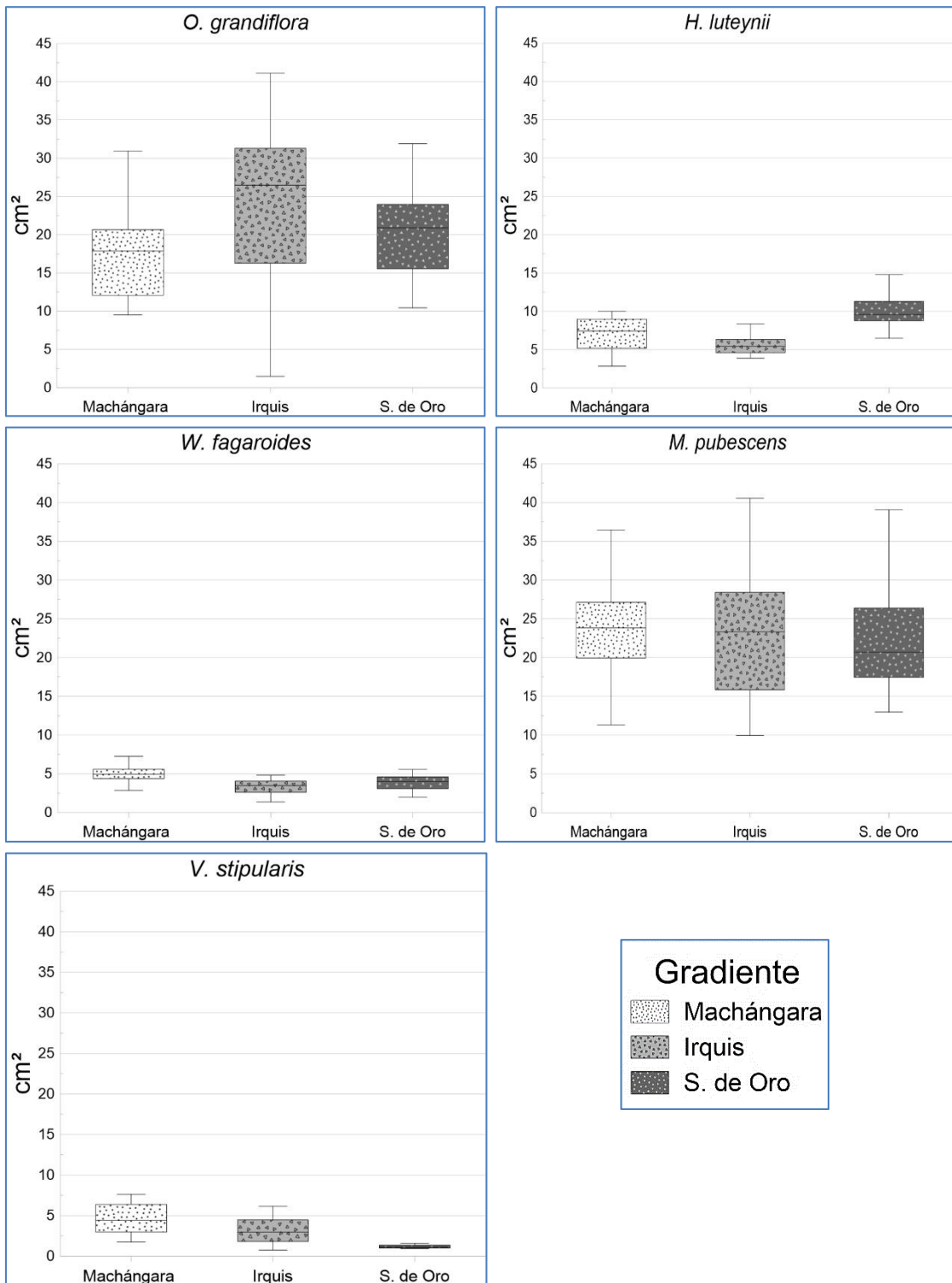


Figura 6. Boxplots que representa el área foliar (cm²) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

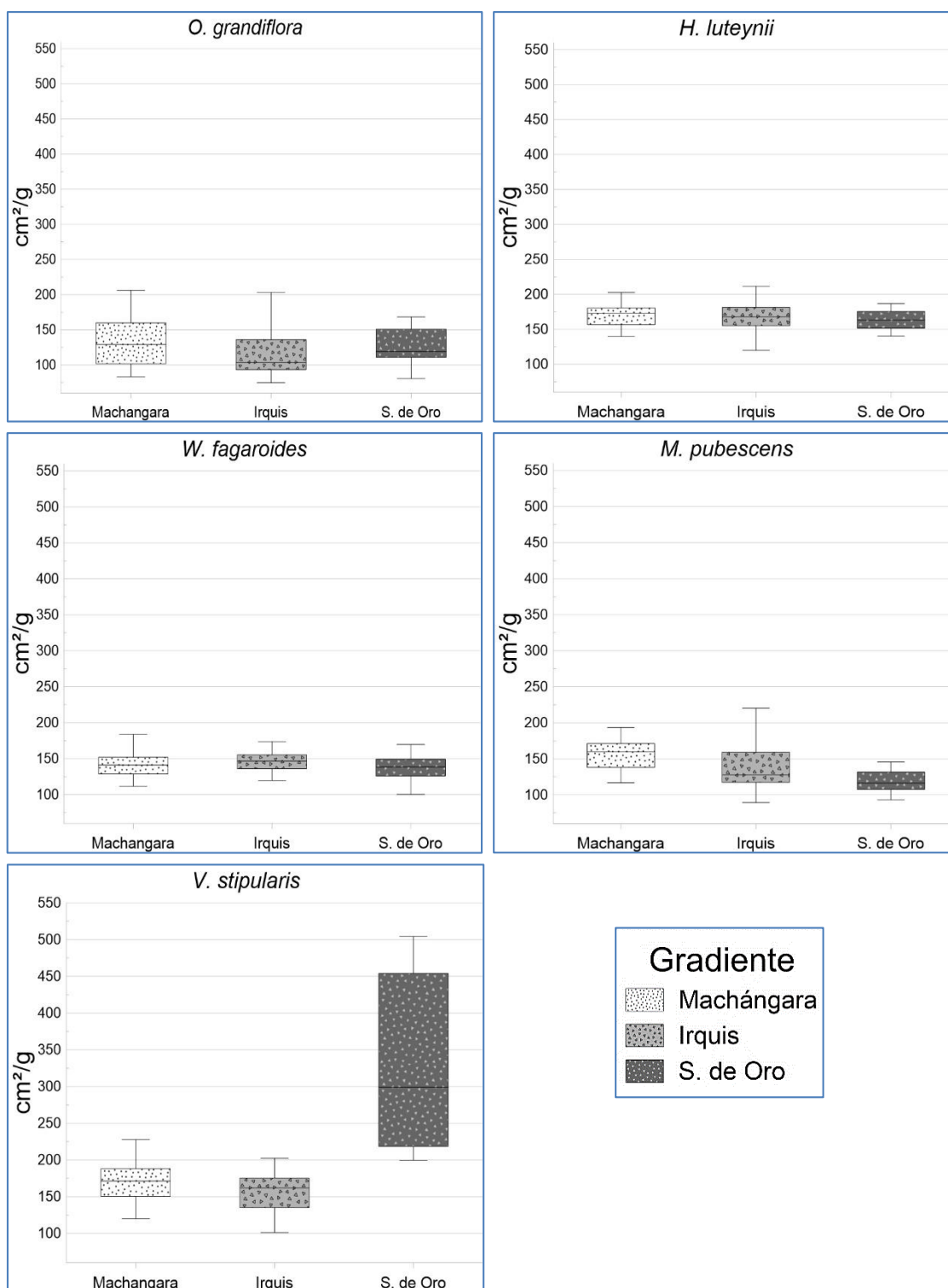


Figura 7. Boxplots que representa el área foliar específica (cm²/g) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

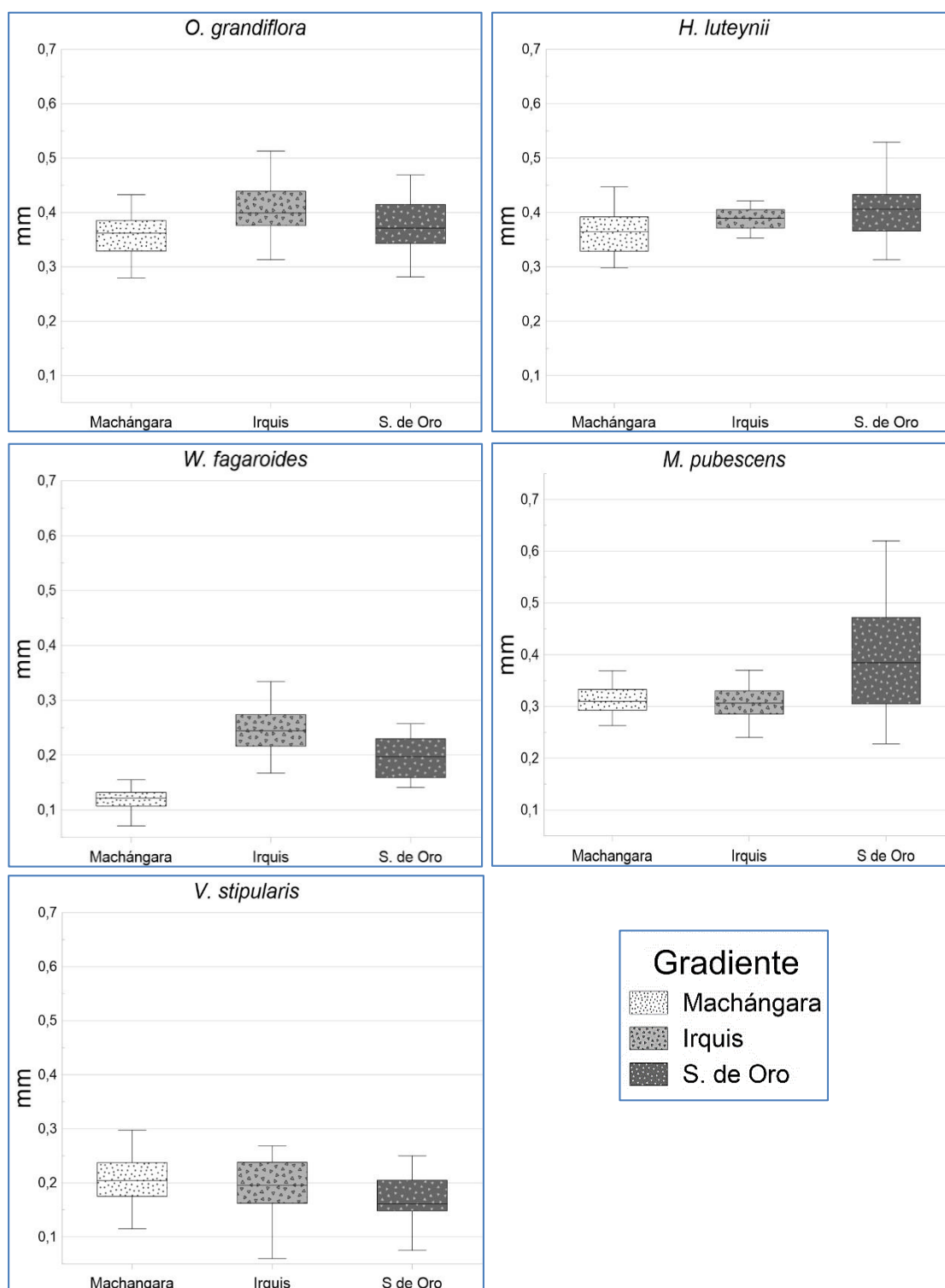


Figura 8. Boxplots que representa el espesor de hoja (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

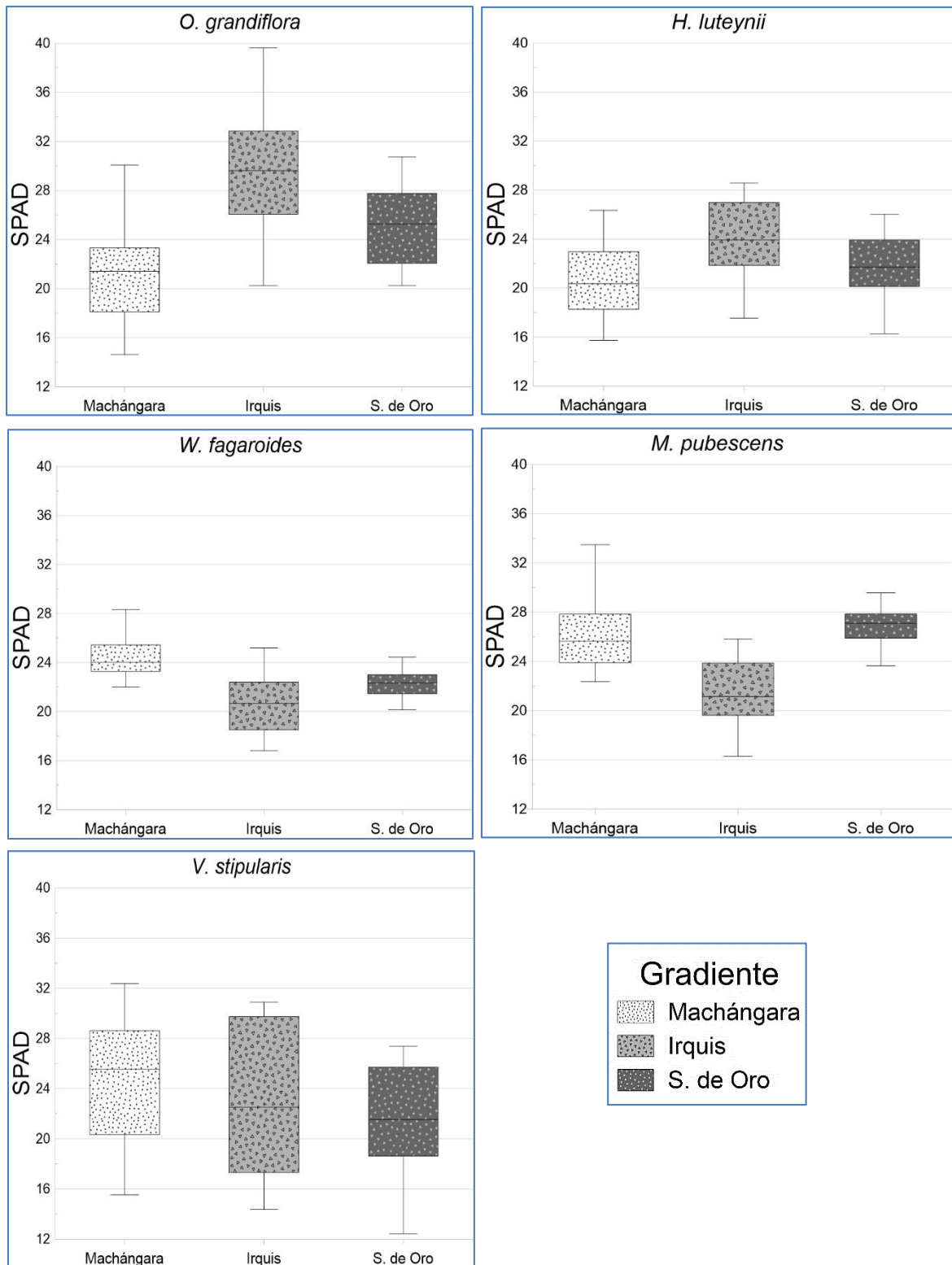


Figura 9. Boxplots que representa la clorofila (SPAD) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

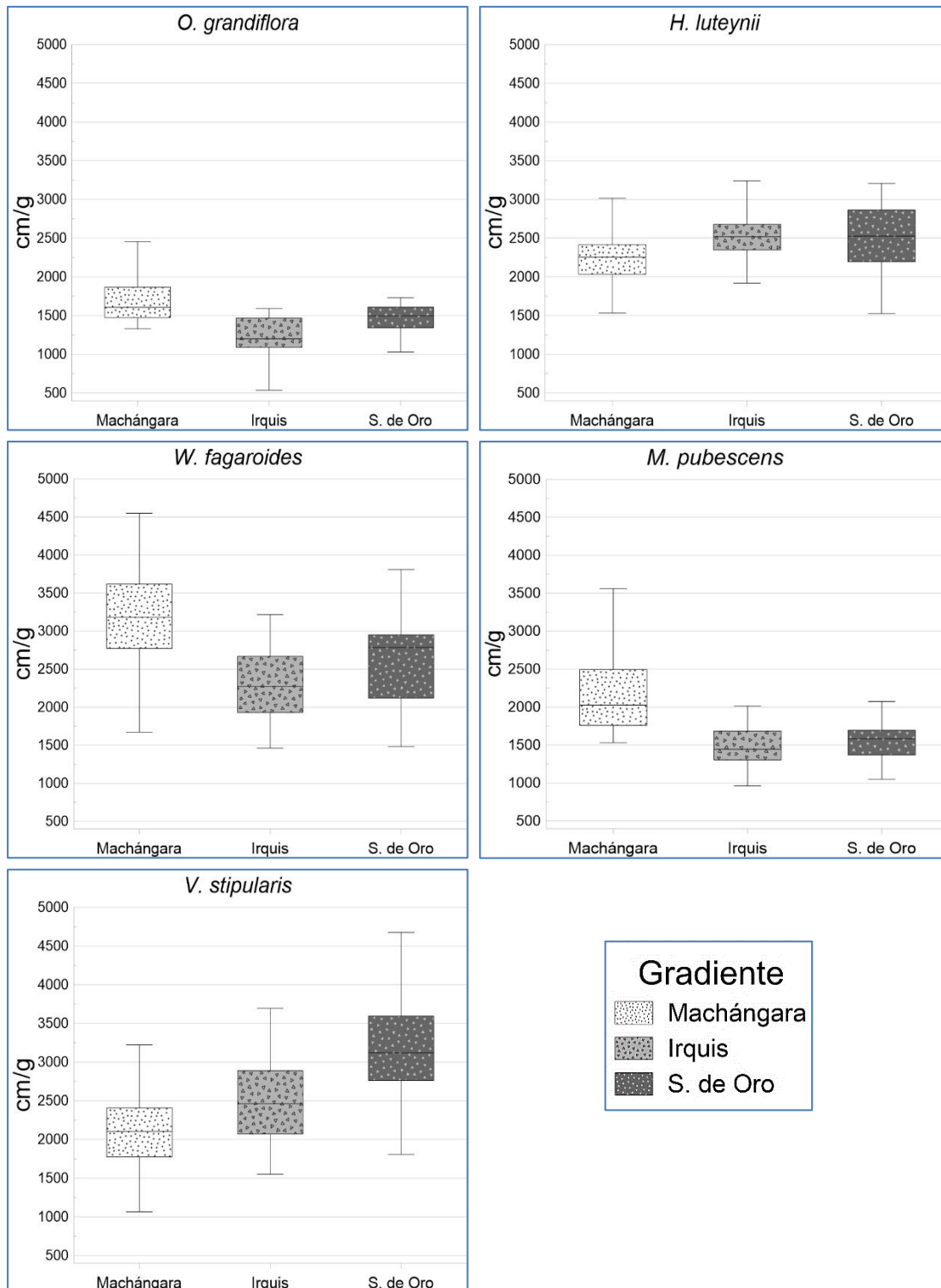


Figura 10. Boxplots que representa la longitud específica de raíz (cm/g) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

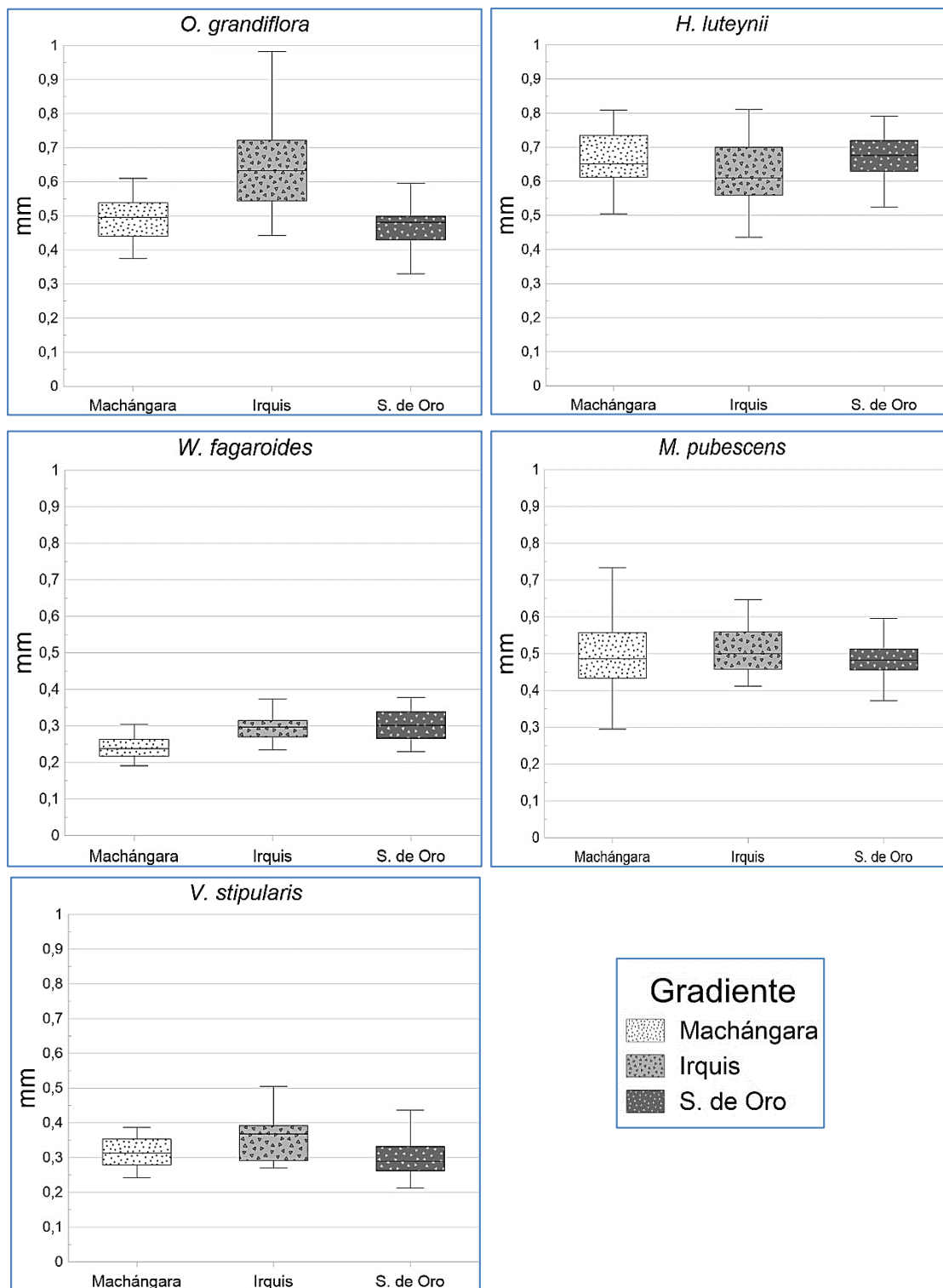


Figura 11. Boxplots que representa el diámetro de la raíz fina (mm) durante la fase de aclimatación de cinco especies nativas en un gradiente altitudinal (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro), provincia del Azuay. n=25

Tabla 4. Resultados de prueba de Kruskal-Wallis para los rasgos funcionales en la fase de aclimatación por especie en las tres gradientes de estudio (Machángara, Irquis y Sevilla de Oro) en la provincia del Azuay. $p < 0.05$. Valores marcados con * muestran diferencia significativa ($p < 0.05$). TCA (tasa de crecimiento de altura), TCD (tasa de crecimiento de diámetro basal), AF (área foliar), AFE (área foliar específica), EH (espesor de hoja), CL (clorofila), LER (longitud específica de raíz), DRF (diámetro de la raíz fina).

Especies	Rasgos Funcionales							
	TCA (cm)	TCD (mm)	AF (cm ²)	AFE (cm ² /g)	EH (mm)	CL (SPAD)	LER (cm/g)	DRF (mm)
<i>O. grandiflora</i>	1,5685E-09*	0,00146*	0,05932	0,35841	0,0284135*	3,9346E-06*	3,1743E-06*	7,34034E-07*
<i>H. luteynii</i>	1,2672E-11*	3,83068E-08*	4,78135E-07*	0,35233	0,0073732*	0,00098343*	0,00794309*	0,17702
<i>W. fagaroides</i>	0,03010*	3,83068E-08*	2,05518E-06*	0,49150	8,386E-12*	2,8661E-07*	6,4029E-05*	2,46302E-07*
<i>M. pubescens</i>	0,00725*	3,12158E-07*	0,74617	2,9187E-06*	0,0109373*	1,1194E-07*	1,1594E-06*	0,45119
<i>V. stipularis</i>	0,25891	0,20088	1,98888E-05*	0,0001407*	0,12167	0,41065	2,0023E-05*	0,010223556*

Fase de post plantación

Tasa de crecimiento altura, cm (TCA)

Para este rasgo funcional las especies *O. grandiflora*, *M. pubescens* y *V. stipularis*, presentaron mayor TCA en la gradiente Sevilla de Oro, con un mejor rendimiento en el tratamiento S + Pasto con una mediana de 2.50, 3.80 y 0.73 cm respectivamente. *H. luteynii* y *W. fagaroides* presentaron mayor crecimiento bajo el tratamiento de S + P. cortado en la gradiente Sevilla de Oro con valor de medianas de 2.20 y 1.24 cm. El valor más bajo para este rasgo fue en *W. fagaroides* en el tratamiento SS + P. cortado, en la gradiente de Sevilla de Oro con -0.77 cm. Los tratamientos en donde se obtuvo una mayor TCA fueron S + Pasto y S + P. cortado en la gradiente Sevilla de Oro (Figura 12).

Tasa de crecimiento diámetro basal, mm (TCD)

La especie *M. pubescens* mostró una tendencia en donde al disminuir la gradiente altitudinal, aumentó el TCD, por tanto, el valor de la mediana fue mayor en el sitio Sevilla de Oro, en todos los tratamientos, con un mayor incremento para el tratamiento SS + P. cortado (0.98 mm). Sin embargo, esto no sucedió para las especies *O. grandiflora*, *H. luteynii* y *W. fagaroides* puesto que, mostraron mayores valores mediana de 0.42, 0.42 y 0.29 mm de TCD en el tratamiento (Control) en las gradientes Machángara e Irquis. *V. stipularis* mostró mayor mediana 0.21 mm en la gradiente Irquis, bajo el tratamiento S+ Pasto. El valor más bajo se presentó en la especie *H. luteynii*, en el tratamiento S + P. cortado en la gradiente Machángara (Figura 13).

Espesor de Hoja, mm (EH)

Para este rasgo funcional no se encontró un patrón claro para el factor tratamiento, sin embargo, la especie *V. stipularis* mostró una tendencia en el factor gradiente, mientras aumenta la gradiente altitudinal (Machángara), aumenta los valores de la mediana de EH 0.32 mm, bajo el tratamiento Control, no obstante, esta especie mostró el valor más bajo en la gradiente Sevilla de Oro, en el tratamiento de S + P. cortado con 0.17 mm. *M. pubescens* mostró mayor valor de mediana de EH en Irquis 0.57 mm, para el tratamiento S + P. cortado. Las demás especies mostraron diferentes comportamientos para los factores en estudio. *O. grandiflora* mostro mayor valor de mediana en la gradiente Irquis, bajo el tratamiento SS+ P. cortado. De igual forma, *H. luteynii*, mostró mayor valor de mediana en el sitio de Irquis en el tratamiento S + P. cortado. *W. fagaroides* presentó mayor mediana en la gradiente de Machángara bajo el tratamiento S + P. cortado (Figura 14).

Clorofila SPAD (CL)

Para este rasgo funcional todas las especies mostraron valores mayores mediana de CL en los tratamientos S + Pasto y S + P. cortado. Las especies *O. grandiflora*, *W. fagaroides* y *V. stipularis* tuvieron mayores medianas CL en la gradiente Machángara, bajo el tratamiento S + Pasto con 30.91, 27.13 y 31.57 SPAD respectivamente, no obstante, esta última especie mostró el valor más bajo en Sevilla de Oro, en el tratamiento (Control) con 17.74 SPAD. *H. luteynii* destacó con el valor más alto de mediana en la gradiente Sevilla de Oro, bajo el tratamiento S + P. cortado, con 31.90 SPAD. *M. pubescens* mostró mayor valor mediana de CL con 27.92 SPAD, en la gradiente Sevilla de Oro bajo el tratamiento S + P. cortado (Figura 15).

En el Anexo A, se muestran los valores de significancia ($p < 0.05$) de la prueba de modelo lineal general univariado (MLGu) de los rasgos funcionales evaluados por especie.

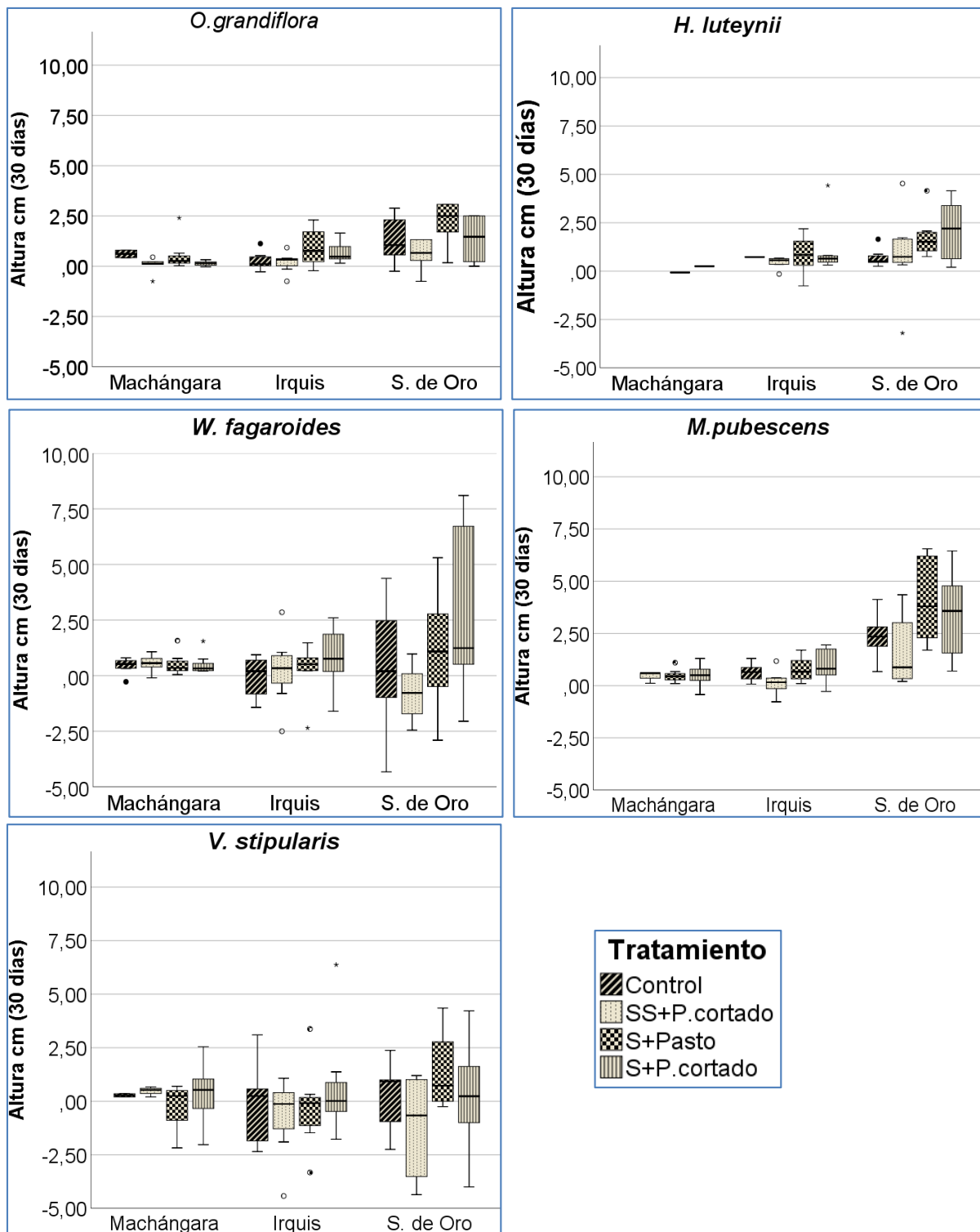


Figura 12. Boxplots que corresponde a tasa de crecimiento de altura (TCA) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32

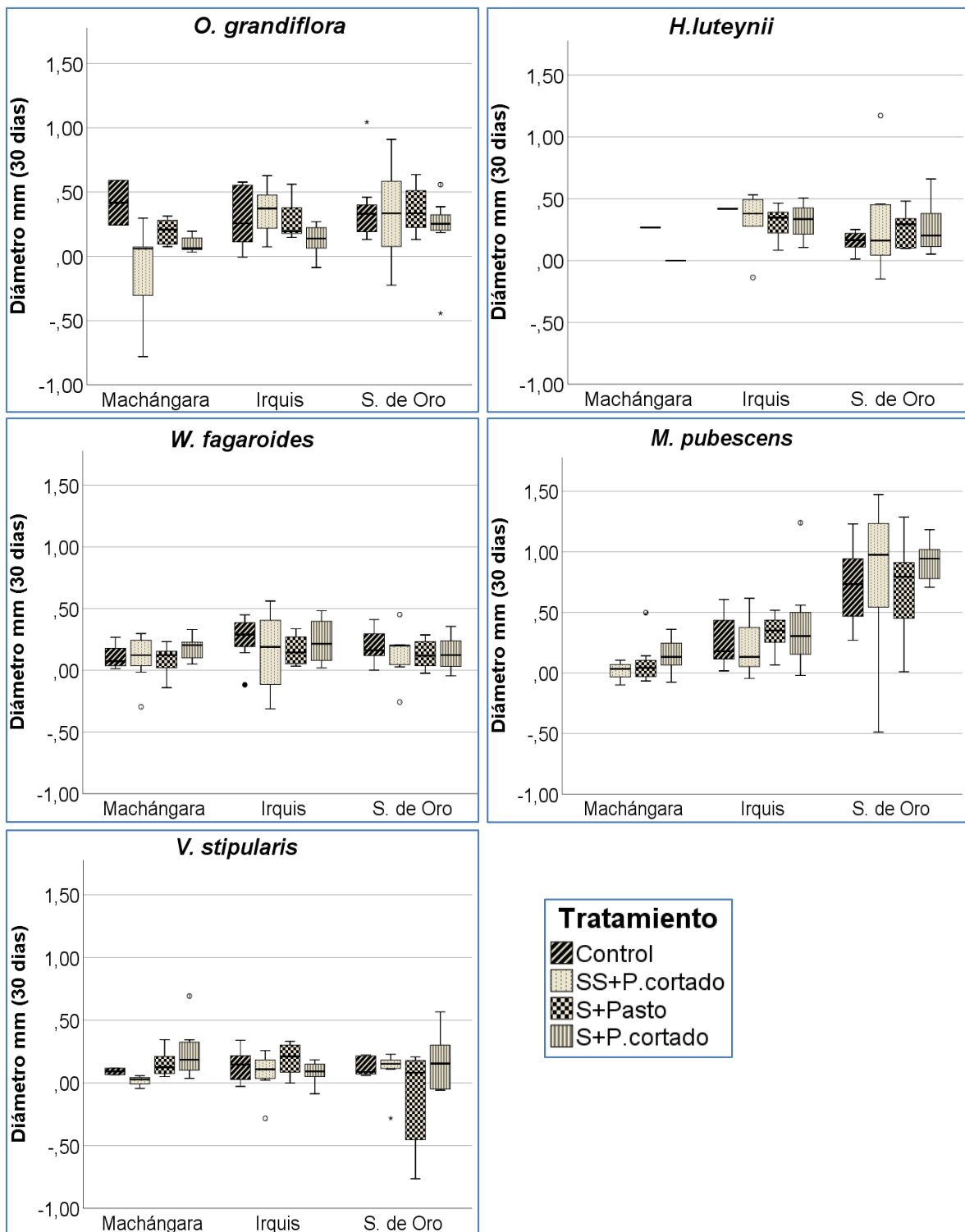


Figura 13. Boxplots que corresponde a tasa de crecimiento de diámetro basal (TCD) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32

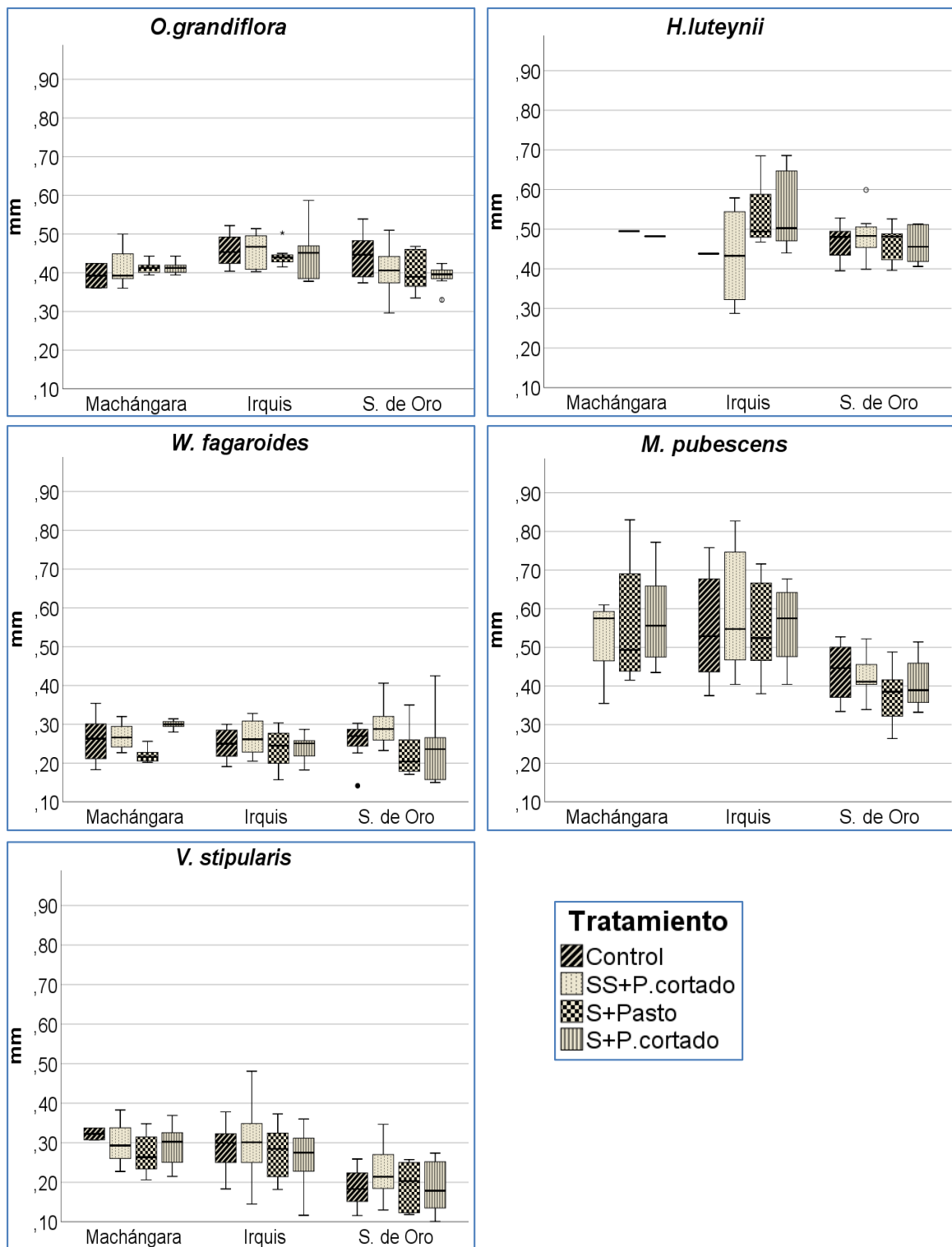


Figura 14. Boxplots que corresponde a espesor de hoja (EH) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32

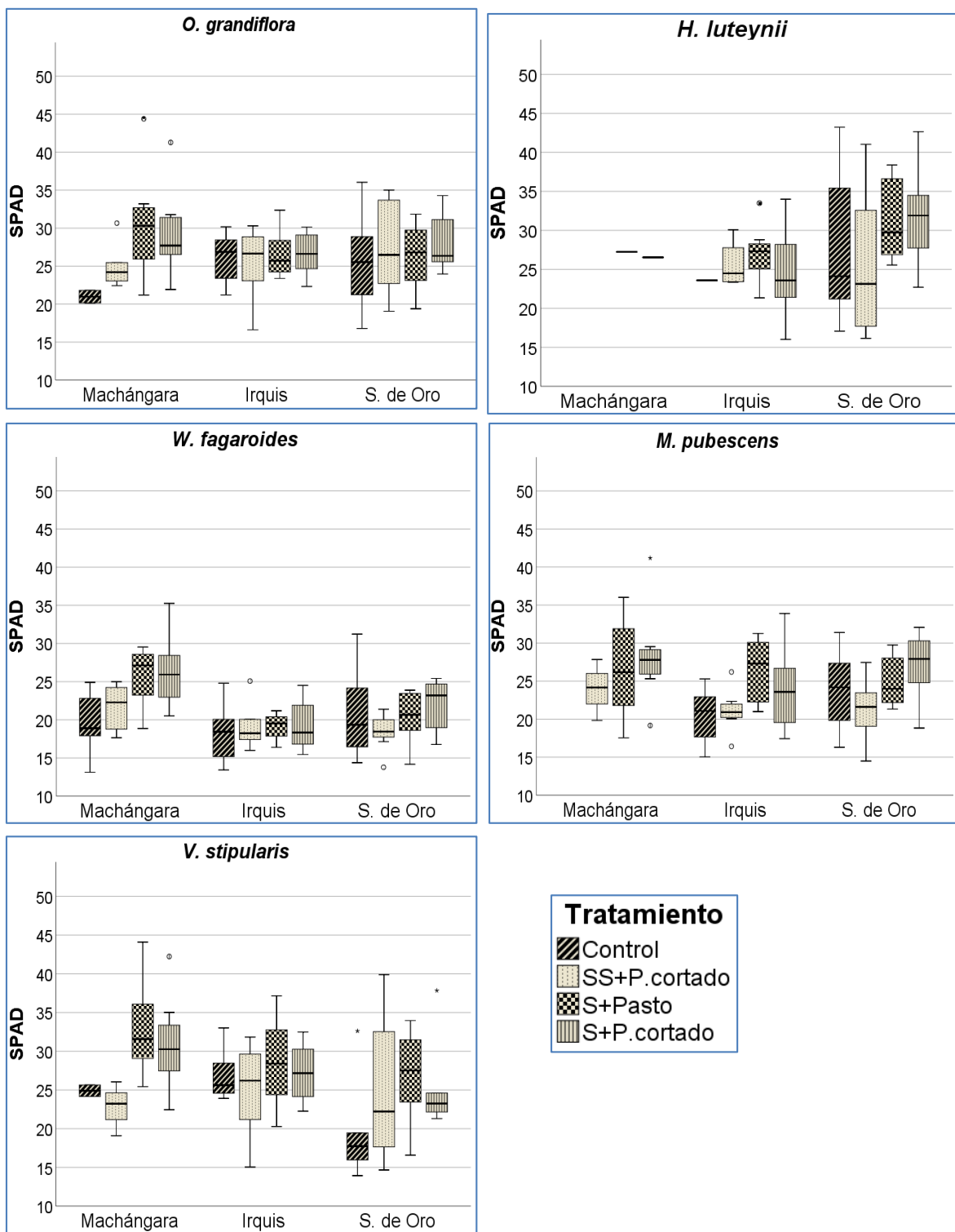


Figura 15. Boxplots que corresponde a clorofila (CL) en la fase de post plantación de cinco especies nativas en una gradiente altitudinal y entre cuatro tratamientos, Control, SS+P.cortado (Sin sombra + pasto cortado), S+Pasto (Sombra + pasto) y S+P.cortado (Sombra + pasto cortado). n=32

7. Discusión

A nivel de invernadero, los resultados mostraron que las especies que sobresalen para los rasgos de crecimiento son: *M. pubescens*, *W. fagaroides* y *V. stipularis*, presentando mayores valores en TCA y TCD. Estos hallazgos, pueden explicarse por ser especies pioneras, que se caracterizan por tener altas tasas de crecimiento asociado a una mayor eficiencia en la fotosíntesis (Cabezas et al., 2009; Vásquez & Solorza, 2018). Estas tres especies, también presentaron un bajo EH y un mayor AFE, esto sugiere que hay mayor inversión de recursos producto de la fotosíntesis en generar más hojas (Domínguez et al., 2004; Vásquez & Solorza, 2018). *M. pubescens* junto a *O. grandiflora*, presentaron los valores más altos de AF, esto se asocia a una mayor eficiencia en la absorción de luz en las hojas y posiblemente a una mayor concentración de clorofila (Guzmán, 2020). En el caso de *V. stipularis* y *W. fagaroides* se destacó por su mayor LER, lo que indica su alta capacidad para producir mayor biomasa de raíces. Todas las especies antes descritas, en los bosques nativos se encuentran en sitios con alta y media perturbación, es decir con una mayor exposición a la luz, bajo requerimientos nutritivos y baja densidad de madera (López, 2022), por tanto, estas especies entran en la categoría de “Adquisitivas” (Bucheli, 2012). Para *H. luteynii*, los rasgos que sobresalieron fueron, EH, DRF y de crecimiento lento, hace que esta especie entre en la categoría de “Conservativas” (Bucheli, 2012), debido a que invierten elevadas cantidades de energía en sus diferentes estructuras de hojas, tallos y raíces (Villacis et al., 2014). Como se mencionó en el apartado de Marco Teórico, en esta sesión no se pudo realizar comparaciones con otros autores debido a la falta de estudios con especies nativas andinas y a nivel de invernadero.

En fase de aclimatación, la TCA aumentó en la gradiente más baja (Sevilla de Oro), en todas las especies. Estos resultados concuerdan con los reportados en especies de *Nothofagus pumilio* por Mondino et al., (2019), las cuales fueron afectados negativamente por el aumento de la gradiente altitudinal, entre las explicaciones a esto, es que, a una mayor elevación, se encuentra saturación de nubes, existiendo poca luz disponible, lo que limita la fotosíntesis (Fahey et al., 2016) y también porque la temperatura es menor en las zonas altas y podría condicionar la fotosíntesis (Báez et al., 2015). Sin embargo, esto no sucedió con TCD, ya que se observó valores mayores en la gradiente media de Irquis. Esto puede explicarse, porque las plántulas en esta fase, estuvieron ubicadas en un micrositio, cerca de vegetación, lo cual inferimos que estuvieron más protegidas a factores adversos como temperatura, viento y heladas, esto de acuerdo observaciones propias. Sosa & Trejo, (2003), también demostraron el efecto de la protección en *Pinus patula*, pues tuvo mayor crecimiento de diámetro basal.

Las especies *M. pubescens*, *W. fagaroides* y *V. stipularis*, presentaron mayor AF y CL a mayor altitud (Machángara), esto puede indicar que en los meses que fueron expuestos a la

aclimatación (marzo – junio 2022), las condiciones ambientales fueron más favorables para estas especies, asumiendo que no estuvieron expuestos a factores de estrés. Jiménez et al. (2015), reportó en el norte de la Sierra Nevada en México, que especies de *Ribes ciliatum*, mostraron mayor AF a medida que aumento la gradiente altitudinal. Este resultado también confirma lo antes mencionado que las especies adquisitivas tienen mayor desarrollo foliar de acuerdo a Guzmán (2020). Sin embargo, nuestros resultados no coinciden con lo reportado en un estudio realizado en Huánuco y en bosques tropicales húmedos, donde se observó una disminución de AF a medida que aumentó la gradiente altitudinal por Zelada (2018). Por otro lado, Liu et al. (2019), reportó que en especies alpinas se registró mayor CL a una mayor elevación (4030 msnm), a pesar que la radiación solar y los rayos ultravioleta aumentan a mayor elevación (Castrillo, 2006). Por tanto, esto indica que nuestras especies en estudio tienen alta capacidad de adaptación por su condición de plasticidad. En Irquis, se encontró que *O. grandiflora* y *H. luteynii*, tuvieron los mayores valores de AF y CL, esto indica que las condiciones en esta gradiente favorecieron particularmente a estas dos especies. De hecho, con base a estudios de observación, particularmente, *O. grandiflora* es la más abundante en los bosques nativos de Irquis que en Machángara (Gabriela Maldonado, comunicación personal, 2023). Yang et al. (2022) en su estudio de especies leñosas dentro de la meseta oriental de Qinghai-Tíbet (China), reportó que el AF aumentó gradualmente hasta los 2500 msnm, mientras que a mayor elevación se observó un decline para este rasgo.

En cuanto al AFE, se observó que la especie *M. pubescens*, mostró mayor valor, al aumentar la gradiente altitudinal, sin embargo, estos resultados no concuerdan con los reportados por Zelada (2018), en bosques tropicales húmedos, puesto que a mayores altitudes encontraron que el AFE es bajo. Por supuesto, el comportamiento de las especies a la gradiente altitudinal está sujeta al tipo ecosistema, como, por ejemplo, bosques húmedos vs bosques secos, bosques a baja altitud vs bosques de montaña. Asimismo, se conoce que en condiciones climáticas extremas como baja temperatura, favorece la disminución del AFE (Castrillo, 2006; Pedraza, 2018). Sin embargo, *V. stipularis* mostró mayor AFE, en la gradiente más baja. Esto se explica, a una defoliación por el shock a la temperatura más elevada y porque tuvo que soportar condiciones de baja precipitación, lo que produjo la formación de nuevas hojas, mostrando un menor AF. De acuerdo a observaciones en bosques naturales, se ha visto que esta especie tiene un comportamiento de caducifolia cuando está expuesta a meses más secos (Minga & Verdugo, 2016).

Con respecto al EH, *M. pubescens* y *H. luteynii* mostraron mayores valores en la gradiente más baja. Esto puede dar indicios que *M. pubescens* por su alta plasticidad fenotípica se

adapta bien a ambientes más cálidos, mientras que *H. luteynii*, como una característica propia de la especie tiene el EH más grueso.

Por otra parte, se encontró que *O. grandiflora*, *W. fagaroides* y *M. pubescens* mostraron una mayor LER, y un menor DRF a medida que aumentó la gradiente altitudinal. Los resultados concuerdan con lo mencionado por Li et al. (2021), indicando que especies de estrategia adquisitiva, generalmente, se caracterizan por un diámetro de raíz menor y una LER mayor. Cornejo et al., (2020) en el Monte Kilimanjaro, reportaron mayor LER y un menor DRF, a medida que aumentaba la elevación, lo que coincide con nuestros hallazgos. Aunque hay variación para este rasgo entre las cinco especies, se puede explicar que las tres especies mencionadas en esta sección, tienen la estrategia de producir mayor longitud que diámetro de raíz para tener mayor acceso de nutrientes y agua, tal como lo reporta Cornejo et al., (2020).

En fase de post plantación, la mortalidad de individuos en las especies *H. luteynii* y *M. pubescens*, en los tratamientos Control y SS + P. cortado fue mayor en la gradiente más alta (Machángara), esto podría deberse al efecto de las condiciones más frías y episodios de temperaturas extremas tales como heladas, que fueron registrados en los sensores de temperatura (datos no publicados). A medida que la gradiente altitudinal disminuye, las especies mostraron mayor TCA bajo los tratamientos con sombra. Las especies *O. grandiflora*, *M. pubescens* y *V. stipularis*, reflejaron una mayor TCA, bajo el tratamiento S+Pasto, mientras que *H. luteynii* y *W. fagaroides* en el tratamiento S + P. cortado. Por otro lado, la mayoría de especies tuvo un TCD superior en los tratamientos SS+ P. cortado y SS+ Pasto, a medida que disminuía el gradiente altitudinal. *V. stipularis* mostró preferencia al tratamiento S+Pasto. Estos resultados sugieren que las coberturas vegetales, generan un microclima que atenúa los factores estresantes para las plantas como alta radiación solar, estrés hídrico, que condicionan el crecimiento de las plantas (Promis et al., 2010). Resultados similares fueron encontrados por Piña & Arboleda (2010), en individuos de *Crescentia cujete*, quienes reportaron que plantas bajo sombra alcanzaron aproximadamente el doble de la altura que las que expuestas a mayor luminosidad. También, reportaron que las plantas tuvieron mayor diámetro de tallo en condiciones de mayor luminosidad, esto debido a una modificación funcional de sostén en comparación a las plantas que tuvieron una baja luminosidad (Blanco, 2019).

V. stipularis, se destacó por tener un mayor crecimiento en los tratamientos con sombra en la gradiente de Sevilla de Oro, este hallazgo coincide con Carvalho et al. (2006), quienes

reportaron un mayor crecimiento en diámetro de tallo bajo un 30% de sombra comparadas con las sometidas a 100% de luz en *Syagrus coronata*.

Las especies *M. pubescens*, *H. luteynii* y *W. fagaroides* mostraron un mayor valor de EH y CL bajo sombra. Estos resultados no concuerdan con un estudio usando la especie *Tetracera scandens*, reportando un menor EH en área sombreada, debido a una disminución en las células de la capa del mesófilo de la hoja (Setiawati et al., 2018). En cuanto a CL, los autores Piña & Arboleda (2010), reportaron mayor CL bajo tratamiento de sombra, coincidiendo con lo obtenido en este estudio. Este comportamiento se debe a que plantas de ciertas especies que crecen bajo sombra, tienen una mejor eficiencia del uso de la luz para realizar actividades de fotosíntesis (Carvalho et al., 2006).

Conclusiones

En las diferentes fases de este estudio, a pesar que el rango de tiempo evaluado los rasgos funcionales fueron cortos, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- En fase de invernadero, las especies *M. pubescens*, *O. grandiflora*, *W. fagaroides* y *V. stipularis* en función de los valores de los rasgos funcionales, entran en la clasificación de especies “Adquisitiva”, mientras que *H. luteynii* pertenece a las especies “Conservativa”.
- En la fase de aclimatación, todas las especies excepto *V. stipularis*, presentaron diferencias significativas para la mayoría de rasgos funcionales evaluados, considerando un efecto por la gradiente altitudinal. En el caso de *V. stipularis*, se observó una sensibilidad a las condiciones ambientales en la gradiente más baja (Sevilla de Oro), donde se observó una pérdida de hojas asociada al estrés hídrico y altas temperaturas. No obstante, esta especie demostró la capacidad de formar más hojas en pocas semanas.
- En fase de post plantación, cada especie responde de manera diferente en sus rasgos funcionales de acuerdo a los tratamientos del experimento de reforestación y a la gradiente altitudinal. En general todas las especies en las tres gradientes, el rasgo TCA, presentó valores más altos. En el tratamiento de remoción de pastos, las especies tales como *H. luteynii* y *W. fagaroides* tuvieron mejor rendimiento de acuerdo a los rasgos analizados.

Recomendaciones

- Realizar más estudios que incluye experimentos, utilizando otras especies nativas de los bosques andinos con potencialidad para restaurar tierras degradadas en pastizales abandonados.
- Se recomienda que especies como *H. luteynii*, que es de crecimiento lento, sean trasplantadas a una mayor altura (aprox. 40 cm) para que tengan mayor capacidad de resistir en condiciones adversas como es el caso de Machángara, que presentó bajas temperaturas y eventos extremos como heladas.
- Se recomienda continuar con el monitoreo de rasgos funcionales no destructivos en la plantación a lo largo del tiempo, para identificar cambios en los rasgos por los factores de estudio en el experimento de reforestación (gradiente y tratamientos).

Referencias

- Abud, M., & Torres, A. (2016). Caracterización florística de un bosque alto andino en el parque nacional natural puracé, Cauca, Colombia. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 20(1), 27–39. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.3>
- Aguirre, C., Díaz, E., & Santillán, E. (2019). Functional Features of the Mountain Forest Trees Favr the Strategy of Conservation of Species To Environmental Risks, Tingo María-Perù. *Boletín Redipe*.
- Alvizu, P. (2004). *Complejidad y respuesta funcional de la vegetación de páramo a lo largo de gradientes altitudinales*. [Universidad de los Andes]. http://tesis.ula.ve/postgrado/tde_busca/archivo.php?codArchivo=29
- Báez, S., Fadrique, B., Feeley, K., & Homeier, J. (2022). Changes in tree functional composition across topographic gradients and through time in a tropical montane forest. *PLoS ONE*, 17(4 April), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263508>
- Báez, S., Malizia, A., Carilla, J., Blundo, C., Aguilar, M., Aguirre, N., Aguirre, Z., Álvarez, E., Cuesta, F., Duque, Á., Farfán-Ríos, W., García-Cabrera, K., Grau, R., Homeier, J., Linares-Palomino, R., Malizia, L. R., Cruz, O. M., Osinaga, O., Phillips, O. L., ... Feeley, K. J. (2015). Large-scale patterns of turnover and basal area change in Andean forests. *PLoS ONE*, 10(5), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126594>
- Blanco, Y. (2019). Importance of light quality among weed-crop plants. *Cultivos Tropicales*, 40(4).
- Bucheli, P. (2012). Evaluación de los rasgos funcionales radicales de especies arbóreas en sistemas silvopastoriles en relación con el contenido de humedad del suelo en Rivas, Nicaragua. In *CATIE*. CATIE.
- Cabezas, M., Peña, F., Duarte, H. W., Colorado, J. F., & Lora Silva, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121–130. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.648>
- Carvalho, N. O. S., Pelacani, C. R., Rodrigues, M. O. D. S., & Crepaldi, I. C. (2006). Initial growth of licuri plants (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) under different light intensity. *Revista Arvore*, 30(3), 351–357. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622006000300005>
- Castrillo, M. (2006). Fotosíntesis en tres poblaciones altitudinales de la planta andina

- Espeletia schultzei (Compositae). *Revista de Biología Tropical*, 54(4), 1143. <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i4.14089>
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C. J., Orellana-Alvear, J., Abril, A., & Carrillo-Rojas, G. (2016). Near-surface air temperature lapse rate over complex terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for temperature mapping. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), 673–684. <https://doi.org/10.1657/AAAR0015-077>
- Cornejo, N. S., Hertel, D., Becker, J. N., Hemp, A., & Leuschner, C. (2020). Biomass, Morphology, and Dynamics of the Fine Root System Across a 3,000-M Elevation Gradient on Mt. Kilimanjaro. *Front. Plant Sci.*, 11(February), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00013>
- Cornelissen, J. H. C., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., Vos, A. C. De, Buchmann, N., ... Aquino, S. (2003). Corrigendum: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide (*Australian Journal of Botany* (2013) 61:3 (167-234) DOI: 10.1071/BT12225). *Australian Journal of Botany*, 64(8), 715–716. https://doi.org/10.1071/BT12225_CO
- De la Riva, E., Pérez, I., Navarro, C., Olmo, M., Marañón, T., & Villar, R. (2014). Rasgos funcionales en el género Quercus: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Ecosistemas*.
- Díaz, J., & Mas Causel, J. (2009). La deforestación de los bosques tropicales: una revisión. *Mapping*, 136: 83-96. ISSN 1131-9100. Latindex
- Domínguez, M. T., Marañón, T., Murillo, J. M., & Madejón, J. A. H. P. (2004). Crecimiento Y Morfología Foliar De Especies Leñosas En Las Reforestaciones Delcorredor Verde Del Guadamar (Sevilla). *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 20(2004), 173–179.
- Faccion, G., Alves, A. M., do Espírito-Santo, M. M., Silva, J. O., Sanchez-Azofeifa, A., & Ferreira, K. F. (2021). Intra- and interspecific variations on plant functional traits along a successional gradient in a Brazilian tropical dry forest. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 279(April). <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151815>
- Fahey, T. J., Sherman, R. E., & Tanner, E. V. J. (2016). Tropical montane cloud forest: Environmental drivers of vegetation structure and ecosystem function. *Journal of Tropical*

Ecology, 32(5), 355–367. <https://doi.org/10.1017/S0266467415000176>

FAO. (2020). The World's Forests. In *Turning Point in Timber Construction*. <https://doi.org/10.1515/9783035608632-002>

Guimarães, Z. T. M., dos Santos, V. A. H. F., Nogueira, W. L. P., Martins, N. O. de A., & Ferreira, M. J. (2018). Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area. *Forest Ecology and Management*, 430(September), 618–628. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.048>

Guzmán, V. (2020). *Relación entre daño foliar y los rasgos funcionales foliares en plantas de especies con estrategias adquisitivas y conservativas en un bosque alto-andino colombiano Bogotá - Torca* [Universidad de la Salle Colombia]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/100>

Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P., & Tiessen, H. (2011). *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* (Issue May). SCOPE. <https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969>

Hofstede, R. G. M., & Llambí, L. D. (2020). Plant diversity in Páramo-Neotropical high mountain humid grasslands. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 1–5, 362–372. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11858-5>

Holl, K., & Aide, T. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558–1563. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

Holl, K., & Brancalion, P. (2020). Tree planting is not a simple solution. *Science*, 368(6491), 580–581. <https://doi.org/10.1126/science.aba8232>

Jiménez, M. S., Terrazas, T., & López-Mata, L. (2015). Variación morfo-anatómica de *Ribes ciliatum* a lo largo de un gradiente altitudinal en el norte de la Sierra Nevada, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 23–32. <https://doi.org/10.17129/botsoci.131>

Jorgensen, P., & Yáñez, S. (1999). Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador: *Schoenoplectus californicus*. *Missouri Botanical Garden Press*, May. <http://legacy.tropicos.org/Name/9904887?projectid=2>

Krichen, K., Vilagrosa, A., & Chaieb, M. (2017). Environmental factors that limit *Stipa tenacissima* L. germination and establishment in Mediterranean arid ecosystems in a climate variability context. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(8). <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2475-9>

- Li, Z., Liu, Z., Gao, G., Yang, X., & Gu, J. (2021). Shift from acquisitive to conservative root resource acquisition strategy associated with increasing tree age: A case study of *fraxinus mandshurica*. *Forests*, *12*(12). <https://doi.org/10.3390/f12121797>
- Liu, Y. H., Liu, F. L., Long, B., Zhou, X. L., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, W. L., & Shen, S. K. (2019). Chlorophyll fluorescence characteristics and rapid light response curves of alpine rhododendron species across elevation gradients. *Horticultural Science and Technology*, *37*(4), 463–472. <https://doi.org/10.7235/HORT.20190047>
- Lizcano, D. J., Pizarro, V., Cavelier, J., & Carmona, J. (2002). Geographic distribution and population size of the mountain tapir (*Tapirus pinchaque*) in Colombia. *Journal of Biogeography*, *29*(1), 7–15. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00654.x>
- López, L. (2022). Relaciones entre rasgos funcionales de plantas en bosques secundarios altoandinos de la Cordillera Oriental , Colombia Functional traits relationships of plants in secondary forests andean of the Eastern Cordillera , Colombia. *Biota Colombiana*, *23*(2), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.21068/2539200X.1008>
- MAATE. (2021). *Proyecto Nacional de Restauración del paisaje*. 46090000.
- MAE. (2019). *Plan Nacional de Restauracion Forestal 2019-2030*. Quito-Ecuador
- Marín, F., Dahik, C. Q., Mosquera, G. M., Feyen, J., Cisneros, P., & Crespo, P. (2018). Changes in soil hydro-physical properties and SOM due to pine afforestation and Grazing in Andean environments cannot be generalized. *Forests*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/f10010017>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of the Total Environment*, *702*, 134581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134581>
- Minga, D., & Verdugo, A. (2016). Arboles y Arbustos de los rios de cuenca. In *Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay*. Imprenta Don Bosco. Cuenca.
- Mondino, V., Pastorino, M., & Gallo, L. (2019). Variación altitudinal de caracteres fenológicos y crecimiento inicial en condiciones controladas entre poblaciones de *Nothofagus pumilio* provenientes del Centro-Oeste de Chubut , Argentina Altitudinal variation of phenological characters and initial growt. *Bosque*, *40*(1), 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000100087>

- Moreno, J. E., & Rubiano, K. D. (2020). Aproximación al uso de rasgos funcionales y gradientes ambientales para seis especies del arbolado urbano de Bogotá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2), 17–33. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3901>
- Palomeque, X., Günter, S., Hildebrandt, P., Stimm, B., Aguirre, N., & Weber, M. (2020). Reforestacion con especies nativas y exóticas : caso del valle de San Francisco , Zamora Chinchipe. *De La Parcela Al Paisaje: Restauración Forestal En Los Andes Ecuatorianos*, July, 16–36. Publisher: Editorial FLACSO Ecuador, Quito <https://www.researchgate.net/publication/342783561%0AReforestacion>
- Pedraza, S. S. (2018). *Evaluando caracteres funcionales de plantas en páramo y su relación con factores climáticos* [Universidad del Rosario]. https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/18967/PedrazaNarvaez_Sara_Sofía_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., De Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167–234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Piña, M., & Arboleda, M. (2010). EFECTO DE DOS AMBIENTES LUMÍNICOS EN EL CRECIMIENTO INICIAL Y CALIDAD DE PLANTAS DE *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1), 61–66. ISSN: 1316-3361.
- Promis, A., Caldentey, J., & Ibarra, M. (2010). Microclima en el interior de un bosque de *Nothofagus pumilio* y el efecto de una corta de regeneración. *Bosque*, 31(2), 129–139. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002010000200006>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138–153. ISSN 0562-5351
- Rada, F., Sarmiento, L., & García-Varela, S. (2021). Plant functional traits along an old-field succession in the high tropical andes. *Acta Oecologica*, 111(April), 103738. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103738>
- SER. (2019). *Guía Práctica de Restauración Ecológica* (Issue November). Fundación

Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica.

Setiawati, T., Ayalla, A., Nurzaman, M., & Mutaqin, A. Z. (2018). Influence of Light Intensity on Leaf Photosynthetic Traits and Alkaloid Content of Kiasahan (*Tetracera scandens* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 166(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/166/1/012025>

Soh, M. C. K., Mitchell, N. J., Ridley, A. R., Butler, C. W., Puan, C. L., & Peh, K. S. H. (2019). Impacts of Habitat Degradation on Tropical Montane Biodiversity and Ecosystem Services: A Systematic Map for Identifying Future Research Priorities. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2(December), 1–18. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00083>

Sosa, G., & Trejo, D. A. (2003). Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de pinus patula en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 9(1), 34–43. ISSN 2007-3828

Tobón, C. (2009). *LOS BOSQUES ANDINOS Y EL AGUA*. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito. www.bosquesandinos.info

UN Decade on Restoration (24 de Mayo de 2023). *UN Decade on Restoration*. Obtenido de <https://www.decadeonrestoration.org/>

Valenzuela, L., Vásquez, R., Rojas, R., Villalba, M. I., Phillips, O., López González, G., Chama Moscoso, V., Monteagudo Mendoza, A., Bellota Ttito, D., Huilca Aedo, Y., & Pallqui Camacho, N. C. (2015). Línea base para el monitoreo de la vegetación en la Reserva Comunal El Sira (RCS). *Baseline for Screening the Vegetation of El Sira Comunal Reserve.*, 22(1), 243–268. ISSN: 1815-8242 <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=108981492&site=ehost-live>

Valladares, F., Sanchez-Gomez, D., & Zavala, M. A. (2006). Quantitative estimation of phenotypic plasticity: Bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*, 94(6), 1103–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01176.x>

Vásquez, M., & Solorza, J. (2018). AGRUPACIÓN FUNCIONAL DE ESPECIES VEGETALES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA, BOGOTÁ, COLOMBIA. *Colombia Foresta*, 21(1), 5–17.

<http://doi.org/10.14483/2256201X.11730>

Villacis, J., Pozo, W., Cordoba, K., & Hang, S. (2014). IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES DE ESPECIES FORESTALES. *CATIE*,

Yang, K., Chen, G., Xian, J., & Chen, W. (2022). Varying Relationship Between Vascular Plant Leaf Area and Leaf Biomass Along an Elevational Gradient on the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 13(April), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.824461>

Zamora, R., Gómez, L., & García, P. (2004). *Las interacciones planta-planta y planta animal en el contexto de la sucesión ecológica*. Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 84-8014-552-8

Zelada, H. (2018). *Área foliar y densidad básica en ramas de especies arbóreas en gradientes altitudinales, de un bosque humedo tropical en Huánuco*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Zelada, H., & Reynel, C. (2019). Estimación de rasgos funcionales en dos especies arbóreas de una gradiente altitudinal tropical en el Centro de Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 34(2), 132. <https://doi.org/10.21704/rfp.v34i2.1323>

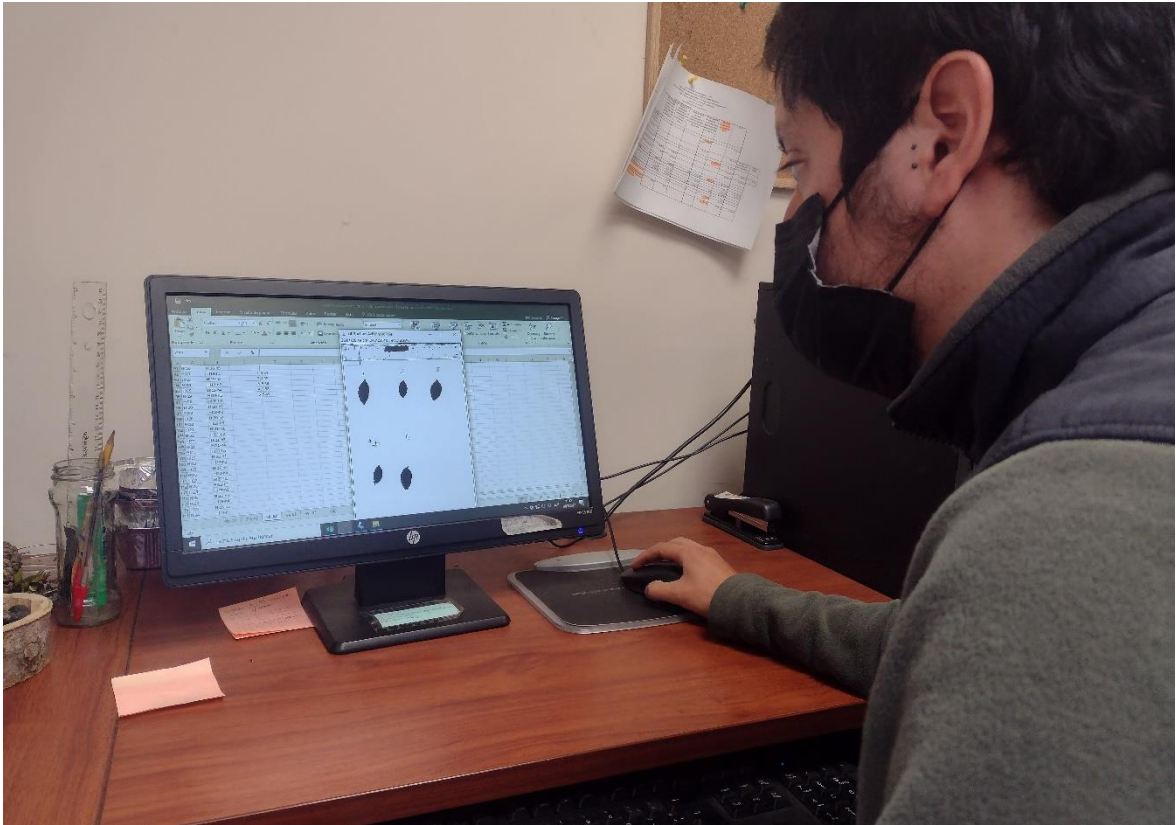
Anexos

Anexo A. Resultados de la prueba de modelo lineal general univariado (MLGu), para los factores de estudio; gradiente, tratamiento y gradiente*tratamiento en fase de post plantación de rasgos funcionales por especie. Valores con * muestran diferencia significativa $p < 0.05$

	Rasgos Funcionales			
	TCA	TCD	EH	CL
Especie		<i>O. grandiflora</i>		
Gradiente	0,000*	0,011*	0,001*	0,912
Tratamiento	0,123	0,022*	0,843	0,057
Gradiente * Tratamiento	0,309	0,418	0,685	0,359
Especie		<i>H. luteynii</i>		
Gradiente	0,119	0,126	0,904	0,4
Tratamiento	0,619	0,764	0,234	0,454
Gradiente * Tratamiento	0,829	0,762	0,085	0,597
Especie		<i>W. fagaroides</i>		
Gradiente	0,000*	0,032*	0,447	0,000*
Tratamiento	0,609	0,223	0,023*	0,014*
Gradiente * Tratamiento	0,403	0,627	0,339	0,25
Especie		<i>M. pubescens</i>		
Gradiente	0,000*	0,000*	0,000*	0,196
Tratamiento	0,056	0,278	0,887	0,016*
Gradiente * Tratamiento	0,5	0,509	0,756	0,583
Especie		<i>V. stipularis</i>		
Gradiente	0,123	0,217	0,000*	0,046*
Tratamiento	0,858	0,172	0,489	0,017*
Gradiente * Tratamiento	0,819	0,093	0,972	0,457

Anexo B. Fotografías de la medición de rasgos funcionales en fase de aclimatación





Anexo C. Fotografías de la medición y trazado de parcelas para la fase de post plantación





Rasgos funcionales/ functional traits/(Stem specific,

Name/Nombre										Calibrador Cod:					
Phase/ Fase (acclimatation, greenhouse/pos plantation)										Observation/observations:					
Date/Fecha:										Roots (Specific root<2 mm)					
Weather condition/ Condiciones de clima:															
Specie (Especie)	Cod Seedling (Código de la planta)	Cód_Stem (Código del tallo)	Longitud del tallo (mm)	Diámetro del tallo (mm)	Diámetro del tallo (mm)	Diámetro del tallo (mm)	Peso húmedo del tallo (gr)	Peso seco del tallo (72°C por 48 horas) (g)	Código de la raíz	longitud de la raíz /Root length(cm)	Fine root diameter de la raíz fina (cm)	masa seca de la raíz (g)/dry Mass of Root /	Masa húmeda de la biomasa aérea (g)	masa seca de Biomasa aérea restante (g)/dry mass of Aboveground Biomass /	Masa seca de Biomasa subterranas restante(g)/dry mass of Belowground biomass /
										1					
										2					
										3					
										4					
										5					
										6					
										7					
										8					
										9					
										10					
										1					
										2					
										3					
										4					
										5					
										6					
										7					
										8					
										9					
										10					