



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Forestal

Estudio de rasgos funcionales en especies vegetales
en el ecosistema Páramo del Parque Nacional
Podocarpus, Loja, Ecuador

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

AUTOR:

John Manuel Benítez Tillaguango

DIRECTOR:

Paul Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 3 de octubre de 2024

Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de rasgos funcionales en especies vegetales en el ecosistema Páramo del Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Forestal**, de la autoría del estudiante **John Manuel Benítez Tillaguango**, con cédula de identidad Nro. **1106066416**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
PAUL ALEXANDER
EGUIGUREN VELEPUCHA

Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **John Manuel Benítez Tillaguango**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1106066416

Fecha: 3 de octubre del 2024

Correo electrónico: john.m.benitez@unl.edu.ec

Teléfono: 0997424236

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

Yo, **John Manuel Benítez Tillaguango**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de rasgos funcionales en especies vegetales en el ecosistema Páramo del Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: John Manuel Benítez Tillaguango

Cédula: 1106066416

Dirección: Barrio Bolacache, Loja

Correo electrónico: john.m.benitez@unl.edu.ec

Celular: 0997424236

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular:

Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

Dedicatoria

A mis padres María Tillaguango y Manuel Benítez, por darme la vida, luchar y esforzarse diariamente por mi bien y el de mi hermano, ser fuerza y apoyo en los momentos más difíciles, pues sin ellos no sería quien soy ni hubiese sido posible llegar a donde estoy.

Finalmente, a mis amigos, compañeros, familia, plantel docente de la UNL y todas las personas con las que he compartido parte de mi vida, experiencias dentro de la universidad, celebrado alegrías o llorado penas, ya que los llevo en el corazón y atesoro el tiempo y apoyo que me han brindado.

John Manuel Benítez Tillaguango

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por permitirme formar parte del plantel estudiantil de tan prestigioso establecimiento y dejarme estudiar mi carrera de Ingeniería Forestal bajo la tutela de excelentes docentes, cuyos conocimientos, apoyo y profesionalismo permitieron mi formación académica. Agradezco de sobremanera a mi director de tesis Ph.D Paúl Eguiguren por su tiempo y apoyo en el proceso de elaboración de mi tesis, al Ing. Dario Veintimilla por su apoyo y colaboración en el trabajo de campo, reconocimiento de especies y disposición a ayudarme en las distintas etapas de mi trabajo de investigación y a los miembros de CITIAB y el Herbario “Reinaldo Espinosa” por recibirme en sus instalaciones y apoyarme en mi trabajo.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos por permitirme compartir la experiencia de formarnos como ingenieros forestales, las risas y el apoyo que me han brindado representan valiosas memorias que atesoraré. Agradezco de manera especial a César Gonzalez, Sally Morocho, Oscar Tenicela, Patricio Ochoa y Richard Vera por su apoyo en mi trabajo de investigación

John Manuel Benítez Tillaguango

Índice de Contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenido.....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de Anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Páramo	6
4.2. Páramos en Ecuador.....	7
4.3. Rasgo funcional	7
4.4. Diversidad funcional.....	8
5. Metodología.....	11
5.1. Área de estudio	11

5.2. Metodología para evaluar los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal	13
5.2.1. Especies vegetales	13
5.2.2. Análisis de rasgos funcionales.....	14
5.2.3. Rasgos cualitativos	16
5.3. Metodología para analizar la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.....	17
5.3.1. Análisis estadístico	18
6. Resultados	21
6.1. Evaluación de los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal	21
6.1.1. Rasgos Cuantitativos	21
6.1.2. Rasgos Cualitativos	32
6.2. Análisis de la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.....	34
6.2.1. Análisis de diversidad funcional.....	34
7. Discusión	36
7.1. Evaluación de los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal	36
7.2. Análisis de la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.....	37
8. Conclusiones	39
9. Recomendaciones	40
10. Bibliografía	41
11. Anexos	46

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de especies seleccionadas para el estudio de rasgos funcionales en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.....	13
Tabla 2. Presencia y ausencia de los rasgos funcionales espinicencia y pubescencia en las 41 especies identificadas en la zona piloto del PNP.....	33
Tabla 3. Síndrome de dispersión en la zona piloto del PNP	33
Tabla 4. Hábitos de crecimiento en la zona piloto del PNP	33
Tabla 5. Filotaxis de 41 especies vegetales de la zona piloto del PNP	33

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del ecosistema páramo en el Parque Nacional Podocarpus.	11
Figura 2. Cimas establecidas por el proyecto MICCAMBIO.	12
Figura 3. Cima de estudio (B)	12
Figura 4. Diseño esquemático de las parcelas permanentes analizadas en las tres cimas del PNP, establecidas por el proyecto MICCAMBIO de la UNL.....	12
Figura 5. Colecta de datos en campo, cimas de estudio del PNP.....	14
Figura 6. Análisis de muestras vegetales, Laboratorio de análisis químico de la UNL.	15
Figura 7. Muestras vegetales (hojas) colectadas en campo	15
Figura 8. Calculadora StrateFy para calcular las estrategias CSR de Grimme	19
Figura 9. Dendrograma de Similitud entre especies arbustivas de páramo según la estrategia CSR de Grime.....	21
Figura 10. Dendrograma de Similitud entre especies herbáceas de páramo según la estrategia CSR de Grime.....	22
Figura 11. Dendrograma de Similitud entre especies de helechos de páramo según la estrategia CSR de Grime.	22
Figura 12. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de arbustos de páramo según la estrategia CSR de Grime.	23
Figura 13. Grupo 2-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	24
Figura 14. Grupo 3-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	25

Figura 15. Grupo 4-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	26
Figura 16. Grupo 5-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	27
Figura 17. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de herbáceas de páramo según la estrategia CSR de Grime.	28
Figura 18. Grupo 1-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	29
Figura 19: Grupo 2-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	30
Figura 20. Grupo 3-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	31
Figura 21. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de helechos de páramo según la estrategia CSR de Grime.	31
Figura 22. Grupo 1-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm ²), Área foliar específica (mm ² /mg) y Contenido de materia seca (mg).....	32
Figura 23. Análisis ANOVA para los valores de la media ponderada de la comunidad (CWM) en los rasgos cuantitativos Altura, Diámetro de copa, Dureza, Área foliar, Contenido de materia seca (LMDC) y Área foliar específica (SLA) de especies de páramo del PNP.	34
Figura 24. Análisis ANOVA para las medidas de diversidad de atributos funcionales FAD1, FAD2 y FDP.	35

Índice de Anexos

Anexo 1: Hoja de datos de campo	46
Anexo 2: Hoja de datos de laboratorio	47
Anexo 3: Rasgos cualitativos y parámetros ecológicos	48
Anexo 4: Base de datos de la media ponderada de la comunidad generada por el software Fdiversity	50
Anexo 5: Base de datos de los índices FAD1, FAD2 y FDP	52
Anexo 6: Certificado de traducción del resumen	54

1. Título

Estudio de rasgos funcionales en especies vegetales en el ecosistema Páramo del Parque
Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador

2. Resumen

El páramo como ecosistema de alta montaña representa un área rica en flora y fauna propia con altos niveles de diversidad y endemismo, los cuales se ven amenazados a causa de factores tanto climáticos como antrópicos. Los ecosistemas de alta montaña como el páramo se ven altamente afectados por condiciones climáticas rigurosas que afectan y modifican la vegetación, representando un área centinela del efecto del cambio climático. Por ello, el presente trabajo de investigación busca generar información de utilidad en el estudio del cambio climático a través de la evaluación de rasgos funcionales de un grupo de especies de páramo y al análisis de la diversidad funcional a partir de las mismas especies. Este trabajo de investigación fue llevado a cabo en la zona piloto PNP-EC del Parque Nacional Podocarpus, en la ciudad de Loja. El área de estudio está conformada por tres cimas de estudio a largo plazo, establecidas en el proyecto MICCAMBIO de la Universidad Nacional de Loja (UNL) bajo protocolos de la Red GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine environments). Estas fueron denominadas CIA (3 270 m s.n.m.), CIB (3 320 m s.n.m.) y CIC (3 400 m s.n.m.), en función de su altitud. Se evaluó en cada cima los rasgos funcionales: altura, diámetro de copa, contenido de materia seca, dureza, área foliar, área foliar específica, espinicencia, síndrome de dispersión y pubescencia, para un grupo de 41 especies de páramo seleccionadas en base a su índice de valor de importancia. Para identificar el cambio de los rasgos en función de la gradiente altitudinal se ejecutó para cada hábito de crecimiento (arbusto, hierba o helecho), un análisis por conglomerados asociando las especies en función de su valor CSR (competition, stress y ruderal) de Grimme, para posteriormente aplicar un análisis de varianza y comparar los rasgos funcionales entre cimas de estudio. Adicionalmente, se aplicó un análisis de la diversidad funcional en base a los índices: media ponderada de la comunidad (CWM), índice de diversidad de atributos funcionales (FD) e índice de diversidad funcional basado en dendrogramas. Los resultados indicaron que la cima CIB presenta mayor variabilidad estadística en comparación a CIA y CIC, tendiendo a superarlas en la mayoría de los casos, además, en función de la variación en los componentes de diversidad funcional, estos indican que las especies tienden a ser más abundantes en la cima CIB. Los resultados obtenidos esperan ser de utilidad en procesos de conservación del páramo y efecto de cambio climático, ofreciendo datos sobre rasgos funcionales y diversidad funcional en el ecosistema páramo del PNP.

Palabras clave: rasgos funcionales, diversidad, ecosistema páramo, gradiente altitudinal, cambio climático, análisis de varianza.

Abstract

The paramo, a high mountain ecosystem, is rich in unique flora and fauna, characterized by high levels of diversity and endemism. However, it faces significant threats from both climatic and anthropogenic factors. This study aims to provide insights into climate change by evaluating the functional traits and diversity of a group of paramo species. The research was conducted in the Podocarpus National Park (PNP), in Loja, Ecuador, across three long-term study summits—CIA (3,270 m), CIB (3,320 m), and CIC (3,400 m)—established by the Universidad Nacional de Loja's MICCAMBIO project under GLORIA network protocols. Functional traits, including plant height, crown diameter, dry matter content, leaf area, specific leaf area, dispersal syndrome, and pubescence, were assessed for 41 paramo species selected based on their importance value index. A cluster analysis based on Grime's CSR strategy (competitor-stress-tolerator-ruderal) was conducted for shrubs, herbs, and ferns, followed by an analysis of variance to compare traits across the three summits. Additionally, functional diversity was analyzed using indices such as the Community Weighted Mean (CWM), Functional Attribute Diversity Index (FD), and Functional Diversity Index based on dendrograms. The results indicated greater statistical variability and species abundance at the CIB summit compared to CIA and CIC, suggesting that functional traits and diversity are more pronounced at this elevation. These findings contribute valuable data for the conservation of the paramo ecosystem and for understanding the impacts of climate change on high-altitude environments.

Key words: functional traits, diversity, páramo ecosystem, altitudinal gradient, climate change, variance analysis.

3. Introducción

El ecosistema páramo es un área de importancia para la conservación y es considerado un *hotspot* debido a la biodiversidad y endemismo que posee (Alarcón et al., 2002). A nivel de Sudamérica, el páramo cubre una extensión de 35 000 km², abarcando desde la cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba al norte del Perú (Hofstede et al., 2003). En Ecuador, ocupa aproximadamente un 7% del territorio nacional, dentro de 18 de las 24 provincias del Ecuador (Beltrán et al., 2009), ubicándose sobre los 3300 m s.n.m., por encima del bosque de la cordillera Occidental y 3500 m s.n.m. en la cordillera Oriental, mientras que en el sur del país se distribuye a partir de los 2800 m s.n.m (Minga et al., 2016). Enfrentando una gran cantidad de amenazas que pueden disminuir cada vez más ese porcentaje.

La importancia ecológica del páramo está relacionada a su flora endémica, paisajes únicos y provisión de servicios ecosistémicos como la regulación hidrológica y reservorio de carbono (Estupiñán, 2001). Por lo que, los páramos representan un área de considerable valor biológico y para la conservación ante fenómenos tanto naturales como antrópicos. Por ejemplo, la alteración por la acción humana en forma de introducción de especies invasivas que compiten con especies endémicas, que en muchos casos terminan por extinguirlas, la contaminación de fuentes de agua, incendios y expansión de la ganadería y agricultura, generando factores críticos de amenaza en flora y fauna por igual (Myers et al., 2000). A los impactos antrópicos se suma el cambio climático, sus efectos ejercen mayor influencia a grandes alturas más que a las tierras bajas, representando un serio peligro para la conservación de ecosistemas de alta montaña, sus funciones biofísicas y áreas de transición (Isch, 2012).

Depende de los páramos y su conservación la permanencia de servicios que son de vital importancia para la sociedad como lo son la regulación hídrica o la acumulación de carbono en el área de páramo (F. Cuesta et al., 2014). Ante esta situación, el estudio del área de páramo con fines de conservación o recuperación representa una necesidad en el campo de preservación de la flora y fauna.

Bajo este contexto, es importante implementar estudios que permitan conocer como las variaciones ambientales o en gradiente pueden influenciar en los ecosistemas de páramo. Los rasgos funcionales pueden estar relacionados con los procesos ecosistémicos (flujo de materia y energía), la estabilidad de los ecosistemas (resistencia y resiliencia), las interacciones biológicas (intra e interespecíficas) y/o la modificación del hábitat (Hooper et al., 2005). El análisis de los rasgos funcionales de la vegetación de páramo permite conocer

el estado de la vegetación, a través del análisis de la variación de un rasgo observado en distintas condiciones ambientales (mayor altura, temperatura, etc.) se puede comprender las alteraciones de las mismas. Así mismo, a partir de rasgos de la vegetación es posible reconocer el papel que desempeña cada organismo dentro del ecosistema, su estado y generar información de utilidad para la elaboración de planes de manejo y conservación a nivel de especies o incluso de ecosistemas (F. Cuesta et al., 2018).

Los rasgos funcionales permiten conocer si la presencia o ausencia de especies en un ecosistema se justifica por las condiciones climáticas en una determinada área, identificándose alteraciones donde las plantas tienden a desaparecer por efectos antrópicos o por el calentamiento global. Según Petchey y Gaston (2006), la diversidad funcional de un ecosistema puede contribuir en el entendimiento para explicar y predecir la variación en los procesos ambientales a nivel de ecosistema. Adicionalmente, al ser el páramo un ecosistema de alta montaña, sujeto a la influencia de la gradiente altitudinal, el análisis de la influencia de la altitud representa otra variable de interés para el estudio. La relación entre la influencia de la gradiente altitudinal y la diversidad funcional, a partir de los rasgos funcionales del ecosistema páramo, permitirá generar información útil en el diagnóstico del ecosistema.

En este contexto el estudio del páramo en el Parque nacional Podocarpus aplicando la metodología establecida en los protocolos de la Global Observation Research Initiative in Alpine environments (GLORIA) y la colecta y trabajo de rasgos funcionales propuesta por Cornelissen (2003) permitirá obtener información entre los rasgos funcionales, la diversidad funcional y la gradiente altitudinal. Los objetivos que se plantearon en la presente investigación fueron:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento científico sobre los rasgos funcionales de especies vegetales en el ecosistema Páramo del Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador.

Objetivos específicos

- Evaluar los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal.
- Analizar la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

4. Marco teórico

4.1. Páramo

El Páramo se define como un ecosistema de alta montaña del trópico húmedo, dominado por vegetación abierta y ubicado entre el límite del bosque cerrado y las nieves perpetuas (Hofstede et al., 2014). El páramo presenta una morfología y topografía determinada por la interrelación especial de las etapas finales en la formación de los Andes, razón por la cual, está compuesta por un ecosistema joven, endémico y hecho a imagen y semejanza de las condiciones climáticas particulares de las variables altitudinales y latitudinales de la región (Alarcón et al., 2002).

El ecosistema páramo se encuentra comprendido en el territorio ocupado por la cordillera de los Andes, ocupando territorios de Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Costa Rica (Estupiñán, 2001). Los páramos integran parte de los sistemas de alta montaña, conformados por pisos glaciares (nevados y volcanes a lo largo de la cordillera de los Andes), la franja periglaciaria (conocida como arenal), los páramos y el bosque andino y/o relicto de vegetación arbustiva (Camacho, 2013). Cubre una extensión de 35 000 km², abarcando desde la cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba al norte del Perú (Hofstede et al., 2003) y son zonas de alto interés para la conservación debido a su alta biodiversidad de especies.

La fauna a nivel de páramo destaca por su endemismo en gran variedad de especies, desde aves, reptiles, anfibios, mamíferos y peces, que en muchos casos incluso están amenazados y son únicos de este tipo de ecosistemas. Según Aguirre (2021), se puede encontrar un 0.4 % del total de especies de agua dulce registradas en el Ecuador, encontrándose como especie destacada la sardina *Grundulus quitoensis*. En el caso de los anfibios, hay 56 especies, que conforma un 9 % del total de especies ecuatorianas (Ron et al., 2022), donde 45 de esas especies (80 %) son endémicas, encontrándose los géneros *Gastrotheca*, *Lynchius*, *Niceforonia*, *Pristimantis*, *Hyloscirtus*, *Hyloxalus*, *Osornophryne*, *Atelopus* y *Telmatobius*, donde en muchos casos una o varias de las especies están categorizadas como amenazadas (IUCN, 2022). Los reptiles, aunque escasos, registran 15 especies, representando un 3 % del total de especies registradas en el Ecuador (Torres-Carvajal et al., 2022), donde un 53 % de esas especies son endémicas. En el caso de las aves, el páramo ecuatoriano poseería un número entre 33 y 44 especies (Sierra et al., 1999), destacándose especies representativas como lo son el chungüi (*Cinclodes albidiventris*), el caracara carunculado o curiquingue (*Phalco boenus carunculatus*) y la estrella ecuatoriana (*Oreotrochilus chimborazo*). Finalmente, los mamíferos en los páramos del Ecuador, se

estiman en 75 especies, un 16 % de los mamíferos de todo el país (Tirira et al., 2022), de entre las cuales 20 especies (36 %) son endémicas, siendo el piso altoandino el que contiene el mayor número de especies endémicas en todo el Ecuador.

4.2. Páramos en Ecuador

El páramo en Ecuador asciende a 1 843 477 ha, ocupando el 7 % del territorio nacional, convirtiéndolo en el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total (Beltrán et al., 2009). El ecosistema páramo se encuentra en 18 de las 24 provincias del país lo que denota la gran importancia que representan los páramos a escala nacional y la dependencia de las diferentes provincias respecto a los servicios ecosistémicos que este ecosistema natural brinda (regulación hídrica, biodiversidad, almacenamiento de carbono, etc.).

En Ecuador, se localiza entre los 3.200 y los 4.700 m s.n.m., con precipitaciones anuales entre los 500 y 2 000 mm anuales y una temperatura en la cordillera Occidental de 9.32 °C, y en la Central a 8.32 °C, se halla principalmente constituido por una vegetación natural herbácea de carácter permanente conformada mayoritariamente por gramíneas (Camacho, 2013). Se destacan en el país los ecosistemas Bosque siempreverde del Páramo, Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones), Herbazal inundable del Páramo, Herbazal del Páramo, Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo, Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo, Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo, Herbazal húmedo subnival del Páramo, Herbazal ultra húmedo subnival del Páramo, Arbustal siempreverde montano alto del sur del páramo y Herbazal, y Arbustal siempreverde del Páramo del volcán Sumaco (MAE, 2013).

4.3. Rasgo funcional

Los rasgos funcionales en el campo de la biología se definen como aquellas características morfológicas, fisiológicas, estructurales o fenológicas que influyen en el rendimiento o fitness de un individuo a través de sus efectos sobre el crecimiento, la reproducción o la supervivencia. Estos rasgos proporcionan útil información acerca de la eficacia biológica de los organismos, los mecanismos de ensamblaje de la comunidad y sus respuestas a cambios en el ambiente (rasgos/respuesta) y la influencia de la comunidad sobre los procesos ecosistémicos (Nock et al., 2016).

Cuando se clasifican especies con base en sus rasgos funcionales se pueden recapitular ciertos patrones observados con la diversidad taxonómica debido a que algunos rasgos pueden ser conservados, sin embargo, no todos los rasgos funcionales son

dependientes de la filogenia (Córdova-Tapia & Zambrano, 2015). Estos pueden dividirse en dos tipos tomando en cuenta la complejidad de su análisis, siendo estos: rasgos duros y rasgos suaves.

Los rasgos duros son aquellos que miden directamente la función de interés y generalmente están asociados a la fisiología de los organismos, por ejemplo, la tasa de asimilación y de desecho de los recursos alimenticios. Por otra parte, los rasgos funcionales suaves evalúan la función de manera indirecta y requieren métodos de medición sencillos y rápidos.

4.4. Diversidad funcional

La diversidad funcional describe las diferencias funcionales entre las especies de una comunidad a partir de los rasgos funcionales, que son aquellas características biológicas (fisiológicas, morfológicas, anatómicas, bioquímicas o conductuales) de individuos o especies, y se relaciona con su desarrollo y adaptación en un ecosistema, e incluso el cómo influye en el funcionamiento del ecosistema (McGill et al., 2006). El campo de la diversidad funcional se encuentra en un rápido crecimiento y ha sido aplicado a diversos temas de la teoría ecológica como: la influencia de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas, las facetas de la biodiversidad que influyen en los procesos ecosistémicos y su relación con las condiciones ambientales, así como las reglas de ensamblaje en las comunidades y su relación con la diversidad funcional. Uno de los principales retos para estudiar la diversidad funcional consiste en determinar los rasgos funcionales adecuados que describan la función de los organismos en el ecosistema (Córdova-Tapia & Zambrano, 2015).

Se pueden mencionar dos tipos diferentes de índices enfocados en medir la Diversidad funcional, estos serían: Índices basados en incidencia de especies (presencia/ausencia), que son comparables con las mediciones de riqueza funcional y que evidencian el rango total de estrategias funcionales presentes en una comunidad e Índices basados en abundancia de especies, los cuales enfatizan el papel de las especies dominantes (Lohbeck et al., 2012). Salgado, B., et al (2015) considera necesario que las medidas de Diversidad funcional deben ser continuas, tener en cuenta la abundancia de las especies y tener estimaciones de múltiples dimensiones de la Diversidad funcional.

Para este caso, los estudios de rasgos funcionales y de diversidad funcional representaran la relación entre las condiciones medio ambientales y la composición funcional, permitiendo realizar análisis de estructura y dinámica de la comunidad (Trujillo, 2017).

Dentro de los índices de diversidad funcional, por mencionar algunos de los más representativos, tenemos:

- *Riqueza funcional (Fric)*

Representa el volumen ocupado por la comunidad en el espacio de los rasgos. Este identifica las especies con valores extremos de los rasgos y luego estima el volumen del cuerpo en el hiperespacio. El algoritmo usado identifica el tipo de variables produciendo una estandarización que evita los efectos de escala y cuando el número de rasgos considerados es igual o superior al número de especies realiza una transformación previa por coordenadas principales para reducir la dimensionalidad. El valor máximo posible de *Fric* en un espacio de los rasgos de T dimensiones con 2T especies se obtiene con la combinación de los valores extremos (mínimo, máximo) de todos los rasgos (CATIE, 2011).

$$FR_{ci} = \frac{SF_{ci}}{R_c}$$

Donde:

FR_{ci} = La riqueza funcional del rasgo funcional c en la comunidad i.

SF_{ci} = El espacio ocupado por la especie dentro de la comunidad.

R_c = El rango absoluto del rasgo

- *Divergencia funcional (FDiv)*

Muestra cómo se distribuyen las abundancias de las especies, mide la distribución de los rasgos en un espacio multivariado. Permite averiguar si las especies cuyos rasgos se encuentran más cerca del centro de gravedad del espacio funcional, donde los rasgos actúan como coordenadas, son las más abundantes. (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008)

$$FDiv = \frac{\Delta d + dG}{\Delta|d| + dG}$$

Los valores de dG son distancias euclidianas y, por tanto, son positivos o nulos, de ahí que Δd esté acotado entre dG y $\Delta|d|$. Por lo tanto, la adición de dG al numerador y al denominador garantiza que el índice oscile entre 0 y 1. El índice se aproxima a 0 cuando las especies muy abundantes están muy cerca del centro de gravedad en relación con las especies raras (Δd es negativo y tiende a -dG), y se aproxima a la unidad cuando las especies muy abundantes están muy alejadas del centro de gravedad en relación con las especies raras (Villéger et al., 2008).

- *Equidad funcional (FEve)*

Considerando abundancia, se mide la regularidad de distribución en el espacio de los rasgos. La diversidad de una comunidad raramente estará distribuida igual. Por ello, es importante analizar el grado de uniformidad de la comunidad para averiguar en qué grado la comunidad es más o menos homogénea (Villéger et al., 2008)

$$FEve = \frac{\sum_{b=1}^{s-1} \min \left(PWE_b \frac{1}{s-1} \right) - \frac{1}{s-1}}{1 - \frac{1}{s-1}}$$

El índice, básicamente cuantifica la regularidad con la que las especies ocupan el espacio funcional, medido en función de su abundancia. FEve disminuye cuando la distribución de la abundancia es menos uniforme entre especies, o cuando las distancias funcionales entre especies son menos regulares.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el Parque Nacional Podocarpus (PNP), sector Cajanuma (Figura 1). El sector se caracteriza por una temperatura media anual que fluctúa entre 12 a 22 °C, precipitación media anual que varía de 600 a 2 000 mm, rango altitudinal entre 2 800 y 3 800 m s.n.m y pendientes de 0 a 68°(Samaniego et al., 2015).

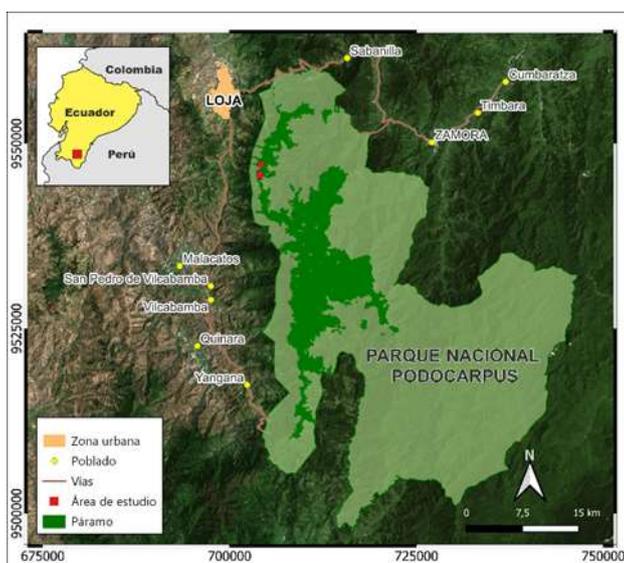


Figura 1. Mapa del ecosistema páramo en el Parque Nacional Podocarpus.

En el sector Cajanuma se estableció en el 2008 una zona piloto como parte del proyecto de Monitoreo a largo plazo del cambio climático en la biodiversidad (MICCAMBIO) (Figura 2), dentro del ecosistema páramo del PNP. Comprende tres cimas localizadas a los 3 270 m s.n.m. (CIA), 3 320 m s.n.m. (CIB) y 3 400 m s.n.m. (CIC) (Eguiguren et al., 2010). Las cimas dentro de la zona piloto en el PNP son áreas de conservación para el análisis de la biodiversidad, se establecieron considerando criterios como la gradiente altitudinal, clima, situación del hábitat, presencia de roca madre y la referencia histórica de explotación o afectación del área (Figura 3). En cada cima se establecieron cuatro parcelas permanentes en dirección de cada uno de los puntos cardinales (N, S, E y O), en las tres cimas existen un total de 48 parcelas de 1 m² (Eguiguren et al., 2010).



Figura 2. Cimas establecidas por el proyecto MICCAMBIO.



Figura 3. Cima de estudio (B)

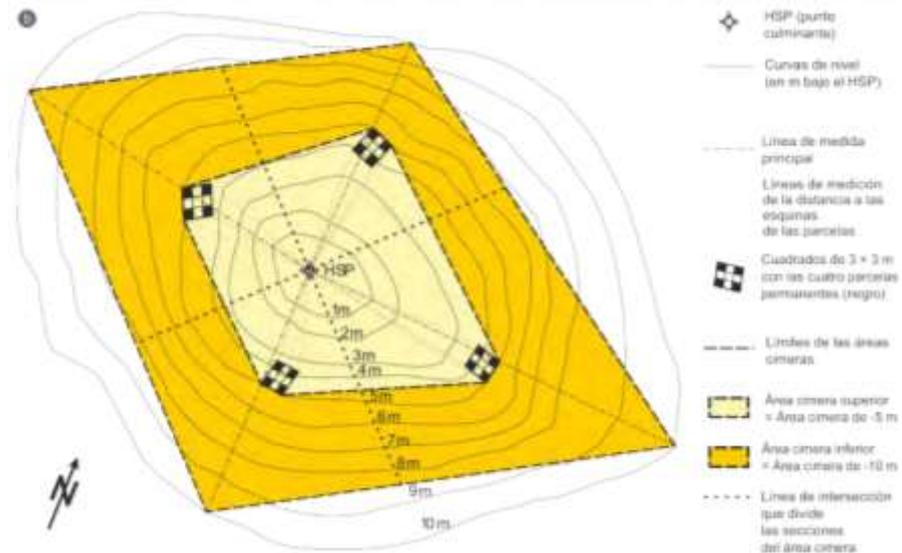


Figura 4. Diseño esquemático de las parcelas permanentes analizadas en las tres cimas del PNP, establecidas por el proyecto MICCAMBIO de la UNL (Pauli et al., 2015).

5.2. Metodología para evaluar los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal

Para evaluar los cambios en rasgos funcionales cuantitativos y cualitativos en especies del ecosistema páramo, en las tres cimas establecidas por el proyecto MICCAMBIO, se usó como guía para la cuantificación en campo y laboratorio, la metodología descrita en el Manual de protocolos para la medición normalizada y sencilla de los rasgos funcionales de las plantas en todo el mundo, propuesta por Cornelissen (2003).

5.2.1. Especies vegetales

El análisis de rasgos funcionales y efecto de la gradiente altitudinal en las tres cimas se realizó a partir de un listado de 91 especies vegetales identificadas en el área de estudio entre los años 2022 y 2023, de los cuales se seleccionaron 41 especies considerando aquellas que tienen una mayor importancia ecológica, para esto se consideró el índice de valor de importancia (IVI).

Tabla 1. Listado de especies seleccionadas para el estudio de rasgos funcionales en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

Familia	Nombre científico	Rango altitudinal (m s.n.m.)
Asteraceae	<i>Ageratina cutervensis</i> (Hieron) R.M. King & H. Rob.	2 900
Rubiaceae	<i>Arcytophyllum setosum</i> (Ruiz & Pav.) Standl.	2 950-3 400
Blechnaceae	<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze	3 270-3 400
	<i>Blechnum cordatum</i> (Desv.) Hieron.	3 200-3 400
Alstromeliaceae	<i>Bomarea brachysepala</i> Benth	2 825-2 900
	<i>Bomarea setacea</i> (Ruiz & Pav.) Herb	2 825-3 360
Poaceae	<i>Calamagrostis macrophylla</i> (Pilg.) Pilg.	2 875-3 420
Calceolareaceae	<i>Calceolaria fusca</i> Pennell	2 950-3 420
Poaceae	<i>Chusquea neurophylla</i> L.G. Clark	2 900-3 400
	<i>Cortaderia bifida</i> Pilg.	2 900-3 320
Primulaceae	<i>Cybianthus marginatus</i> (Benth.) Pipoly	2 890
	<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.	3 025-3 400
Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude	2 800-3 400
	<i>Disterigma pentandrum</i> S.F. Blake	2 900
Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum lingua</i> (C. Presl) Brack	2 880-2 935
Grossulariaceae	<i>Escallonia myrtilloides</i> L.f.	2 865-3 300
	<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	2 900-3 300
Ericaceae	<i>Gaultheria strigosa</i> Benth.	2825-3400
	<i>Gynoxys cuicochensis</i> Cuatrec.	3 270
Asteraceae	<i>Hieracium frigidum</i> Wedd.	2 850-3 350
Araliaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.	3 400
Hypericaceae	<i>Hypericum lancioides</i> Cuatrec.	
Aquifoliaceae	<i>Ilex myricoides</i> Kunth	2 800-3 350
Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	2 825-3 150

Melastomataceae	<i>Miconia dodsonii</i> Wurdack	3 420
	<i>Miconia ligustrina</i> (Sm.) Triana	2 900-3 200
Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	2 900-3 400
Poaceae	<i>Neurolepis nana</i> L.G. Clark	
Oxalidaceae	<i>Oxalis spiralis</i> Ruiz & Pav. Ex G. Don	2 900-3 300
Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC	2 825-3 400
Polypodiaceae	<i>Polypodium subandinum</i> Sod.	2 800-3 270
Bromeliaceae	<i>Puya nítida</i> Mez.	2 850-3 050
Cyperaceae	<i>Rhynchospora vulcani</i> Boeck.	2 850-3 400
Rosaceae	<i>Rubus laegaardii</i> Romoleroux	2 900-3 270
Asteraceae	<i>Senecio tephrosioides</i> Turcz.	3 270-3 400
Ericaceae	<i>Themistoclesia epiphytica</i> A.C.Sm	2 850-3 270
Bromeliaceae	<i>Tillandsia aequatorialis</i> L.B. Sm.	3 270
Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	2 950-3 400
Caprifoliaceae	<i>Valeriana convallarioides</i> (Schmale) B.B. Larsen	2 850-3 400
	<i>Valeriana microphylla</i> Kunth	3 025-3 450
Cunnoniaceae	<i>Weinmania fagaroides</i> Kunth	2 850-3 400

5.2.2. Análisis de rasgos funcionales

Los rasgos funcionales que se identificaron en cada una de las 41 especies vegetales se dividieron en rasgos cuantitativos (altura, diámetro de copa, área foliar, área foliar específica, contenido de materia seca y dureza) y cualitativos (Espinicencia, pubescencia, síndrome de dispersión, filotaxis y hábito de crecimiento). Para los rasgos cualitativos se usó información secundaria y recorridos de campo dentro del sitio piloto (Figura 5). En el caso de los rasgos cuantitativos (área foliar, área foliar específica, contenido de materia seca, dureza), se identificó y colectó material vegetal (hojas) fuera de las parcelas permanentes y áreas cimeras de cada cima, estas muestras se llevaron al laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja para el análisis (Figura 6).



Figura 5. Colecta de datos en campo, cimas de estudio del PNP.



Figura 6. Análisis de muestras vegetales, Laboratorio de análisis químico de la UNL.

Siguiendo la metodología de Cornelissen (2003), se utilizó la dirección este y oeste para toma de muestras e identificación de individuos. En cada dirección se identificó tres individuos adultos para el análisis de rasgos cuantitativos como altura y diámetro de copa, así mismo, de cada individuo se colectó una muestra vegetal correspondiente a diez hojas en buen estado. Es decir, por dirección (E y O) se identificó tres individuos, y de cada uno se tomó una muestra de diez hojas dando un total de treinta hojas por dirección y sesenta por cima (Figura 7). Este mismo proceso se repitió en cada una de las tres cimas de estudio.



Figura 7. Muestras vegetales (hojas) colectadas en campo

5.2.2.1. Rasgos cuantitativos

Se obtuvieron en base a la identificación en campo y la medida de individuos maduros, empleando instrumentos de medición como el flexómetro. Se describieron los siguientes rasgos:

- **Altura:** Se empleó el flexómetro para medir la altura del individuo adulto partiendo de su base hasta el punto más alto de la planta.
- **Diámetro de copa:** Con ayuda del flexómetro se midió la dimensión del eje mayor y menor de la copa del individuo con las que obtener una media aritmética:

$$d_{copa} = \frac{dc_1 + dc_2}{2}$$

d_{copa} = Media del eje mayor y menor de la copa

dc_1 = Eje mayor de la copa

dc_2 = Eje menor de la copa

- **Contenido de materia seca (LMDC):** Cada hoja colectada en base a la metodología de Cornelissen (2003) fue pesada en una balanza analítica para registrar el peso en verde (g). Luego, fueron secadas en una estufa a 70 °C por el lapso de 3 a 5 días hasta tener un peso constante. El contenido de materia seca se obtuvo al dividir el peso en seco de la muestra en miligramos para el peso en verde de la muestra en gramos.
- **Área foliar (LA):** La estimación del área foliar se ejecutó con el CI-202 Medidor láser portátil. El área foliar fue estimada en centímetros cuadrados para cada muestra vegetal (hoja).
- **Área foliar específica (SLA):** Se obtuvo al dividir el área foliar en milímetros cuadrados para el peso en seco de la misma muestra en miligramos.
- **Dureza:** Se empleó un penetrómetro para el cálculo de la penetrabilidad de cada muestra vegetal. Se obtuvieron valores aproximados de dureza al presionar la punta del instrumento sobre la superficie de la hoja hasta que rompiese la superficie de la hoja, obteniéndose el valor de dicha presión en la unidad de fuerza Newtons, y registrándose en la base de datos.

5.2.3. Rasgos cualitativos

Los rasgos funcionales cualitativos, identificados a través de una revisión bibliográfica de bases de datos y observación en campo, fueron:

- **Espinicencia:** En base a información secundaria y la observación en campo donde se registró la presencia o ausencia de espinas en cada especie.
- **Pubescencia:** Apoyándose en información secundaria y observación en campo se registró la presencia o ausencia de vello en la superficie de la planta, hojas u otros.
- **Síndrome de dispersión:** A través de información secundaria y observación en campo se reconoció el mecanismo de dispersión adoptado por cada planta para facilitar la dispersión de sus semillas. Los tipos de dispersión están asociados a la presencia o ausencia de mecanismos que beneficien el transporte de semillas, como pueden ser la existencia de frutos con las semillas, semillas fácilmente desprendibles y la ayuda de elementos ajenos a la planta como el viento, agua en forma de lluvias, animales, etc.
- **Filotaxis:** Se observó en campo y verificó con información bibliográfica el tipo de disposición que presentan las hojas.

- **Hábito de crecimiento:** Observando en campo y verificando en información secundaria se definió el aspecto y tipo de desarrollo de la planta, pudiendo ser árbol, arbusto, hierba, entre otros.

5.2.4. Análisis de rasgos cualitativos

Los rasgos cualitativos al no poseer un valor numérico cuantificable no fueron aptos para la aplicación de un análisis estadístico similar al de los rasgos cuantitativos. En consecuencia, la información de los rasgos cualitativos se analizó en base al porcentaje de presencia o ausencia de las 41 especies en los rasgos de pubescencia y espinicencia. Por otro lado, para rasgos como síndrome de dispersión y hábito de crecimiento se generaron valores porcentuales en base a la clasificación que otorgan a las especies. Al final, se generaron tablas resumen (Tabla 2) para el conjunto de 41 especies analizadas.

5.3. Metodología para analizar la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus

En el software Microsoft Excel se generó una base de datos que agrupó información de rasgos funcionales y composición florística relacionada al páramo del PNP, para ello se utilizó la información de rasgos recopilada en campo y laboratorio, conjuntamente con la base de datos de Bermeo (2023), generada para su estudio sobre la dinámica del ecosistema páramo.

Se estimó la media ponderada de la comunidad (CWM) para conocer el valor funcional los rasgos cuantitativos en base a las abundancias de las 41 especies de páramo para el área de estudio (Cornwell & Ackerly, 2009). El cálculo del índice de diversidad de atributos funcionales (FAD) se ejecutó conociendo el número de combinaciones de atributos distintos en una comunidad y la distancia normalizada entre los pares de especies en el espacio de atributos. Por último, el índice de diversidad funcional basado en dendrogramas para conocer la distancia de las ramas del dendrograma generado en el análisis de los rasgos funcionales.

La media ponderada de la comunidad se calcula empleando la siguiente expresión (Lavorel et al., 2008):

$$CWM = \sum_{i=1}^n P_i \times trait_i$$

Donde:

P_i = es la contribución relativa de la especie i a la comunidad

$trait_i$ = valor de rasgo de la especie

En el caso de FAD, este se calculó con sus dos componentes el FAD1 y el FAD2 (Walker et al., 1999):

El FAD1 es el número de combinaciones diferentes de rasgos que ocurren dentro de la comunidad. Este valor puede ser igual o menor que el número de especies y en el contexto de la diversidad filogenética es análogo al número de especies o riqueza de especies.

FAD2 es la suma de las distancias estandarizadas entre pares de especies en el espacio de los rasgos (Walker et al., 1999). La distancia ecológica se obtiene por la siguiente expresión:

$$DE_{ij} = \sqrt{\sum_{t=1}^T (X_{tj} - X_{ti})^2}$$

Donde:

DE_{ij} = Distancia ecológica

T = Total de rasgos o atributos

X_{ij} y X_{ti} = los valores del t-ésimo rasgo en las i-ésima y j-ésima especie

Conocida la distancia ecológica DE_{ij} , la fórmula para FAD2 es:

$$FAD2 = \sum_{i=1}^S \sum_{j>1}^S DE_{ij}$$

Donde S representaría el número de especies.

En el cálculo de CWM, FAD y FD, la información de abundancia necesaria se obtuvo de los datos de abundancia relativa generada por Bermeo (2023) como parte de su trabajo de integración curricular en el proyecto MICCAMBIO de la UNL.

En el software Fdiversity se seleccionaron los tres análisis de diversidad funcional (CWM, FAD Y FD) y al ejecutarse se procesó la información proporcionada, generándose tablas de resultados para cada uno de los análisis.

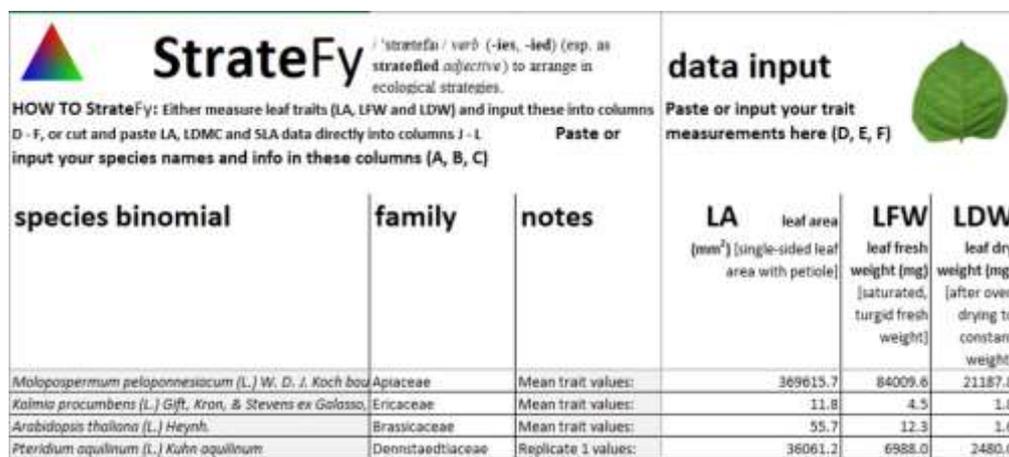
5.3.1. Análisis estadístico

Se ejecutó un análisis de conglomerados para agrupar especies con características similares. Una primera agrupación se ejecutó considerando su hábito de crecimiento, hierbas, arbustos y helechos, grupos a los cuales se analizaría para entender el efecto de la gradiente altitudinal a través de otros análisis.

Al realizar el dendrograma por alguno de los rasgos medidos, la asociación de especies fue inconsistente, al asociar especies significativamente distintas en uno o más rasgos. Ante esta situación se optó por incorporar un análisis de la estrategia CSR de Grimme

para generar información de su competitividad, tolerancia al estrés y nivel ruderal. Este análisis emplea una combinación de rasgos que suceden en situaciones de competencia, limitación abiótica del crecimiento o destrucción periódica de la biomasa, respectivamente. Los valores obtenidos representaran a cuál de los tres grupos de especies pertenece, siendo “C”, especies competidoras que se desarrollan en hábitats productivos enfocándose en su crecimiento y generación de órganos de gran tamaño para aprovechar más recursos. La letra “S” representa o clasifica a dichas especies como tolerantes al estrés, grupo de especies que se desarrolla en entornos variables con baja cantidad de recursos, donde se han adaptado para retener recursos, generar tejidos densos y resistentes. Finalmente, “R” se refiere a ruderalismo, que son aquellas especies caracterizadas por crecer y desarrollarse en lugares pobres y de escasos recursos, estas especies invierten la mayor parte de sus recursos no en el individuo, sino en propágulos que permitirán a la especie regenerarse ante una alteración o destrucción de su biomasa (Pierce et al., 2017).

Se calculó la estrategia CSR a través de la calculadora para plantas vasculares StrateFy (Pierce et al., 2017). Esta herramienta empleó los rasgos de área foliar, contenido de materia seca y área foliar específica, calculados a partir de valores de peso en seco y en verde de cada muestra (cada hoja) colectada, para generar valores que representen en que porcentaje cada muestra está relacionada con alguna de las estrategias de Grime (Figura 8).



species binomial	family	notes	LA (mm ²) [single-sided leaf area with petiole]	LFW leaf fresh weight (mg) [saturated, turgid fresh weight]	LDW leaf dry weight (mg) [after oven drying to constant weight]
<i>Molopospermum peloponnesiacum</i> (L.) W. D. J. Koch	Apiaceae	Mean trait values:	369613.7	84009.6	21187.8
<i>Kalmia procumbens</i> (L.) Giff., Kron., & Stevens ex Galasso	Ericaceae	Mean trait values:	11.8	4.5	1.8
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	Brassicaceae	Mean trait values:	55.7	12.3	1.6
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Denstaedtiaceae	Replicate 1 values:	36061.2	6988.0	2480.0

Figura 8. Calculadora StrateFy para calcular las estrategias CSR de Grimme (Pierce et al., 2017)

En función de las 41 especies y los valores de la estrategia CSR de Grimme, se generaron agrupaciones de especies para análisis (clusters), y a partir de la clasificación estudiar la variación de cada rasgo en los tres escenarios del área de estudio (CIA, CIB y CIC), empleando la gradiente altitudinal como variante de clasificación.

La agrupación de las 41 especies de páramo se ejecutó con un análisis multivariado de conglomerados, con el método de encadenamiento de Ward según el índice de disimilitud de Bray-Curtis.

Para conocer los cambios a lo largo de la gradiente de cada rasgo se ejecutó un análisis de varianza para cada grupo de especies. Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad con las pruebas de Shapiro-Wilks modificada y la prueba de Levene, respectivamente. En el caso de aquellos modelos que no cumplieron los supuestos, se empleó la prueba de Kruskal Wallis.

6. Resultados

6.1. Evaluación de los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal

6.1.1. Rasgos Cuantitativos

El análisis del comportamiento de las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal permitió identificar la variabilidad en rasgos funcionales como altura, área foliar, contenido de materia seca, diámetro de copa y dureza debido al incremento de altitud.

El análisis Cluster para las especies pertenecientes al hábito de crecimiento arbusto, permitió identificar cinco clusters (Figura 9)

Arbustos

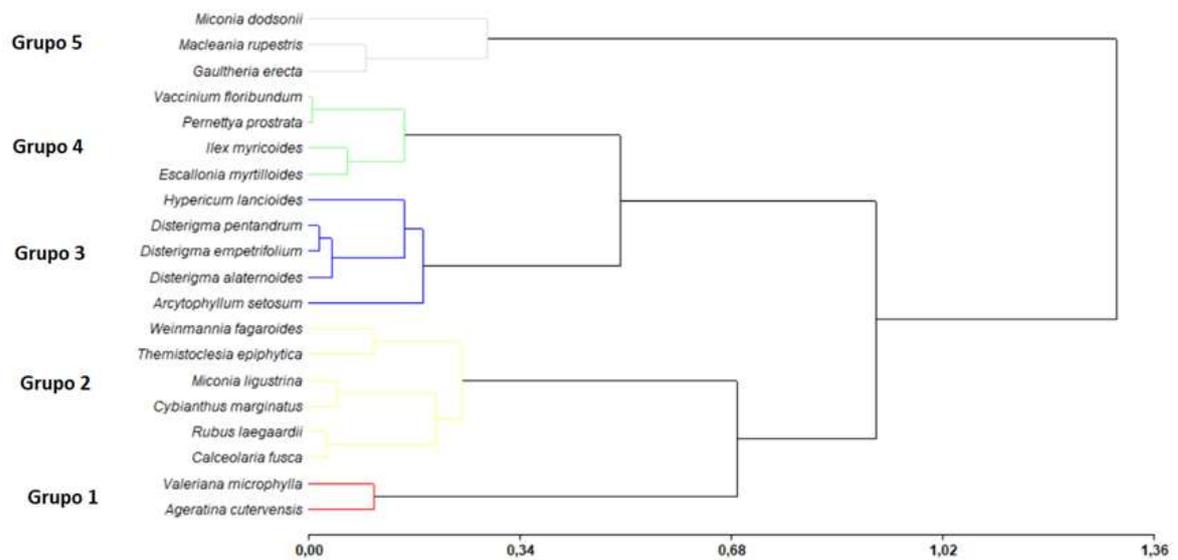


Figura 9. Dendrograma de Similitud entre especies arbustivas de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray Curtis. Método de encadenamiento: Ward

Hierbas

Se encontraron 15 especies de hierbas, a partir de las cuales se generaron cuatro clusters con tres, cuatro, tres y cinco especies respectivamente (Figura 10). Debido a la falta de observaciones y datos, necesarios para futuros análisis, el primer y segundo cluster se agruparon como uno solo para su análisis.

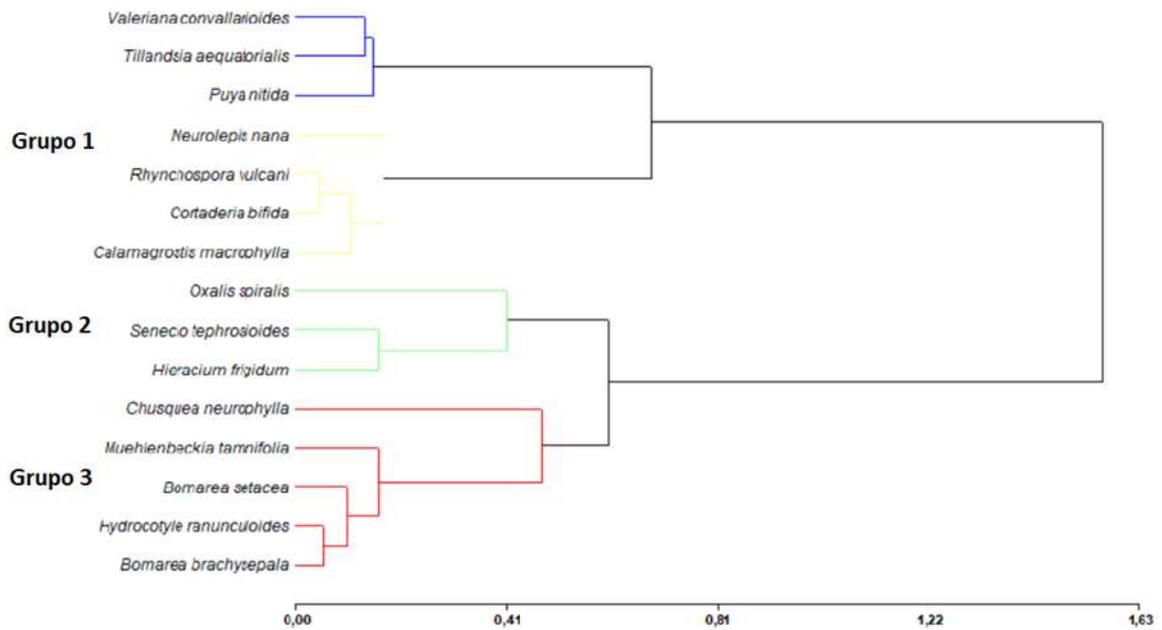


Figura 10. Dendrograma de Similitud entre especies herbáceas de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray Curtis. Método de encadenamiento: Ward

Helechos

Se encontraron cuatro especies de helechos, en el dendrograma para esta especie se evidencia la generación de grupos con baja cantidad de emparejamientos debido a la baja cantidad de especies para este hábito, por esta razón se decidió el trabajar a todas las especies como un solo grupo.

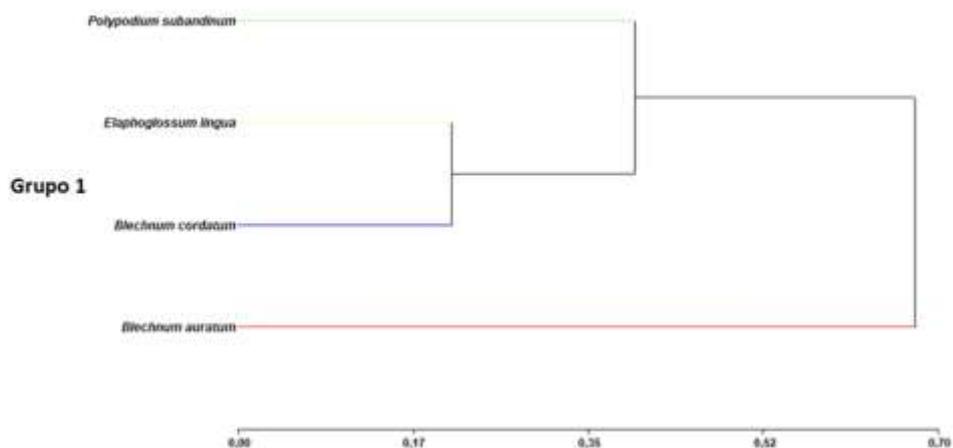


Figura 11. Dendrograma de Similitud entre especies de helechos de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray curtis. Método de encadenamiento: Ward

A continuación, se presenta el anova para cada uno de los cluster generados, distinguiéndose por hábito de crecimiento y especies que los conforman.

6.1.1.1. Arbustos

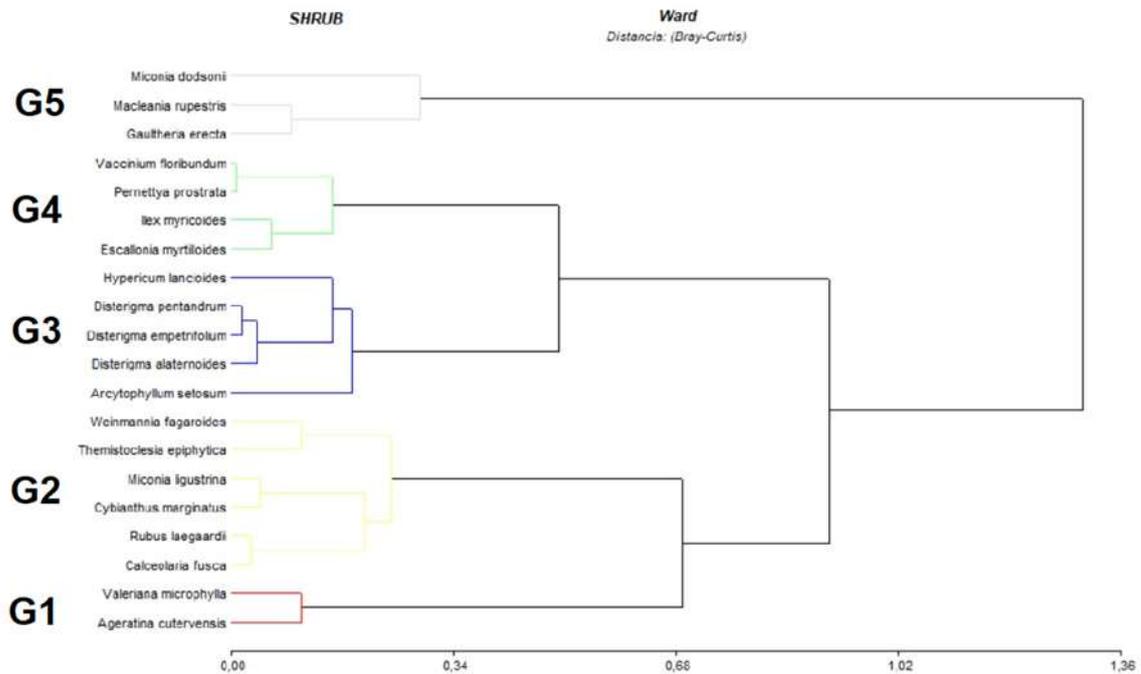


Figura 12. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de arbustos de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray Curtis. Método de encadenamiento: Ward

Grupo 1

Debido a la agrupación de únicamente dos especies correspondientes a *Valleriana microphylla* y *Ageratina cutervensis*, la agrupación de sus datos no representaba una cantidad suficiente de observaciones y datos utilizables para la elaboración de un análisis de varianza.

Grupo 2

Para el grupo de especies 2 (*Weinmannia fagaroides*, *Themistoclesia epiphytica*, *Miconia ligustrina*, *Cybianthus marginatus*, *Rubus laegaardi*, *Calceolaria fusca*). No existen diferencias estadísticas significativas entre las cimas para las seis variables (altura, diámetro de copa, dureza, área foliar, área foliar específica y contenido de materia seca) (Figura 13).

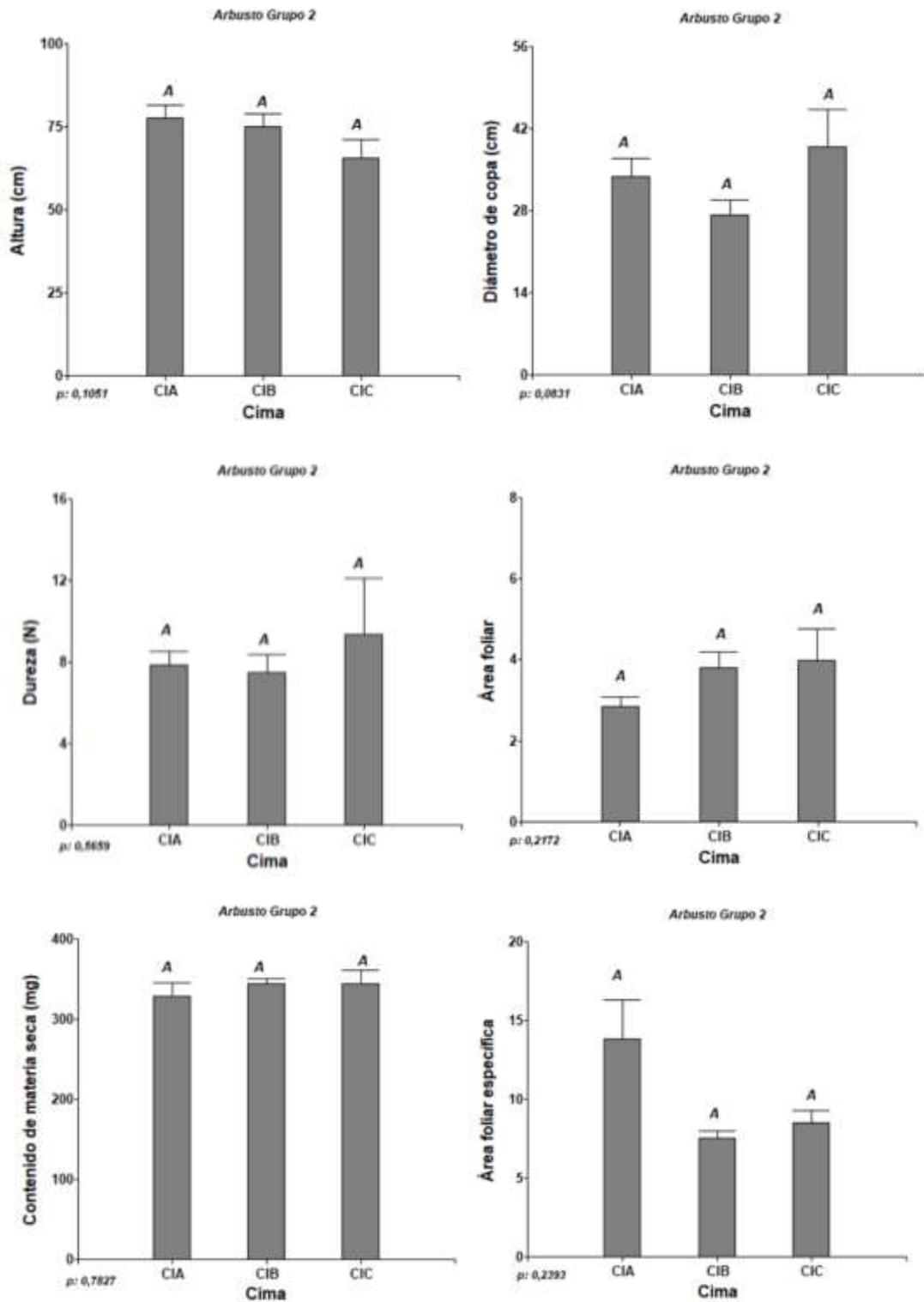


Figura 13. Grupo 2-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

Grupo 3

Dentro del grupo tres (*Hypericum lancoides*, *Disterigma pentandrum*, *Disterigma empetrifolium*, *Disterigma alaternoides*, *Arcytophyllum setosum*) se observó diferencias estadísticas para los rasgos de altura, diámetro de copa, área foliar, contenido de materia seca y área foliar específica. Los resultados no muestran una tendencia lineal de los rasgos, observándose un aumento de los rasgos desde la altitud de 3 270 m s.n.m., sin embargo, en la mayoría de los casos al aumentar en altitud a 3 400 m s.n.m. los valores de los rasgos tienden a disminuir.

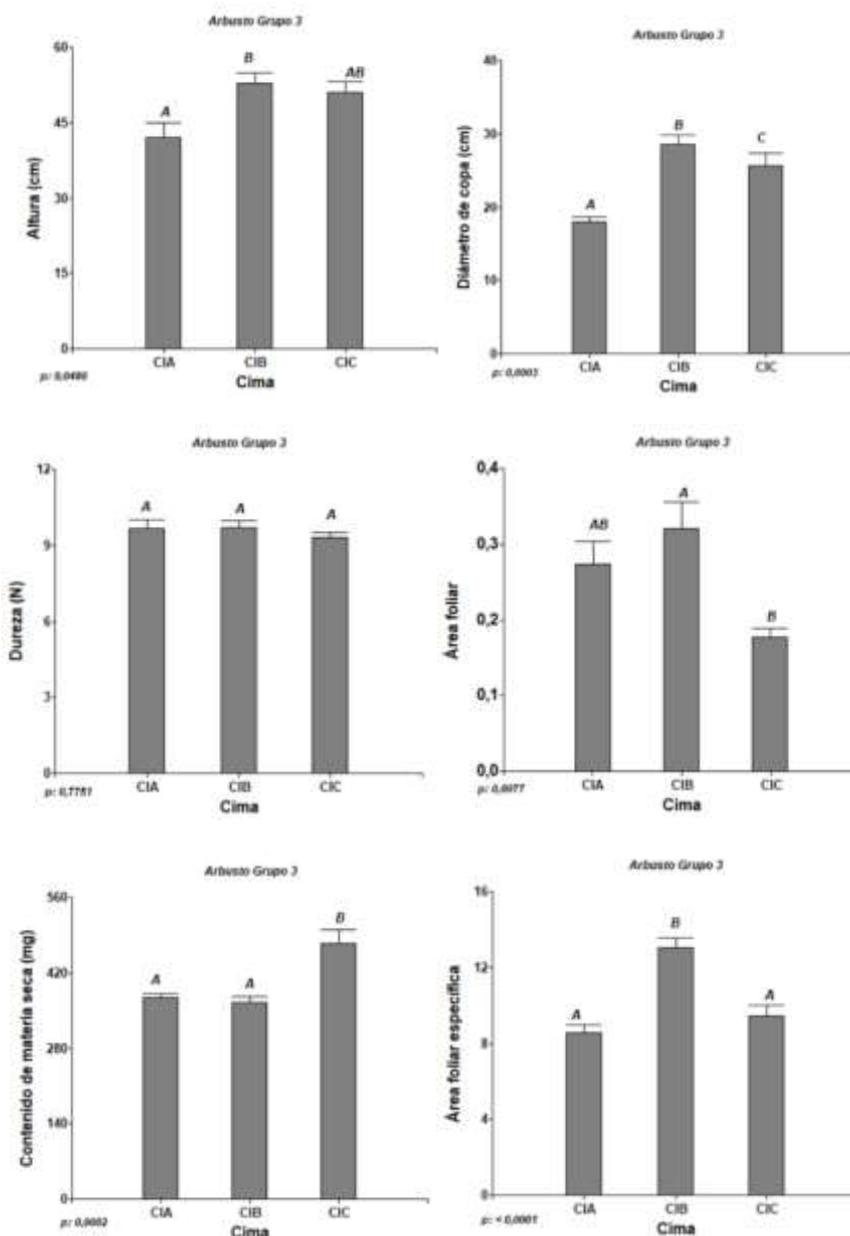


Figura 14. Grupo 3-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

Grupo 4

Con respecto al grupo cuatro (*Vaccinium floribundum*, *Pernettya próstata*, *Ilex myricoides*, *Escallonia myrtilloides*), se encontró diferencias estadísticas significativas a lo largo de la gradiente altitudinal solo para los rasgos: contenido de materia seca y área foliar específica, en el primer caso con un aumento conforme se avanza en altitud, mientras que en el segundo caso hay una disminución conforme se aumenta en altitud de las cimas.

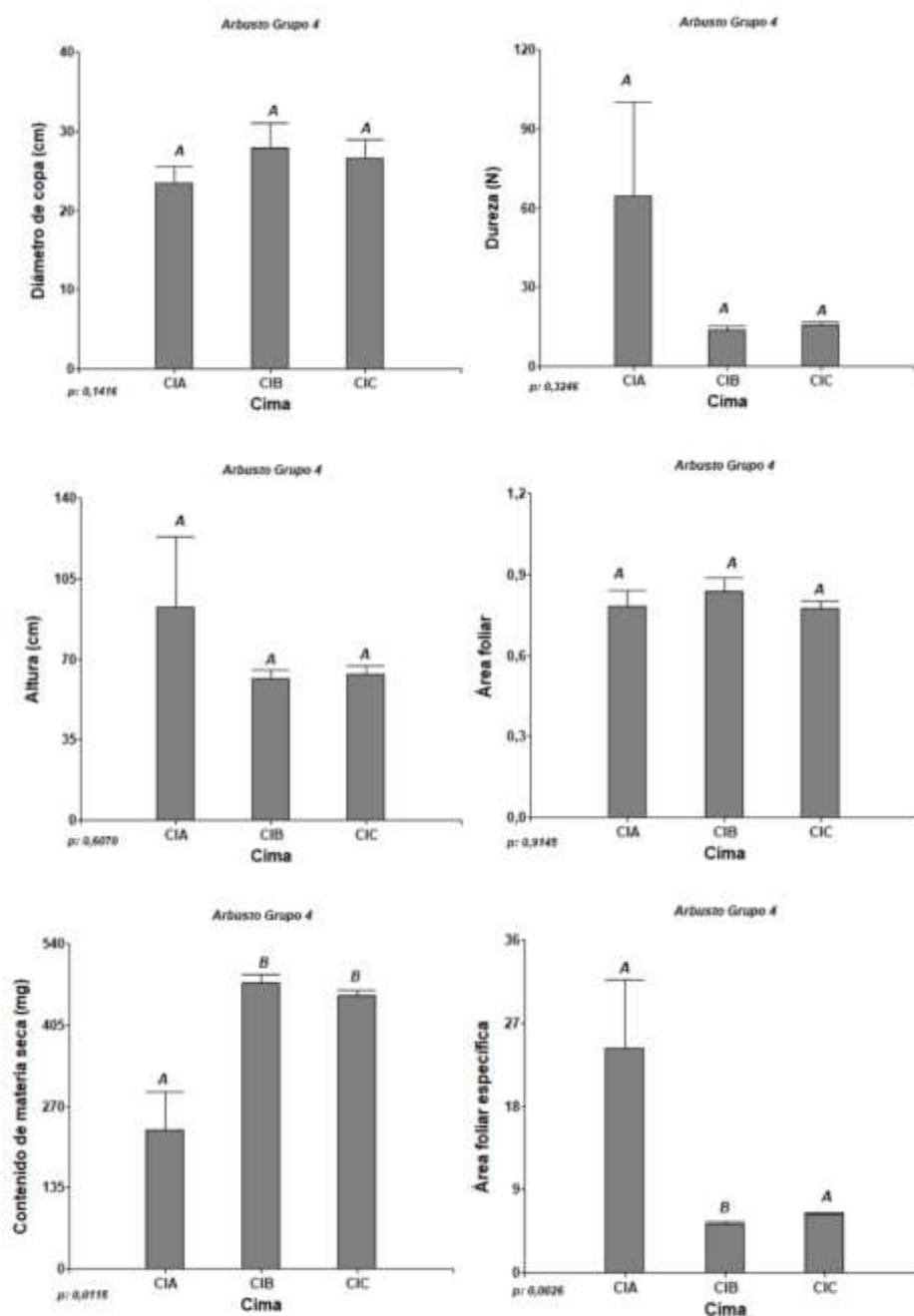


Figura 15. Grupo 4-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

Grupo 5

Para el grupo cinco (*Miconia dodsoni*, *Macleania rupestris*, *Gaultheria erecta*) se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto a la gradiente altitudinal para los rasgos de diámetro de copa y área foliar, en donde conforme se aumenta en altitud existe una disminución de dicho rasgo.

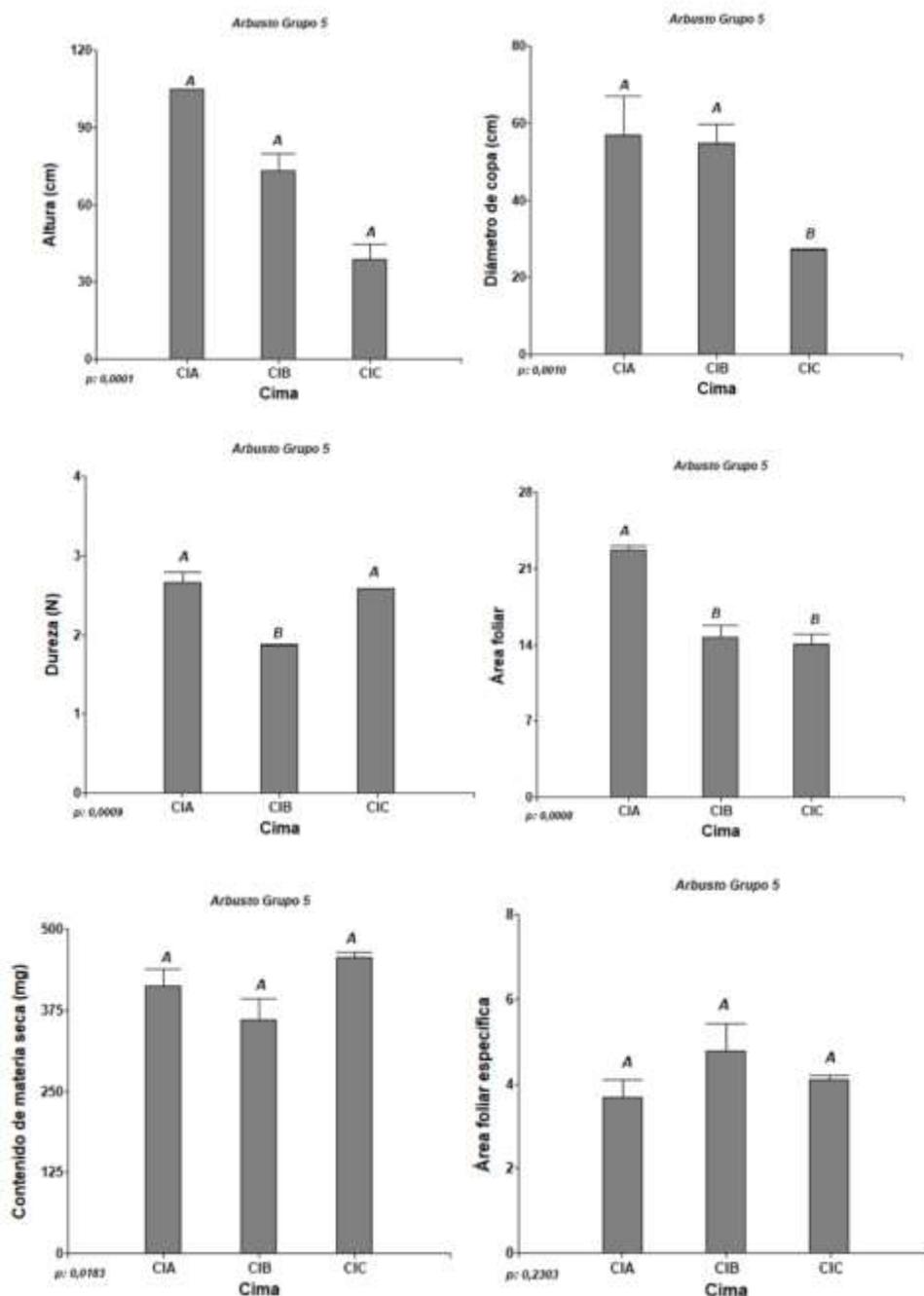


Figura 16. Grupo 5-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

6.1.1.2. Hierbas

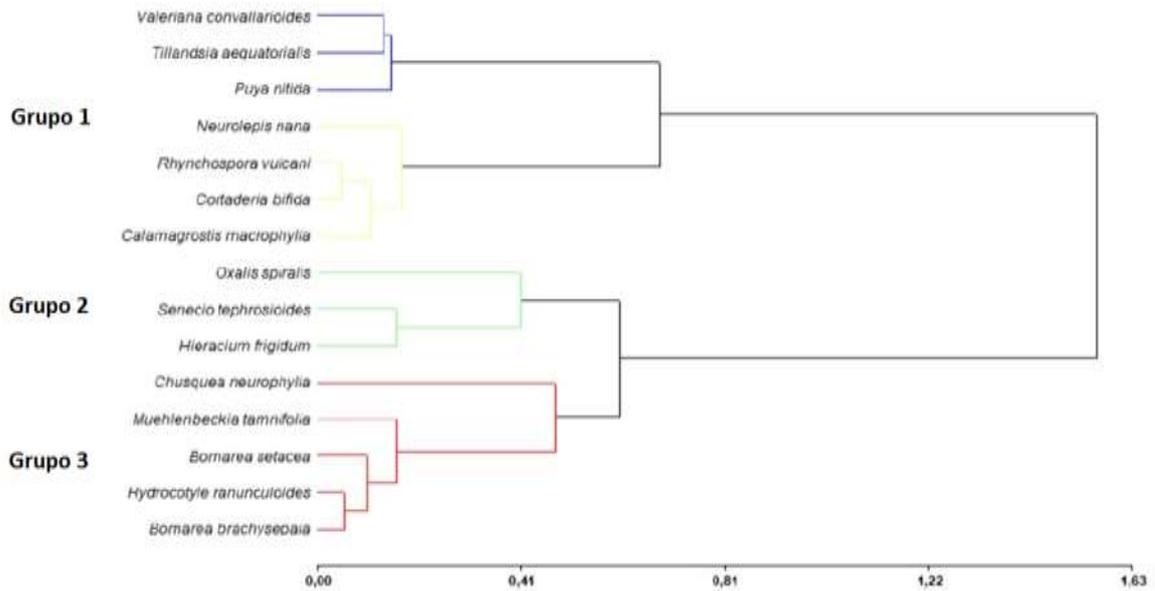
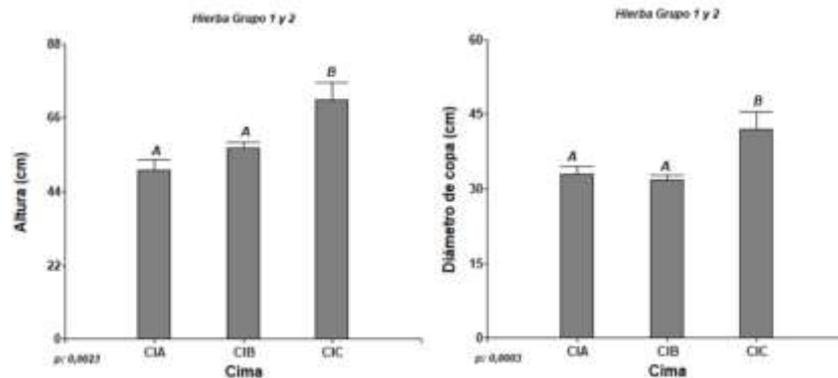


Figura 17. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de herbáceas de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray Curtis. Método de encadenamiento: Ward

Grupo 1

El grupo uno (*Valeriana convallarioides*, *Tillandsia aequatorialis*, *Puya nítida*, *Neurolepis nana*, *Rhynchospora vulcani*, *Cortaderia bifida*, *Calamagrostis macrophylla*) mostró un aumento en los rasgos de altura, diámetro de copa, contenido de materia seca y área foliar específica conforme existe un aumento de la altitud dentro del sitio de estudio.



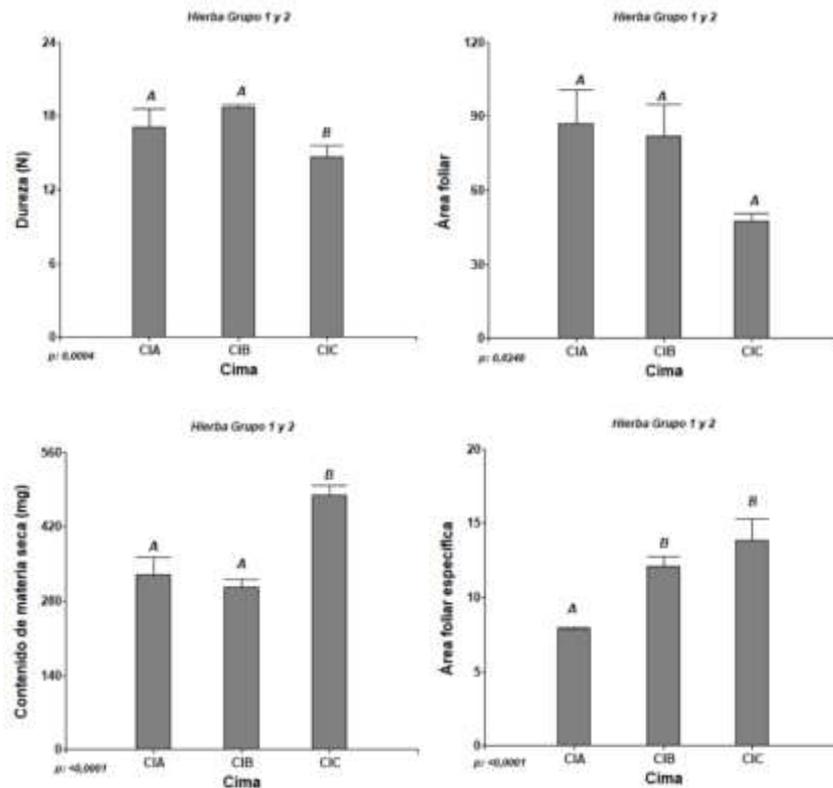
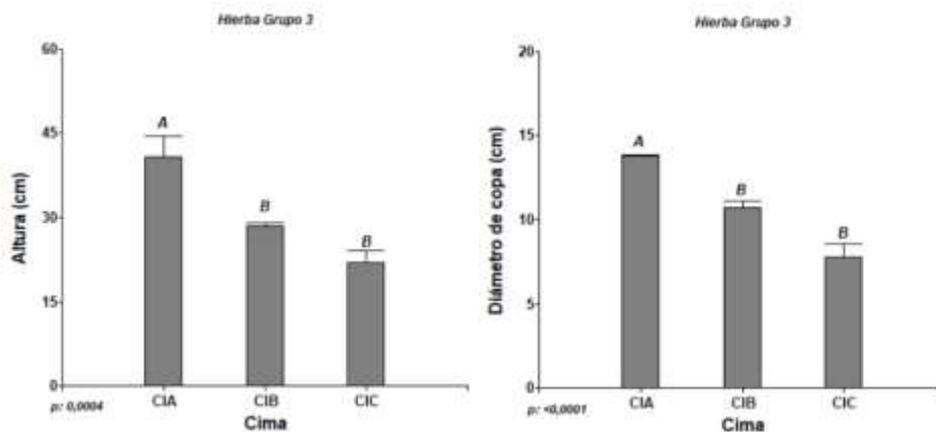


Figura 18. Grupo 1-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

Grupo 2

En el grupo dos de especies herbáceas (*Oxalis spiralis*, *Senecio tephrosioides*, *Hieracium frigidum*) se observa que conforme se aumenta la altitud existe una disminución de la altura y el diámetro de copa. Mientras que el área foliar no mostró una tendencia clara del efecto de la altitud.



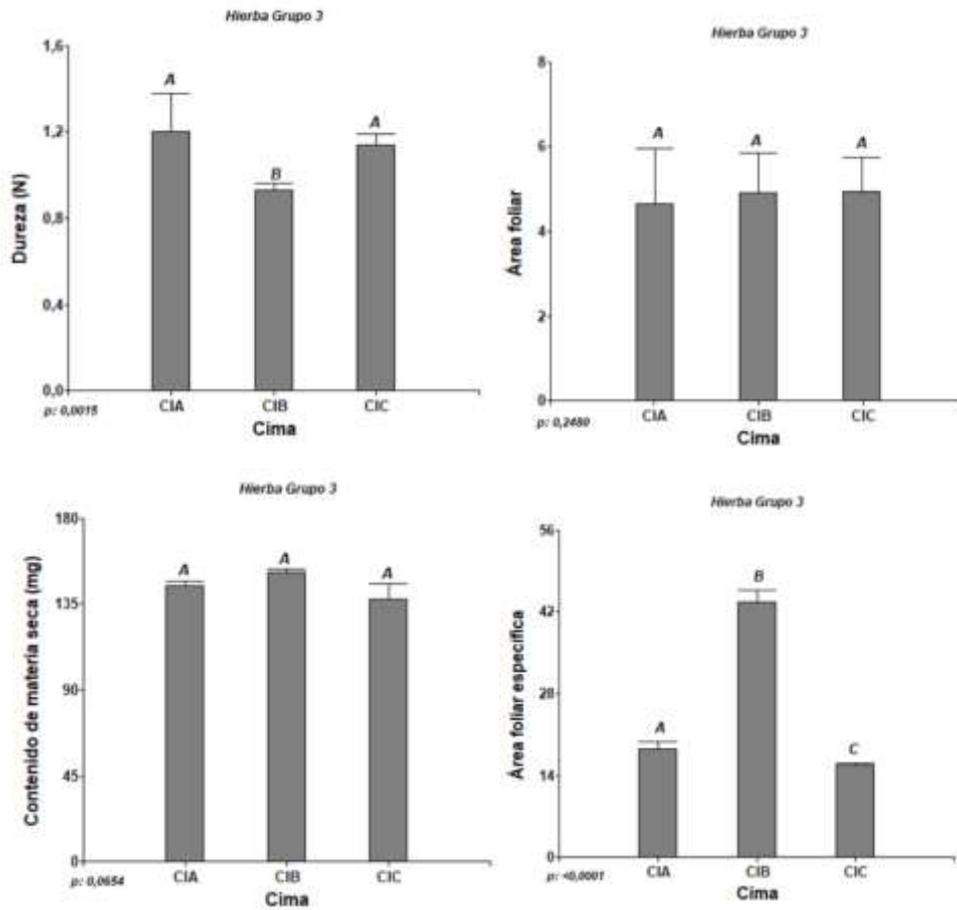
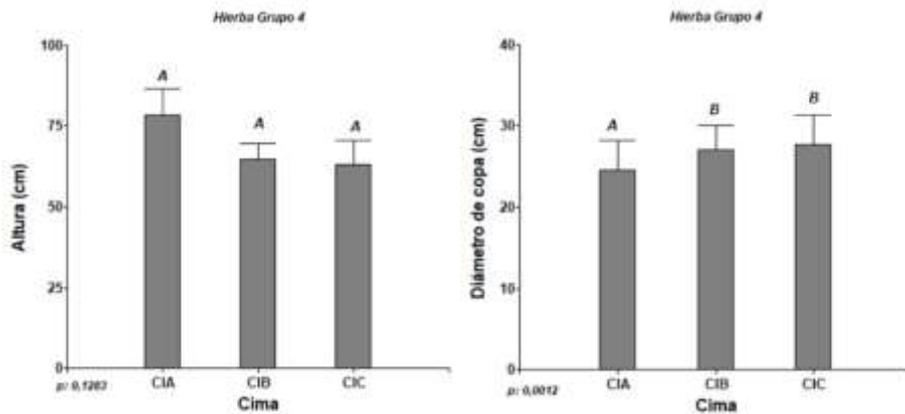


Figura 19: Grupo 2-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

Grupo 3

El grupo tres (*Chusquea neurophylla*, *Muehlenbeckia tamnifolia*, *Bomarea setacea*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Bomarea brachysepala*) no existe una clara variabilidad estadística, los rasgos se notan con poco cambio conforme el incremento en altitud.



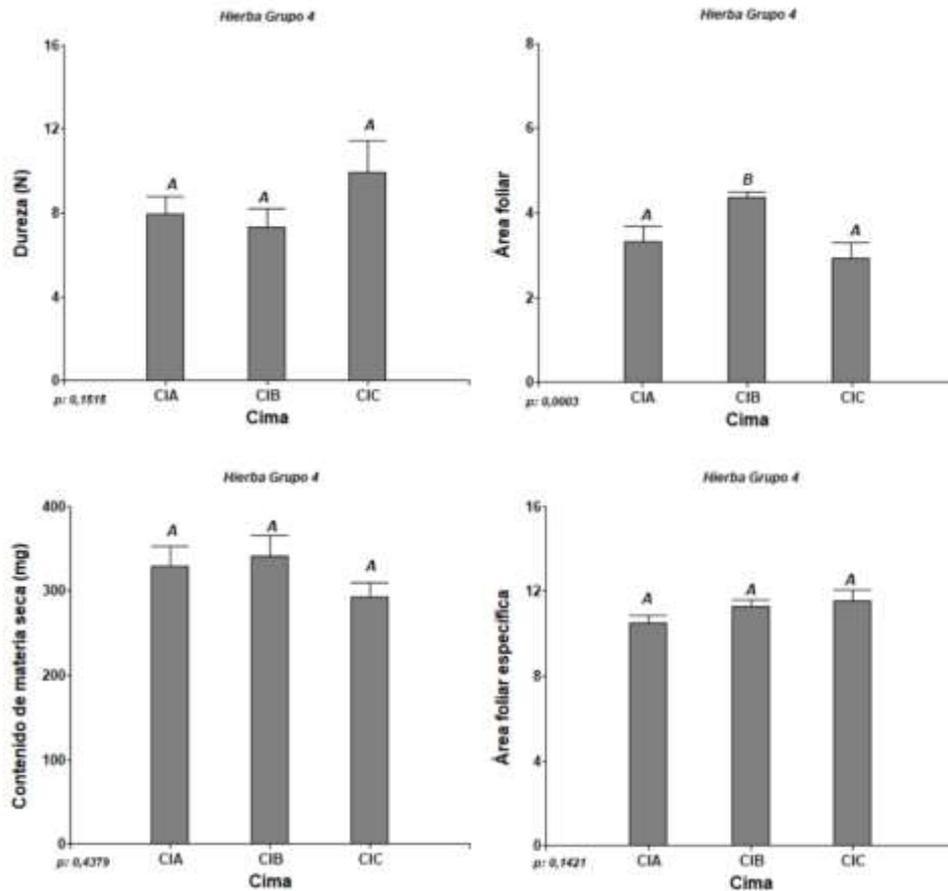


Figura 20. Grupo 3-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

6.1.1.3. Helechos

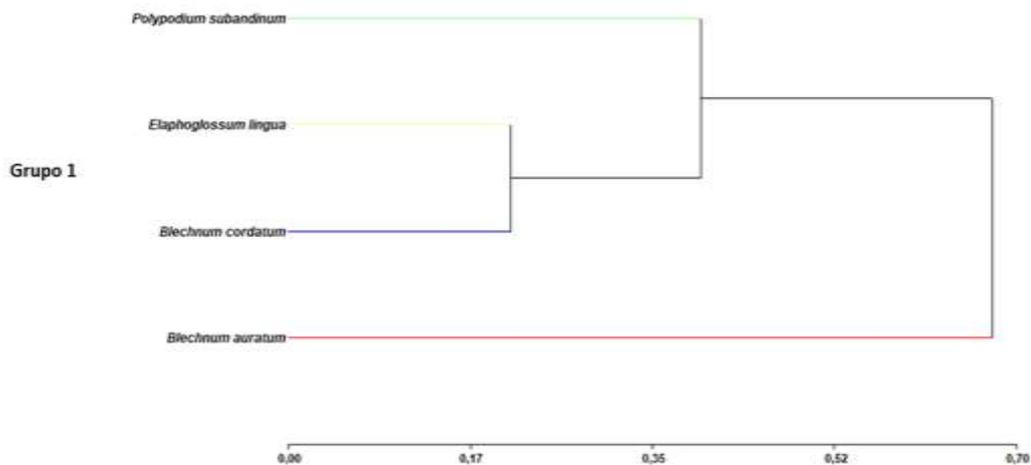


Figura 21. Grupos del Dendrograma de Similitud entre especies de helechos de páramo según la estrategia CSR de Grime. Distancia: Bray Curtis. Método de encadenamiento: Ward

- Grupo 1

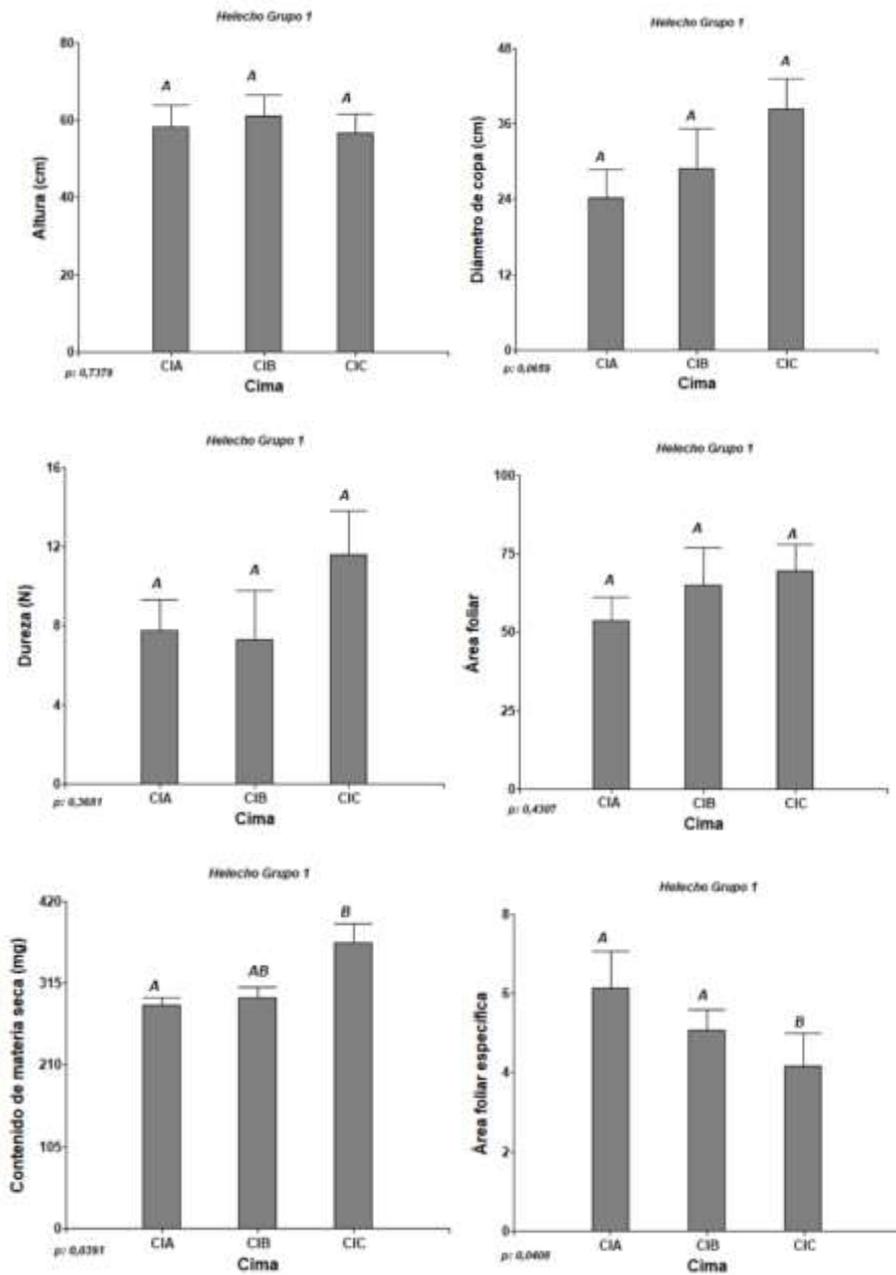


Figura 22. Grupo 1-Análisis de varianza por el método LSD de Fisher en los rasgos Altura (cm), Diámetro de copa (cm), Dureza (N), Área foliar (mm²), Área foliar específica (mm²/mg) y Contenido de materia seca (mg).

6.1.2. Rasgos Cualitativos

En el conjunto de 41 especies de páramo analizadas, un 4.8 % posee la presencia de espinas, mientras que un 17 % posee vellos en su estructura.

Tabla 2. Presencia y ausencia de los rasgos funcionales espinicencia y pubescencia en las 41 especies identificadas en la zona piloto del PNP

Rasgo	Presencia (%)	Ausencia (%)
Espinicencia	4.878	95.122
Pubescencia	17.073	82.927

La clasificación para los rasgos de síndrome de dispersión y hábito de crecimiento se presentan en las Tablas 3 y 4, a partir de las cuales se identificó los tipos de dispersión y hábito predominante en las especies analizadas.

Tabla 3. Síndrome de dispersión en la zona piloto del PNP

Rasgo	Clasificación	Cantidad	Porcentaje (%)
Síndrome de dispersión	Anemocoria	22 de 41	53.66
	Baricoria	29 de 41	70.73
	Zoocoria	17 de 41	41.46
	Hidrocoria	3 de 41	7.32

Tabla 4. Hábitos de crecimiento en la zona piloto del PNP

Rasgo	Clasificación	Cantidad	Porcentaje (%)
Hábito de crecimiento	Arbusto	21	51.22
	Helecho	2	4.87
	Hierba	15	36.58
	Liana	1	2.43
	Roseta basal	2	4.87

La filotaxis se presenta en la Tabla 5, distinguiéndose siete formas de disposición de las hojas.

Tabla 5. Filotaxis de 41 especies vegetales de la zona piloto del PNP

Rasgo	Clasificación	Cantidad	Porcentaje (%)
Filotaxis	Alterna	9	21.95
	Decusada	3	7.32
	Dística	1	2.44
	Helicoidal	10	24.39
	Imbricada	1	2.44
	Opuesta	2	4.88
	Verticilada	15	36.59

6.2. Análisis de la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

6.2.1. Análisis de diversidad funcional

En el análisis de ANOVA con la media ponderada de la comunidad (Figura 6) en los rasgos de altura, diámetro de copa, dureza, contenido de materia seca, área foliar y área foliar específica no hay una tendencia clara sobre la influencia de la gradiente altitudinal. No se encontraron diferencias estadísticas entre la media ponderada de la altura, dureza y contenido de materia seca, en el caso del diámetro de copa, el área foliar y el contenido de materia seca se encontró diferencias estadísticas siendo solo en el último caso una tendencia de aumentar la media ponderada con respecto al incremento en la gradiente altitudinal.

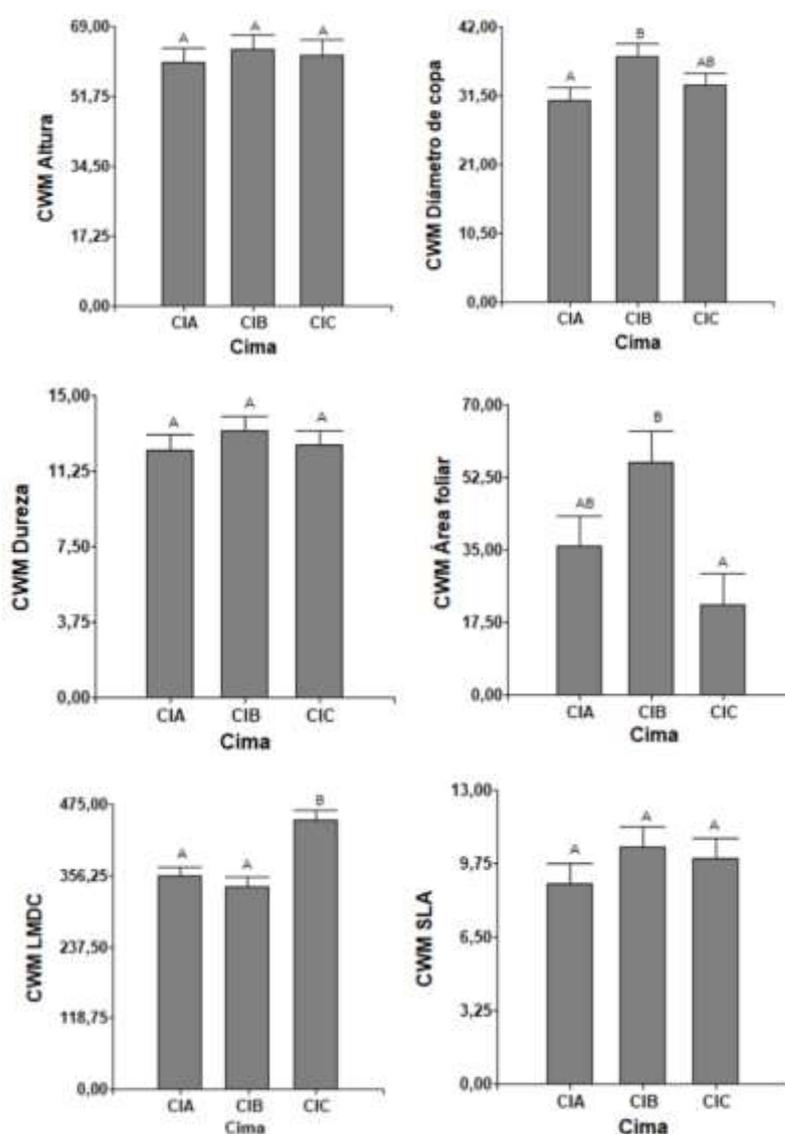


Figura 23. Análisis ANOVA para los valores de la media ponderada de la comunidad (CWM) en los rasgos cuantitativos Altura, Diámetro de copa, Dureza, Área foliar, Contenido de materia seca (LMDC) y Área foliar específica (SLA) de especies de páramo del PNP.

En el caso de las medidas de atributos funcionales (FAD1 y FAD2), se observó diferencias estadísticas, para estos atributos se identificó una tendencia a aumentar entre los 3 270 y 3 320 m s.n.m., pero conforme se avanza en la gradiente altitudinal a 3 400 m s.n.m. se muestra un decremento en dichos atributos funcionales. Finalmente, FDP (Diversidad funcional basada en dendrogramas) no mostró diferencias estadísticas a lo largo de la gradiente altitudinal.

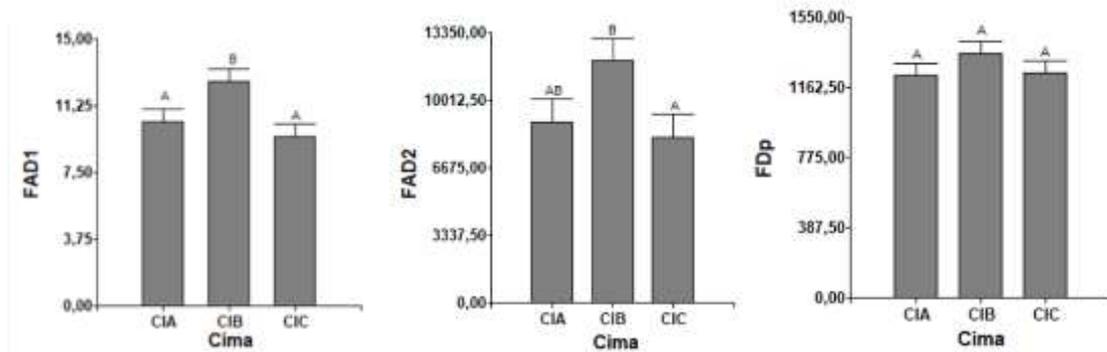


Figura 24. Análisis ANOVA para las medidas de diversidad de atributos funcionales FAD1, FAD2 y FDP.

7. Discusión

7.1. Evaluación de los cambios en los rasgos funcionales en las especies de páramo a lo largo de la gradiente altitudinal

El páramo del Parque Nacional Podocarpus, como ecosistema de alta-montaña, representa una zona importante de conservación por su riqueza endémica y papel en la generación de servicios ecosistémicos (Estupiñán, 2001). Esta área se encuentra amenazada por factores climáticos e influencia antrópica, lo que ha generado desaparición y desplazamiento de especies vegetales a estratos superiores de altura.

En el área de estudio, como parte de la zona piloto EC-PNP, está caracterizada por una considerable riqueza en especies vasculares, comprendiendo arbustos, hierbas, helechos, rastreras, entre otras. Esto se debe a la ubicación geográfica del PNP y a su tipo de ecosistema, que se caracteriza por una menor cantidad de especies herbáceas y abundancia de arbustivas de tamaño considerable (Hofstede et al., 2003)

En el estudio de rasgos funcionales para 41 especies de páramo identificadas en tres cimas de estudio CIA (3 270 m s.n.m.), CIB (3 320 m s.n.m.) y CIC (3 400 m s.n.m.) a lo largo de la gradiente altitudinal existe una tendencia de los rasgos a aumentar o decrecer en función del incremento en altitud dependiendo del rasgo. Li (2014), destaca que los espacios asociados a gradientes de elevación como plataformas ideales para estudiar las respuestas de las plantas a los cambios climáticos globales. Esto debido a que, a lo largo de estos gradientes, las plantas ajustarían sus rendimientos para adaptarse a las condiciones climáticas asociadas, lo que reflejaría las tendencias proyectadas del clima (Read et al., 2014). Proceso el cual es identificable por el estudio de rasgos funcionales y análisis de la variación de rasgos a distintas altitudes.

En el estudio de especies arbustivas se observó que el rasgo dureza es susceptible a variar ante la influencia de la gradiente altitudinal. Se destaca una relación positiva entre la dureza de las hojas de especies vegetales y la gradiente altitudinal, excepto por casos aislados y poco comunes donde esta relación no se cumple. Cogollo, Velasco y Manosalva (2020), destacan un conjunto de especies arbustivas (*Diplosterium rosmarinifolium*, *Myrsine dependens*, *Hypericum juniperinum*, *Gaiadendrom punctatum*) con una dureza superior a otras especies analizadas, atribuyendo dicho efecto a las hojas coriáceas, bajas tasas de crecimiento y requerimiento de nutrientes de las especies. En el caso de los arbustos analizados en el páramo del PNP, su crecimiento en altura es decreciente en función de la altitud, encontrando su pico en la cima B y por lo general tiende a decrecer en la cima C.

Esto podría sugerir una relación entre la altura de la planta y dureza de sus hojas, tendiendo estas a endurecerse ante la carencia de nutrientes generada por el incremento en altitud.

Cuesta (2019), menciona que, salvo algunas excepciones, las plantas leñosas tienden a evitar espacios con condiciones heladas, mientras que las especies herbáceas son considerablemente más tolerantes a espacios helados. Esto concuerda a la predominancia del componente herbáceo en base al incremento de la gradiente altitudinal y distantes ejemplares de helechos y arbustos en menor medida. Esto se evidencia en la tendencia de los arbustos analizados a no aumentar sus valores en ningún rasgo funcional a partir de la cima B (3 320 m s.n.m), donde tienden a igualar o decrecer en sus valores. Por su parte, las especies herbáceas analizadas presentan una variación casi imperceptible a nivel de las tres cimas de estudio, tendiendo a disminuir en tamaño o área foliar en función de la gradiente, pero sin ser un cambio considerable. Márquez (2006) sostiene que las especies herbáceas estudiadas en un rango altitudinal entre 2 500 y 4 200 m s.n.m toleran la congelación hasta temperaturas aproximadas a los -18 °C, mientras que especies de arbustos tienden a evitar este tipo de ambientes.

7.2. Análisis de la diversidad funcional a lo largo de la gradiente altitudinal del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

En base a la información conjunta del estudio de rasgos funcionales de las especies y los datos de abundancia de las subparcelas de 1 m², recopilada por Bermeo (2023), se observó que entre la cima CIA a CIB existe un incremento en el número de combinaciones de atributos posibles en dicha área e incremento de la distancia estandarizada entre las especies en el espacio de atributos. Bajo este contexto, en el área cimera CIB existe un mayor número de especies dominantes o abundancia de estas, Walker, Kinzig y Langridge (1999) mencionan que, las especies dominantes presentan un carácter de disimilitud en sus propiedades funcionales, es decir, el incremento en número de combinaciones y distancia entre especies está relacionado a un incremento en la abundancia de vegetación dominante. En la cima CIB, existe este incremento que desaparece conforme incrementa la altitud (cima CIC), donde debido al tipo de especies, las propiedades climáticas del páramo, la resistencia a cambios de temperatura de las especies genera un decrecimiento en especies dominantes y una correspondiente disminución de las medidas FAD. Por su parte, Sabogal y Quinteros (2013), identificaron una distribución de especies de páramo en dos ubicaciones, obteniendo que en el páramo de San Juan (3168 a 3227 m s.n.m.) existe predominancia de herbáceas con un 56,98 %, seguido de arbustos con 36,05 % y un 4,65 % de árboles. El segundo lugar, el páramo de Samanga (3207 y los 3356 m s.n.m.), posee valores de 58,21 % para herbáceas,

34,33 % para arbustos y 4,65 % para árboles. En este caso el ecosistema páramo tienen una predominancia del componente herbáceo, especialmente a alturas por encima de los 3100 m s.n.m., donde las condiciones medioambientales generan una barrera que impide la predominancia de arbustos, tal y como menciona Márquez (2006).

Las variables ambientales dentro de los ecosistemas afectan directamente la diversidad funcional, no únicamente alterando su diversidad de especies, divergencia o abundancia, sino que están involucrados en la distribución de los rasgos funcionales (Petchey & Gaston, 2006). La CWM presenta una tendencia a aumentar en las primeras dos cimas y decrecer al llegar a la tercera cima en función de la gradiente altitudinal, a excepción del contenido de materia seca, donde este valor aumenta al llegar a mayores altitudes (cima C). Tirado (2018), menciona en su estudio comparativo de diversidad funcional en gradientes altitudinales en el páramo de la cordillera Oriental Colombiana que parámetros de altitud, temperatura y precipitación afectan al desarrollo de las especies, influenciando así la diversidad funcional. Esta tendencia es observable en gran medida por el efecto que este tiene en los rasgos funcionales y su influencia en la distribución y comportamiento de las especies. Tirado (2018) también menciona que rasgos funcionales como la altura, ancho, la desviación estándar del área foliar de la planta, presencia en ella de estructuras de protección frente a cambios ambientales (vilosidades y pilosidades) y la presencia y tipo de flor son los que mayor influencia generan sobre la distribución y comportamiento de la diversidad funcional, rasgos asociados a la adaptación, estrategias como pueden ser la CSR donde especies como las ruderales se enfocan únicamente en generar medios de propagación, etc.

8. Conclusiones

- En base al análisis de 41 especies de páramo y su estudio en la zona piloto del PNP, se encontró cambios en rasgos funcionales como: altura, diámetro de copa, dureza, contenido de materia seca, área foliar y área foliar específica, conforme incrementaba la gradiente altitudinal.
- En la altitud de 3 320 m s.n.m., pertenecientes a la CIB se obtiene valores con relación creciente o decreciente con las otras dos cimas, pero, como casos excepcionales, la CIB tiende a superar a las otras dos cimas en relación a los análisis de varianza, esto puede deberse a la condición de ecotono o zona de transición que existe en la cima CIB, al encontrarse en medio de la CIA (con cercanía a especies arbóreas) y la CIC (correspondiente a un páramo pajonal con menor presencia de arbustos).
- La variación de los componentes de diversidad funcional (CWM, FAD1 y FAD2, FDp) demuestran que a nivel comunidad las especies tienden a ser más abundantes en la cima B, específicamente en rasgos como área foliar, área foliar específica y diámetro de copa. Esto puede deberse a una considerable predominancia del componente arbustivo dentro de las especies analizadas y la influencia de la gradiente altitudinal.

9. Recomendaciones

- Para futuros trabajos similares en la zona piloto del Parque Nacional Podocarpus, se recomienda continuar trabajando con la metodología para la colecta de muestras vegetales propuesta por Cornelissen, a no ser que se pueda actualizar o adoptar una nueva metodología que integre o asocie nuevos métodos o prácticas que ayuden en este tipo de análisis.
- Integrar un mayor número de rasgos funcionales, permitiendo abordar más a fondo el estado de las especies vegetales y poder evaluar el estado del ecosistema a través de estos resultados.

10. Bibliografía

- Aguirre, W. E., Alvarez-Mieles, G., Anaguano-Yancha, F., Burgos Morán, R., Cucalón, R. V., Escobar-Camacho, D., Jácome-Negrete, I., Jiménez Prado, P., Laaz, E., Miranda-Troya, K., Navarrete-Amaya, R., Nugra Salazar, F., Revelo, W., Rivadeneira, J. F., Valdiviezo Rivera, J., & Zárate Hugo, E. (2021). Conservation threats and future prospects for the freshwater fishes of Ecuador: A hotspot of Neotropical fish diversity. In *Journal of Fish Biology* (Vol. 99, Issue 4). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jfb.14844>
- Alarcón, J., Andrade, G., Arango, G., & Barbosa, C. (2002). *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot & Global Climatic Tensor*.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yané, S., Romoleroux, Katya, Ortiz, E., Cárdenas, A., & Velástegui, A. (2009). *Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador* (EcoCiencia). Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA.
- Bermeo, J. S. (2023). *Estudio de la dinámica del ecosistema páramo a lo largo de la gradiente altitudinal, en el Parque Nacional Podocarpus, provincia de Loja, Ecuador*. Universidad nacional de Loja.
- Camacho, M. (2013). *Los páramos Ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible*.
- CATIE. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*.
- Cogollo Calderón, A. M., Velasco Linares, P., & Manosalva, L. (2020). Functional characterization of plants and their utility in the selection of species for the ecological restoration of high Andean ecosystems. *Biota Colombiana*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.21068/c2020.v21n01a01>
- Córdova-Tapia, F., & Zambrano, L. (2015, December 22). Functional diversity in community ecology. *Revista Ecosistemas*, 24(3), 78–87. <https://doi.org/10.7818/ecos.2015.24-3.10>
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Ter Steege, H., Morgan, H. D., Van Der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. In *Australian Journal of Botany* (Vol. 51, Issue 4, pp. 335–380). <https://doi.org/10.1071/BT02124>

- Cornwell, W. K., & Ackerly, D. D. (2009). Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California. *Ecological Monographs*, 79(1), 109–126.
- Cuesta, F., Llambí, L. D., Huggel, C., Drenkhan, F., Gosling, W. D., Muriel, P., Jaramillo, R., & Tovar, C. (2019). New land in the Neotropics: a review of biotic community, ecosystem, and landscape transformations in the face of climate and glacier change. In *Regional Environmental Change* (Vol. 19, Issue 6, pp. 1623–1642). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01499-3>
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L., De Bièvre, B., Posner, J., & Editores. (2014). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos* (F. J. L. B. B. J. Cuesta, Ed.). CONDESAN.
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L., De Bièvre, B., Posner, J., & Editores. (2018). *Evaluando caracteres funcionales de plantas en páramo y su relación con factores climáticos*.
- Eguiguren, P., Ojeda, T., & Aguirre, N. (2010). *Diversidad Florística del ecosistema paramo del Parque Nacional Podocarpus para el monitoreo del Cambio Climático*. <https://www.researchgate.net/publication/263697988>
- Estupiñán, L. (2001). Los páramos, ecosistemas para conservar. *Revista Agronómica*, 7–12.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. UICN. www.uicn.org/sur
- Hofstede, Robert., Segarra, Pool., & Mena V., P. (2003). *Los páramos del mundo*. UICN.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Isch, E. (2012). *El cambio climático y la gestión de páramos*. CAMAREN/ AVSF, Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras. www.camaren.org
- IUCN. (2022). *The IUCN Species Survival Commission 2000 IUCN Red List of Threatened Species Compiled by The World Conservation Union Species TM*. <http://www.redlist.org>.
- Lavorel, S., Grigulis, K., McIntyre, S., Williams, N. S. G., Garden, D., Dorrough, J., Berman, S., Quéfier, F., Thébault, A., & Bonis, A. (2008). Assessing functional

- diversity in the field - Methodology matters! *Functional Ecology*, 22(1), 134–147.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01339.x>
- Li, F., & Bao, W. (2014). Elevational trends in leaf size of *Campylotropis polyantha* in the arid Minjiang River valley, SW China. *Journal of Arid Environments*, 108, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.04.011>
- Lohbeck, M., Poorter, L., Paz, H., Pla, L., van Breugel, M., Martínez-Ramos, M., & Bongers, F. (2012). Functional diversity changes during tropical forest succession. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 14(2), 89–96.
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.10.002>
- MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natura.
- Márquez, E. J., Rada, F., & Fariñas, M. R. (2006). Freezing tolerance in grasses along an altitudinal gradient in the Venezuelan Andes. *Oecologia*, 150(3), 393–397.
<https://doi.org/10.1007/s00442-006-0556-3>
- Mason, N., Mouillot, D., Lee, W. G., & Bastow, W. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *OIKOS*, 111, 112–118.
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(4), 178–185.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>
- Mínga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas*. Universidad Nacional del Azuay. Imprenta Don Bosco-Centro Gráfico Salesiano. Cuenca.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *NATURE* |, 403.
www.nature.com
- Nock, C. A., Vogt, R. J., & Beisner, B. E. (2016). Functional Traits. In *eLS* (pp. 1–8). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026282>
- Pauli, H., Gottfried, M., Rumpf, S. B., & Winkler, M. (2015). *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Método básico, complementarios y adicionales*. (J. L. Benito & L. Villar, Eds.; 5ª edición). GLORIA-Coordinación, Academia Austriaca de Ciencias y Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida, Viena, Austria. . <https://doi.org/10.2777/37575>

- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: Back to basics and looking forward. In *Ecology Letters* (Vol. 9, Issue 6, pp. 741–758).
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
- Pierce, S., Negreiros, D., Cerabolini, B. E. L., Kattge, J., Díaz, S., Kleyer, M., Shipley, B., Wright, S. J., Soudzilovskaia, N. A., Onipchenko, V. G., van Bodegom, P. M., Frenette-Dussault, C., Weiher, E., Pinho, B. X., Cornelissen, J. H. C., Grime, J. P., Thompson, K., Hunt, R., Wilson, P. J., ... Tampucci, D. (2017). A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. *Functional Ecology*, 31(2), 444–457. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12722>
- Read, Q. D., Moorhead, L. C., Swenson, N. G., Bailey, J. K., & Sanders, N. J. (2014). Convergent effects of elevation on functional leaf traits within and among species. *Functional Ecology*, 28(1), 37–45. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12162>
- Ron, S., Merino-Viteri, A., & Ortiz, D. A. (2022). *Anfibios del Ecuador*.
<https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb>
- Sabogal, A., & Quinteros, Y. (2013). Diversidad vegetal y uso antrópico de los páramos de Samanga (sectores Espíndola y El Toldo) y San Juan de Cachiaco (Caseríos San Juan y Totorá), Ayabaca, Piura. *Ecología Aplicada*, 12(1), 9–17.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34129467002>
- Salgado, B., Gonzalez, M., Tenorio, E., Montoya, P., & Arenas, H. (2015). *Proyecto: insumos técnicos para la delimitación de ecosistemas estratégicos priorizados (páramos y humedales) - DOCUMENTO DE PROTOCOLO Y MAPA DE DIVERSIDAD FUNCIONAL*.
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur del Ecuador: historia y tendencias. In N. Aguirre, T. Ojeda-Luna, P. Eguiguren, & Z. Aguirre-Mendoza (Eds.), *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador: Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos* (pp. 43–62). Universidad nacional de Loja.
- Sierra, Rodrigo., Campos, Felipe., & Chamberlin, Jordan. (1999). *Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador Continental*. FLACSO.
- Tirado, S. (2018). *Desarrollo de un análisis comparativo de la diversidad funcional de las plantas en gradientes altitudinales de zonas de páramo de la cordillera Oriental Colombiana*. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

- Tirira, Diego. G., Brito, J., Burneo, S. F., Carrera-Estupiñán, J. P., & Comisión de Diversidad de la AEM. (2022). *Mamíferos del Ecuador: lista oficial actualizada de especies / Mammals of Ecuador: official updated species checklist. Versión 2022.1*. Asociación Ecuatoriana de Mastozoología. <http://aem.mamiferosdeecuador.com>
- Torres-Carvajal, O., Pazmiño-Otamendi, G., Ayala-Varela, F., & Salazar-Valenzuela, D. (2022). *Reptiles del Ecuador. Version 2022.0*. <https://bioweb.bio/>
- Trujillo, W. (2017). *Rasgos funcionales de palmas y su relación con variables ambientales locales en la Amazonía Colombiana*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38740/TrujilloCalderonWilliamFernando2017.pdf?sequence=1>
- Villéger, S., Mason, N., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290–2301.
- Walker, B., Kinzig, A., & Langridge, J. (1999). Plant Attribute Diversity, Resilience, and Ecosystem Function: The Nature and Significance of Dominant and Minor Species. In *Ecosystems* (Vol. 2). Springer-Verlag.

Anexo 3: Rasgos cualitativos y parámetros ecológicos

#	Familia	Especie	Habito	Endemismo	Filotaxis	Pubescencia	Espinicencia	Síndrome de dispersión
1	Asteraceae	<i>Ageratina cutervensis</i> (Hieron) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	Nativa	Decusada	No	No	A
2	Rubiaceae	<i>Arcytophyllum setosum</i> (Ruiz & Pav.) Schltdl.	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	A/Z
3	Blechnaceae	<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze	Helecho	Nativa	Verticilada	Si	No	A/B
4	Blechnaceae	<i>Blechnum cordatum</i> (Desv.) Hieron.	Helecho	Nativa	Dística	No	No	A/H
5	Alstromeliaceae	<i>Bomarea brachysepala</i> Benth	Hierba	Endémica	Helicoidal	No	No	B/Z
6	Alstromeliaceae	<i>Bomarea setacea</i> (Ruiz & Pav.) Herb	Hierba	Nativa	Helicoidal	No	No	B
7	Poaceae	<i>Calamagrostis macrophylla</i> (Pilg.) Pilg.	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A/B
8	Calceolareaceae	<i>Calceolaria fusca</i> Pennell	Arbusto	Nativa	Verticilada	Si	No	A/B/H
9	Poaceae	<i>Chusquea neurophylla</i> L.G. Clark	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A/B
10	Poaceae	<i>Cortaderia bifida</i> Pilg.	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A/B
11	Primulaceae	<i>Cybianthus marginatus</i> (Benth.) Pipoly	Arbusto	Nativa	Verticilada	No	No	B/Z
12	Ericaceae	<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	B/Z
13	Ericaceae	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude	Arbusto	Nativa	Verticilada	No	No	B/Z
14	Ericaceae	<i>Disterigma pentandrum</i> S.F. Blake	Arbusto	Nativa	Decusada	No	No	B/Z
15	Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum lingua</i> (C. Presl) Brack	Helecho	Nativa	Alternata	No	No	A/B
16	Grossulariaceae	<i>Escallonia myrtilloides</i> L.f.	Arbusto	Nativa	Verticilada	No	No	A/B
17	Ericaceae	<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	Arbusto	Nativa	Alternata	No	No	B/Z
18	Ericaceae	<i>Gaultheria strigosa</i> Benth.	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	A
19	Asteraceae	<i>Gynoxys cuicochensis</i> Cuatrec.	Arbusto	Endémica	Opuesta	Si	No	A/B
20	Asteraceae	<i>Hieracium frigidum</i> Wedd.	Hierba	Nativa	Verticilada	Si	No	A/Z
21	Araliaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.	Hierba	Nativa	Decusada	Si	No	H
22	Hypericaceae	<i>Hypericum lancioides</i> Cuatrec.	Arbusto	Nativa	Imbricada	No	No	A/B
23	Aquifoliaceae	<i>Ilex myricoides</i> Kunth	Arbusto	Nativa	Alternata	No	No	B/Z
24	Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	Nativa	Alternata	No	No	B/Z
25	Melastomataceae	<i>Miconia dodsonii</i> Wurdack	Arbusto	Nativa	Helicoidal	Si	No	B

26	Melastomataceae	<i>Miconia ligustrina</i> (Sm.) Triana	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	B
27	Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	Hierba	Nativa	Alternata	No	No	B/Z
28	Poaceae	<i>Neurolepis nana</i> L.G. Clark	Hierba	Endémica	Verticilada	No	No	A/B
29	Oxalidaceae	<i>Oxalis spiralis</i> Ruiz & Pav. Ex G. Don	Hierba	Nativa	Helicoidal	No	No	B
30	Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC	Arbusto	Nativa	Alternata	No	No	B/Z
31	Polypodiaceae	<i>Polypodium subandinum</i> Sod.	Helecho	Nativa	Verticilada	No	No	A
32	Bromeliaceae	<i>Puya nítida</i> Mez.	Hierba	Nativa	Verticilada	No	Si	A/B
33	Cyperaceae	<i>Rhynchospora vulcani</i> Boeck.	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A
34	Rosaceae	<i>Rubus laegaardii</i> Romoleroux	Arbusto	Endémica	Alternata	Si	Si	B/Z
35	Asteraceae	<i>Senecio tephrosioides</i> Turcz.	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A/Z
36	Ericaceae	<i>Themistoclesia epiphytica</i> A.C.Sm	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	B/Z
37	Bromeliaceae	<i>Tillandsia aequatorialis</i> L.B. Sm.	Hierba	Endémica	Alternata	No	No	A
38	Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Arbusto	Nativa	Helicoidal	No	No	B/Z
39	Caprifoliaceae	<i>Valeriana convallarioides</i> (Schmale) B.B. Larsen	Hierba	Nativa	Verticilada	No	No	A
40	Caprifoliaceae	<i>Valeriana microphylla</i> Kunth	Arbusto	Nativa	Alternata	No	No	A
41	Cunnoniaceae	<i>Weinmania fagaroides</i> Kunth	Arbusto	Nativa	Opuesta	No	No	B/Z

A=anemocoria, B=baricoria, H=hidrocoria, Z=zoocoria

Anexo 4: Base de datos de la media ponderada de la comunidad generada por el software Fdiversity

Cima	Parcela	CWM.Media_LA	CWM.Media_SLA	CWM.Media_LM DC	CWM.Media_Dureza	CWM.Media_H	CWM.D. Copa
CIA	CIA_E_11	4,20	6,65	425,47	9,03	26,60	25,83
CIA	CIA_E_13	4,68	6,77	444,72	9,92	28,81	27,49
CIA	CIA_E_31	4,59	6,84	395,42	9,12	25,52	24,95
CIA	CIA_E_33	10,05	7,69	556,21	13,09	43,35	39,64
CIA	CIA_N_11	24,26	7,38	353,70	12,57	56,48	22,28
CIA	CIA_N_21	26,55	11,46	313,97	11,27	58,36	24,48
CIA	CIA_N_23	26,10	8,34	338,72	14,12	58,51	27,24
CIA	CIA_N_33	35,75	8,94	324,16	12,44	55,51	25,91
CIA	CIA_S_11	54,35	8,23	333,27	13,91	82,48	35,67
CIA	CIA_S_13	63,77	6,10	331,87	15,09	85,68	40,32
CIA	CIA_S_31	36,00	8,13	369,31	12,14	80,94	30,65
CIA	CIA_S_33	6,23	25,24	243,96	7,60	69,45	25,41
CIA	CIA_W_11	99,92	8,39	289,23	17,70	63,54	30,14
CIA	CIA_W_13	59,33	4,92	315,19	12,13	85,87	47,71
CIA	CIA_W_31	69,79	8,65	316,72	14,60	70,65	30,52
CIA	CIA_W_33	47,35	8,04	324,30	12,22	68,00	34,78
CIB	CIB_E_11	37,43	10,64	449,84	9,92	58,68	42,36
CIB	CIB_E_13	105,61	10,93	299,10	16,39	54,53	32,02
CIB	CIB_E_31	89,52	11,97	298,96	16,46	55,32	30,57
CIB	CIB_E_33	126,29	10,13	258,15	16,43	56,22	32,69
CIB	CIB_N_11	60,88	11,74	278,49	10,28	62,05	42,27
CIB	CIB_N_21	87,26	10,32	297,48	13,74	59,36	33,62
CIB	CIB_N_23	47,40	8,39	366,46	10,46	72,08	38,09
CIB	CIB_N_33	9,16	12,14	366,27	11,47	59,78	35,47
CIB	CIB_S_11	18,67	14,10	373,79	14,64	55,84	31,91

CIB	CIB_S_13	13,81	12,66	366,53	13,50	58,53	33,83
CIB	CIB_S_31	6,74	11,84	359,52	9,03	66,23	35,60
CIB	CIB_S_33	15,17	13,55	356,67	15,56	52,07	32,04
CIB	CIB_W_11	103,37	4,61	367,31	17,79	82,97	56,25
CIB	CIB_W_13	62,48	7,17	368,48	12,93	71,51	44,63
CIB	CIB_W_31	54,23	7,85	290,27	10,65	76,56	42,33
CIB	CIB_W_33	62,13	9,86	315,22	12,63	69,68	37,20
CIC	CIC_E_11	18,24	9,16	459,72	15,83	40,95	15,02
CIC	CIC_E_13	33,20	18,05	462,23	14,93	53,75	31,96
CIC	CIC_E_31	12,41	7,20	483,05	18,23	44,29	13,45
CIC	CIC_E_33	28,48	15,57	462,71	13,03	59,62	31,20
CIC	CIC_N_11	11,63	9,78	397,41	10,25	64,90	31,10
CIC	CIC_N_21	60,24	7,60	448,37	14,54	75,20	46,12
CIC	CIC_N_23	33,48	9,12	417,35	12,61	70,74	37,31
CIC	CIC_N_33	52,92	7,20	435,16	13,95	72,13	42,55
CIC	CIC_S_11	3,41	12,08	577,02	9,33	43,32	28,49
CIC	CIC_S_13	1,36	5,80	373,04	2,55	49,21	35,93
CIC	CIC_S_31	14,99	7,46	416,88	10,32	61,11	31,22
CIC	CIC_S_33	8,83	13,34	599,16	10,74	52,81	35,07
CIC	CIC_W_11	3,89	10,63	394,94	12,85	75,80	36,38
CIC	CIC_W_13	20,23	9,66	422,40	14,31	79,87	40,88
CIC	CIC_W_31	37,21	9,03	410,30	15,90	80,65	43,41
CIC	CIC_W_33	8,95	7,78	421,43	11,06	65,73	29,39

Anexo 5: Base de datos de los índices FAD1, FAD2 y FDp

Cima	Parcela	FAD1	FAD2	FDp
CIA	CIA_E_11	4,00	1372,92	827,16
CIA	CIA_E_13	5,00	1929,08	894,65
CIA	CIA_E_31	6,00	4371,89	1463,24
CIA	CIA_E_33	6,00	3585,94	1076,93
CIA	CIA_N_11	14,00	12480,67	1253,16
CIA	CIA_N_21	14,00	14004,16	1593,36
CIA	CIA_N_23	13,00	12039,91	1391,25
CIA	CIA_N_33	14,00	14472,69	1364,12
CIA	CIA_S_11	11,00	9848,95	1417,16
CIA	CIA_S_13	10,00	6893,15	1037,28
CIA	CIA_S_31	10,00	6872,28	993,96
CIA	CIA_S_33	10,00	10464,79	1477,02
CIA	CIA_W_11	12,00	10158,27	1157,96
CIA	CIA_W_13	11,00	8051,13	1093,43
CIA	CIA_W_31	16,00	20803,50	1669,41
CIA	CIA_W_33	9,00	5725,93	959,00
CIB	CIB_E_11	10,00	9332,23	1365,95
CIB	CIB_E_13	9,00	7266,10	1254,71
CIB	CIB_E_31	11,00	8182,59	1288,93
CIB	CIB_E_33	9,00	7605,01	1326,68
CIB	CIB_N_11	15,00	16582,99	1486,63
CIB	CIB_N_21	13,00	12049,42	1530,14
CIB	CIB_N_23	11,00	9985,63	1403,89
CIB	CIB_N_33	16,00	16292,41	1267,37
CIB	CIB_S_11	18,00	20459,26	1572,07
CIB	CIB_S_13	14,00	14346,99	1328,31
CIB	CIB_S_31	13,00	13047,13	1249,41
CIB	CIB_S_33	9,00	4554,26	804,27

CIB	CIB_W_11	14,00	12963,21	1357,33
CIB	CIB_W_13	16,00	18892,70	1587,70
CIB	CIB_W_31	11,00	8256,61	1329,56
CIB	CIB_W_33	13,00	11692,92	1409,61
CIC	CIC_E_11	9,00	8025,65	1405,08
CIC	CIC_E_13	8,00	7261,20	1376,59
CIC	CIC_E_31	8,00	5724,82	927,86
CIC	CIC_E_33	7,00	5552,55	1375,69
CIC	CIC_N_11	6,00	2284,79	821,51
CIC	CIC_N_21	7,00	3394,75	828,83
CIC	CIC_N_23	9,00	5627,47	931,74
CIC	CIC_N_33	10,00	6937,53	956,14
CIC	CIC_S_11	9,00	8854,29	1584,67
CIC	CIC_S_13	9,00	6365,29	1052,54
CIC	CIC_S_31	11,00	12433,40	1701,16
CIC	CIC_S_33	13,00	14880,95	1802,29
CIC	CIC_W_11	11,00	9633,20	1152,28
CIC	CIC_W_13	12,00	14164,82	1730,57
CIC	CIC_W_31	11,00	9112,61	1111,14
CIC	CIC_W_33	12,00	10853,16	1103,56

Anexo 6: Certificado de traducción del resumen

Loja, 09 de Octubre, 2024

Yo, Mgtr. Marcela Angelita Ocampo Jaramillo, portadora de la cédula de identidad Nro. 1103125231, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad inglés, número de registro de SENESCYT 1031-07-755014; y Master en Gerencia y Liderazgo Educativo con número de registro SENESCYT 1031-14-86047597.

CERTIFICO:

Que la traducción al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación, denominado **“Estudio de rasgos funcionales en especies vegetales en el ecosistema Páramo del Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador”**, perteneciente al egresado **John Manuel Benítez Tillaguango** con Nro. de cédula **1106066416**, corresponde al texto original en español.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que él creyera conveniente.



Marcelo Angelita Ocampo Jaramillo
MARCELA ANGELIT
OCAMPO JARAMILLO

Mgtr. Marcela Ocampo Jaramillo

Docente de Inglés del Instituto de Idiomas de la UNL.

C.I 1103125231