Caracterización de los metabolitos secundarios de dos especies vegetales de la familia Asteraceae de interés medicinal en ecosistemas altoandinos del Ecuador.

Azaña Iza, Nathaly Alexandra

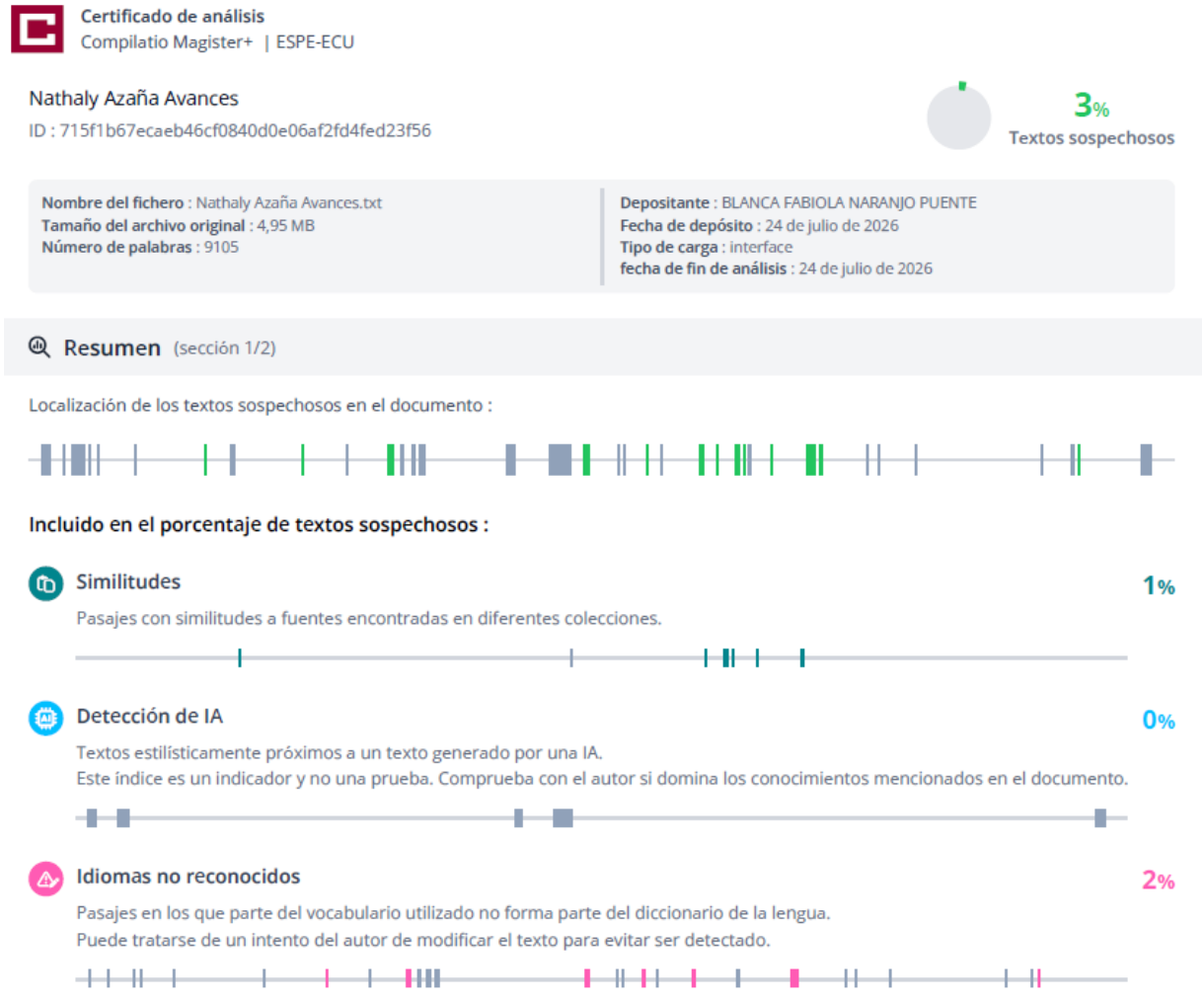
Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga

Dra. Naranjo Puente, Blanca Fabiola

05 de agosto del 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
BLANCA FABIOLA
NARANJO PUENTE

MSc. Naranjo Puente, Blanca Naranjo

Directora

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "**Caracterización de los metabolitos secundarios de dos especies vegetales de la familia Asteraceae de interés medicinal en ecosistemas altoandinos del Ecuador**" fue realizado por la señorita **Azaña Iza, Nathaly Alexandra,** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de agosto del 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
BLANCA FABIOLA
NARANJO PUENTE

Dra Naranjo Puente, Blanca Fabiola, MSc.

Directora

C.C.: 0602201410

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Azaña Iza, Nathaly Alexandra**, con cédula de ciudadanía n° 1754575049, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular**: Caracterización de los metabolitos secundarios de dos especies vegetales de la familia Asteraceae de interés medicinal en ecosistemas altoandinos del Ecuador** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 21 de agosto del 2026

Nathaly Alexandra Azana Iza
Time Stamping Security Data

Azaña Iza, Nathaly Alexandra

C.C.: 1754575049

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Autorización de Publicación

Yo **Azaña Iza, Nathaly Alexandra**, con cédula de ciudadanía n° 1754575049, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE a publicar el trabajo de integración curricular: **Caracterización de los metabolitos secundarios de dos especies vegetales de la familia Asteraceae de interés medicinal en ecosistemas altoandinos del Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 21 de agosto del 2026

Nathaly Alexandra Azana Iza
Time Stamping Security Data

Azaña Iza, Nathaly Alexandra

C.C.: 1754575049

Dedicatoria

Con el corazón lleno de gratitud, dedico este trabajo a Dios y mi familia, quienes han sido el pilar fundamental durante esta travesía universitaria. Juntos hemos compartido no solo las victorias y reconocimientos, sino también los desafíos, las dudas y los momentos de frustración que son parte inherente de este camino y de la vida.

Este reto va dedicado especialmente a mi madre, quien ha creído en mí desde el primer día. Gracias por ser mi guía en los tiempos inciertos, por corregirme con amor, aconsejarme y ser la luz que nunca me dejó rendirme. También estoy profundamente agradecida con mi abuelo materno, cuyo ejemplo y sabiduría fueron los cimientos sobre los cuales mi madre edificó el sostén que hoy me impulsa. A mis hermanos por su apoyo siempre presente y por formar parte de este ambiente que me permitió lograr esto.

A mi tía (mi querida ñaña) y a mi tío David gracias por el constante apoyo y por estar ahí en cada paso. A mis primos, en especial a mi primo Ander, gracias por mantener siempre su semblante alegre y compartir su gran energía con los demás. A todos ustedes por ser parte fundamental de mi historia y de compartir conmigo este triunfo que también es de ustedes.

Finalmente, les dedico este trabajo a todos quienes han formado parte de mi camino por demostrarme que el cariño es el mejor motor para alcanzar los sueños.

Agradecimiento

Expreso mi profundo agradecimiento a mis tutoras, la Ing. Elena Coyago y la Dra. Blanca Naranjo, cuya guía, paciencia y mentoría académica y personal fueron determinantes para completar este trabajo. De manera muy especial, quiero agradecer a la Dra. Blanca Naranjo y a la Dra. Claudia Segovia por la inmensa confianza depositada en mí para formar parte del BioBanco ESPE, una oportunidad que valoro enormemente. A las dos por ser grandes docentes les agradezco también por brindarme su conocimiento y guianza incondicional, los cuales fueron piezas claves para lograr sacar adelante este proyecto de investigación.

A la Ing. Ruth Escobar, mi gratitud infinita por compartir tu sabiduría y, sinceramente, por no dejarme morir en los momentos de mayor exigencia del trabajo experimental, por ser una guía para muchos y ser una persona extraordinaria.

A la familia del "PEC", de manera especial a Melita, Steven y Ruthy, por ser un pilar de apoyo constante y seguro. Extiendo también mi gratitud a todas las personas que me acompañaron y apoyaron, desde las largas jornadas de muestreo hasta brindarme el tan necesario apoyo moral.

A mis amigos que me acompañaron a lo largo de toda la carrera: Ange, Queeny, Josué, Sebas, Giss, Fer y Karen. Gracias por demostrarme que el camino siempre es lo más importante. De manera muy especial, me llevo para siempre en el corazón a mis mejores amigas, Ange y Queeny.

Finalmente, a los amigos que encontré en el camino porque nos unían las ganas de sacar adelante actividades extracurriculares; gracias por ser parte de mi vida y por enseñarme que siempre hay personas maravillosas en las que te puedes apoyar y de las que pueden salir bellas sorpresas que iluminan el corazón como un rayo de sol. Gracias a todos quienes fueron parte de este camino no solo en la academia sino en la vida diaria por haberme visto crecer y creo fielmente que este es el inicio de muchas más Nathventuras con valiosos aprendizajes.

Índice de contenido

Certificación 3
Responsabilidad de Autoría 4
Dedicatoria 6
Agradecimiento 7
Índice de contenido 8
Resumen 12
Abstract 13
Capítulo I 14
Introducción 14
Planteamiento del problema 15
Formulación del problema o pregunta de investigación 16
Objetivos 16
Justificación 17
Capítulo II 19
Estado del arte 19
Marco teórico 21
Ecosistemas Altoandinos del Ecuador 21
Reserva Ecológica Antisana 22
Reserva Ecológica Paluguillo 22
Etnobotánica y Medicina Tradicional Andina 22
Familia Botánica Asteraceae 24
Chuquiraga jussieui (Chuquiragua) 25
Hypochaeris sessiliflora (Achicoria blanca de páramo) 26
Metabolitos Secundarios 27
Compuestos Fenólicos 27
Técnicas de extracción de fenoles 28
Técnicas Analíticas de Cuantificación de Fenoles Totales 29
Carotenoides 30
Técnicas de extracción de carotenoides 31
Técnicas Analíticas de Cuantificación 32
Marco conceptual 33
Capítulo III 34

Metodología 34
Enfoque de investigación 34
Tipo y diseño de investigación 34
Población y muestra 34
Técnica e instrumento 36
Análisis fisicoquímico 36
Humedad 36
Cenizas 37
Acidez titulable 37
Grados Brix 37
Potencial de hidrógeno (pH) 38
Análisis fitoquímico 38
Extracción y cuantificación de fenoles totales 38
Extracción y cuantificación de carotenoides 39
Validación y confiabilidad del instrumento 39
Consideraciones éticas 40
Capítulo IV 42
Análisis y discusión de los resultados 42
Capítulo V 54
Conclusiones 54
Recomendaciones 54
Referencias 56

Índice de tablas

Tabla 1 Estudios previos sobre el contenido fitoquímico y actividad antioxidante en especies de los géneros Chuquiraga, Hypochaeris y flora de páramo relacionada. 20
Tabla 2 Parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Hypochaeris sessiliflora (Blanca) 42
Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Chuquiragua recolectadas en el Antisana 44

Índice de figuras

Figura 1 Organización de las inflorescencias en las Asteráceas 25
Figura 2 Vista general de un espécimen de chuquiragua (*Chuquiraga jussieui)* en su hábitat natural 26
Figura 3 Vista general de un espécimen de Hypochaeris sessiliflora (variedad blanca) 27
Figura 4 *Compuestos fenólicos más representativos en plantas* 28
Figura 5 Diagrama esquemático de la vía metabólica de los carotenoides en los plastidios 31
Figura 6 Ubicación geográfica de los puntos de recolección de *Hypochaeris sessiliflora* en los páramos de Paluguillo y Antisana 35
Figura 7 Ubicación geográfica del punto de recolección de *Chuquiraga jussieui* en el páramo del Antisana 35
Figura 8 Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Hypochaeris 43
Figura 9 Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de *Chuquiraga jussieui* 45
Figura 10 Curva de calibración para determinar fenoles totales 46
Figura 11 Valores promedio de la concentración de compuestos fenólicos totales en *Hypochaeris sessiliflora* 47
Figura 12 Valores promedio de la concentración de compuestos fenólicos totales en Chuquiraga jussieui 49
Figura 13 Curva de Calibración elaborada con β-Caroteno para la determinación de carotenoides 50
Figura 14 Valores promedio de la concentración de carotenoides totales en *Hypochaeris sessiliflora* 51
Figura 15 Valores promedio de la concentración de carotenoides totales en *Chuquiraga jussieui* 52

Resumen

El Ecuador posee una gran biodiversidad misma que ha sido empleada por las comunidades para su bienestar sin embargo carece de respaldo científico, bajo esta perspectiva esta investigación caracteriza las propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas de *Hypochaeris sessiliflora* (variedad blanca) y *Chuquiraga jussieui,* dos especies de la familia Asteraceae que son típicas de ecosistemas altoandinos. Para ello, el material vegetal fue recolectado de forma estratégica y procesado mediante liofilización y extracción asistida por ultrasonido, técnicas seleccionadas específicamente por su capacidad de preservar compuestos termolábiles que podrían degradarse con métodos convencionales. Los fenoles totales se cuantificaron con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, y los carotenoides mediante espectrofotometría UV-Vis. Los resultados revelaron que la síntesis de estos metabolitos no responde a un patrón único, sino que varía según el órgano analizado y la localidad de origen, lo que sugiere que ambas especies han desarrollado estrategias metabólicas particulares para hacer frente al estrés abiótico característico de los gradientes altitudinales. Sin embargo, cada especie parece haber tomado un camino adaptativo distinto mientras que *Hypochaeris sessiliflora* despliega una respuesta fenólica de carácter sistémico, es decir, distribuida de forma más generalizada en la planta, *Chuquiraga jussieui* apuesta por una especialización más puntual, donde los carotenoides de sus estructuras florales asumen un papel protagónico en su respuesta adaptativa. Estos resultados respaldan con evidencia científica el uso medicinal tradicional que las comunidades andinas han dado a estas plantas durante generaciones, y sientan una base sólida para futuras iniciativas de bioprospección sostenible y estrategias de conservación en el frágil ecosistema de páramo.

Palabras clave: Asteraceae, metabolismo secundario, fenoles, carotenoides, bioprospección, páramo ecuatoriano

Abstract

Ecuador possesses great biodiversity, which has been used by communities for their well-being; however, this use lacks scientific support. From this perspective, this research characterizes the physicochemical and phytochemical properties of Hypochaeris sessiliflora (white variety) and Chuquiraga jussieui, two species of the Asteraceae family that are typical of high-Andean ecosystems. To this end, plant material was strategically collected and processed using freeze-drying and ultrasound-assisted extraction—techniques specifically selected for their ability to preserve heat-labile compounds that might degrade with conventional methods. Total phenols were quantified using the Folin-Ciocalteu colorimetric method, and carotenoids were quantified using UV-Vis spectrophotometry. The results revealed that the synthesis of these metabolites does not follow a single pattern but varies depending on the organ analyzed and the location of origin, suggesting that both species have developed specific metabolic strategies to cope with the abiotic stress characteristic of altitudinal gradients. However, each species appears to have taken a different adaptive path while *Hypochaeris sessiliflora* exhibits a systemic phenolic response, that is, one that is more widely distributed throughout the plant, *Chuquiragua jussieui* relies on a more localized specialization, in which the carotenoids in its floral structures play a leading role in its adaptive response. These results provide scientific evidence supporting the traditional medicinal use that Andean communities have given these plants for generations, and lay a solid foundation for future sustainable bioprospecting initiatives and conservation strategies in the fragile páramo ecosystem.

Keywords: Asteraceae, secondary metabolism, phenols, carotenoids, bioprospecting, Ecuadorian páramo

Capítulo I

Introducción

El Ecuador es uno de los países más megadiversos del mundo (Malagón et al., 2016) sus ecosistemas altoandinos poseen una biodiversidad vegetal sumamente densa constituyéndose como una de las reservas biológicas más valiosas dadas sus condiciones extremas en las que la vida vegetal se ha ido adaptando, esto pese a que tan solo cerca del 5% del territorio ecuatoriano corresponde a páramo (Cushquicullma-Colcha et al., 2025). Este bioma es una variedad heterogénea de ecosistemas altoandinos en los que la vegetación se ha adaptado a características del ambiente como altitudes entre 2800 a 5000 m.s.n.m (Brück et al., 2023), con clima frio incluyendo temperaturas entre 3.7°C a 8.8°C y frecuentes heladas nocturnas (Leon-Garcia & Lasso, 2019; Suárez et al., 2023), una radiación alta con valores máximos durante los periodos de equinoccios (Silva et al., 2025) además de fuertes vientos y baja presión atmosférica; circunstancias que han hecho que la flora endémica se aclimate no solo en cuestiones morfológicas, sino también con la especialización de su metabolismo secundario ante el entorno.

Dentro de la flora andina ecuatoriana se destaca la familia Asteraceae por su predominancia ecológica y valor etnobotánico en las comunidades locales (Cushquicullma-Colcha et al., 2025), en una zona puntual de Chimborazo alrededor del 89% de plantas registradas tienen un uso medicinal, resaltando las infusiones y cataplasmas para enfermedades respiratorias y urinarias (Chávez Velásquez et al., 2024) asimismo en el distrito metropolitano de quito esta familia es empleada para afecciones digestivas, inflamatorias, respiratorias y de salud femenina (Noriega et al., 2024).

Considerando esta situación, la presente investigación se enfoca en la caracterización fitoquímica de dos especies que son parte de la familia Asteraceae, estas incluyen a *Chuquiraga jussieui* (chuquiragua) e *Hypochaeris sessiliflora* (achicoria de páramo, variedad blanca), recolectadas en las

reservas ecológicas del Antisana y Paluguillo. El estudio abarca desde la fase de recolección del material vegetal hasta la determinación cuantitativa de sus metabolitos secundarios específicamente fenoles y carotenoides totales, con el propósito de validar las propiedades bioactivas que justifiquen su uso medicinal empírico por parte las comunidades.

Planteamiento del problema

En el contexto actual existe una carencia de estudios de bioprospección sistemática en la flora medicinal ecuatoriana, incluyéndose así la de los ecosistemas altoandinos pese a su amplio uso tradicional. Específicamente un estudio de Malagón et al. (2016) evidencia la cobertura limitada de la investigación en flora ecuatoriana dado que, de las 253 familias nativas, tan solo existen 402 artículos científicos que se centran en solo 8 familias, dejando así a la mayor parte de especies vegetales con muy poca o nada de información fitoquímica documentada. Pese a que las comunidades conocen por transmisión de conocimientos sus usos medicinales, yace una brecha respecto al sustento mediante la ciencia moderna, razón por la que es necesaria la determinación de la concentración de metabolitos como carotenoides y fenoles que son moléculas bioactivas que podrían ser responsables de dichos efectos medicinales.

En Ecuador la familia Asteraceae es uno de los grupos más abundantes, en los ecosistemas altoandinos también se constituye como la familia predominante con 313 especies, alcanzando su máxima diversidad entre los 2500 – 3000 m.s.n.m (Rivero-Guerra, 2020), dichas plantas en este tipo de ambientes con temperaturas bajas, elevada radiación ultravioleta y condiciones extremas de altitud desarrollan rutas metabólicas que resultan en la síntesis de fenoles, taninos, flavonoides y carotenoides como mecanismo de defensa y aclimatación (Ibrahim et al., 2022a; Nataraj et al., 2022).

Aunque la literatura sugiere que el estrés abiótico es un estimulante metabólico en general, prevalece la falta de cuantificación fitoquímica en especies endémicas denotando así un vació en

cuestión de bioprospección. Además, puntualmente no se ha verificado si la diferencia altitudinal y de microclima en una misma especie incide en la producción de principios bioactivos en la especie *Hypochaeris sessiliflora* (variedad blanca) en el sector de Paluguillo y Antisana. Por cuestiones fenológicas de los ecosistemas altoandinos en el caso de *Chuquiraga jussieui* (chuquiragua) se analizará el perfil fitoquímico en la zona de Antisana. Esta falta de información estructural genera la necesidad de caracterizar estos metabolitos secundarios mediante técnicas analíticas, promoviendo así un aprovechamiento seguro y sostenible basado en evidencia científica.

Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y la concentración de metabolitos secundarios (fenoles y carotenoides) presentes en dos especies de la familia Asteraceae de interés medicinal en los ecosistemas altoandinos del Ecuador?

¿Cuáles son las condiciones óptimas para la recolección del material vegetal de las dos especies de la familia Asteraceae en el ecosistema altoandino?

¿Qué parámetros fisicoquímicos caracterizan a estas especies vegetales del páramo ecuatoriano?

¿Cuál es la concentración cuantitativa de principios activos, fenoles y carotenoides, en las especies evaluadas?

Objetivos

Objetivo general:

Caracterizar los metabolitos secundarios de dos especies vegetales de la familia Asteraceae de interés medicinal en ecosistemas altoandinos del Ecuador.

Objetivos específicos:

Recolectar material vegetal de dos especies de la familia Asteraceae en ecosistemas altoandinos del Ecuador con interés medicinal.

Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las dos especies vegetales del páramo ecuatoriano mediante técnicas analíticas con interés medicinal.

Determinar la concentración de principios activos (fenoles y carotenoides) de las dos especies vegetales con interés medicinal.

Justificación

Ecuador posee una gran riqueza en cuestión de biodiversidad, no obstante, enfrenta un retraso en la bioprospección de sus recursos, en específico aquellos ubicados en los páramos. Las especies de la familia Asteraceae han evolucionado dentro de estos espacios, adaptándose a condiciones climáticas extremas, mismas que funcionan como catalizadores del metabolismo con el propósito de garantizar su protección y supervivencia, siendo el caso de los fenoles y carotenoides. A pesar de su potencial existe una desconexión entre su uso medicinal y la evidencia fitoquímica. El estudio de los ecosistemas altoandinos es vital dado que son espacios altamente vulnerables ante el cambio climático y uso del suelo, dicha fragilidad sumada a la falta de documentación y validación científica de conocimientos ancestrales hace que sea muy probable la pérdida de los recursos genéticos, lo que sería una limitante a futuro para desarrollar bioproductos con valor terapéutico y la creación de estrategias de conservación que tomen como base el valor fitoquímica de la flora autóctona.

Esta investigación aporta evidencia sobre el perfil fitoquímico de dos especies vegetales, la *Chuquiraga jussieui* (chuquiragua) e *Hypochaeris sessiliflora* (achicoria de páramo, variedad blanca), con énfasis en la presencia y cantidad de fenoles y carotenoides. Los resultados obtenidos contribuirán a reducir la brecha de conocimiento de la quimiotaxonomía de la flora ecuatoriana, enriqueciendo la base

de datos (Coyago-Cruz et al., 2023). Estableciendo así bases sólidas para futuras investigaciones biotecnológicas enfocadas en el desarrollo de fitofármacos y productos de valor agregado (Perafán & Paz, 2024)

Desde el punto de vista ambiental, la cuantificación le otorga un valor tangible a la flora nativa, denotando la importancia de la documentación del potencial para fomentar la concienciación repecto a la importancia ecológica de los ecosistemas altoandinos del Ecuador, lo que a su vez podría dar lugar a generar iniciativas de conservación, alineándose asó al ODS 15. Con el propósito de proteger los ecosistemas de la degradación antrópica, cambio climático y la protección de fuentes hídricas que proporcionan el liquido vital a Quito y sus alrededores.

Capítulo II

Estado del arte

Durante la última década, el estudio de la fitoquímica de especies vegetales de ecosistemas altoandinos ha progresado generándose dos enfoques, primero la identificación de perfiles metabolómicos y su diversidad química en especies endémicas, segundo la comprensión de la influencia de los factores ambientales y geográficos en la influencia de la diversidad fitoquímica. Estudios recientes emplean técnicas como metabolómica para determinar patrones adaptativos de las especies, específicamente de una subtribu de la familia Asteraceae denotando que algunos factores importantes son la geografía y el cambio climático (Padilla-González et al., 2017, 2021).

La investigación de la flora altoandina se ha enfocado en el estudio de taxones con alto grado de endemismo y la bioquímica detrás del estrés ambiental. La diversidad de la familia Asteraceae en Ecuador destaca por su alto porcentaje de especies endémicas en las zonas superiores a 2900 m.s.n.m (Aguirre et al., 2015), diversos autores han verificado el potencial bioactivo de la familia, a continuación, se resume los hallazgos científicos más relevantes de los últimos años respecto a la cuantificación de metabolitos en especies de páramos con énfasis en la familia Asteraceae, evidenciando el contexto actual de la bioprospección de esta flora.

Tabla 1

Estudios previos sobre el contenido fitoquímico y actividad antioxidante en especies de los géneros Chuquiraga, Hypochaeris y flora de páramo relacionada.

Especie Vegetal (Familia)	Procedencia / Altitud	Metabolitos Cuantificados	Hallazgos Destacados	Referencia
Flora del páramo ecuatoriano (*Bidens ferulifolia*, *Fuchsia vulcania*, etc.)	Andes de Ecuador (Pichincha)	Fenoles Totales, Carotenoides, Capacidad Antioxidante	Se reportaron rangos altos de fenoles (hasta 531.77 mg EAG/g PS en géneros como la *Fushia*) y carotenoides (24.81 µg β-caroteno/g), demostrando el alto valor funcional de las flores andinas.	(Coyago-Cruz et al., 2023)
Chuquiraga jussieui	Andes de Ecuador (Chimborazo, Pichincha y Cotopaxi) (Pichincha)	Fenoles Totales y capacidad antioxidante	Validaron el potencial agroindustrial y medicinal de las flores de la especie por su alta retención de metabolitos de defensa frente al clima de altura.	(Palma Bastidas, 2019)
***Chuquiraga jussieui* y otras especies nativas**	Andes de Ecuador	Screening fitoquímico, Fenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante (DPPH) en extractos etanólicos	Los análisis en hojas de *C. jussieui* reportó la mayor concentración de fenoles totales (1979.07 mg ECat/100g) del estudio.	(Guerrero Bonilla et al., 2020)
***Hypochaeris radicata* (Asteraceae)**	Serra da Estrela, Portugal	Etnobotánica y Potencial Farmacológico	Se documenta su uso tradicional por sus propiedades antioxidantes y su potencial hipoglucemiante (antidiabético). Se confirma que los compuestos fenólicos son los principales responsables de su actividad biológica.	(Lahlou et al., 2024)
***Hypochaeris radicata* (Asteraceae)**	Sur de Italia	Fenoles totales, Flavonoides, Capacidad Antioxidante (Blanqueado)	Demostraron que el escaldado (blanching) reduce ligeramente el contenido fenólico, pero mantiene una alta capacidad antioxidante, validando su uso como alimento funcional.	(Sicari et al., 2021)

Otras investigaciones han abarcado como la altitud, combinada con la radiación ultravioletra y los cambios térmicos extremos, generan una variación en la síntesis de metabolitos secundarios (Zidorn, 2009). Un ejemplo son los estudios de metabolómica en especies de Asteraceae han demostrado que la exposición al clima extremo eleva la producción de fenoles, terpenoides y alcaloides le dan protección a la planta (Padilla-González et al., 2017) por ende su potencial terapéutico incrementa. A pesar de este profundo conocimiento ecológico y evolutivo, persiste una necesidad de caracterizar fisicoquímicamente taxones específicos del páramo ecuatoriano (Coyago-Cruz et al., 2023), con el fin de estandarizar y validar científicamente su bioactividad.

Marco teórico

Ecosistemas Altoandinos del Ecuador

Ecuador es un país con una riqueza natural de alto impacto, un ecosistema que lo constituye es el bosque altoandino mismo que es un ecosistema dinámico donde los organismos que lo habitan han desarrollado estrategias de supervivencia ante condiciones extremas (Hofstede et al., 2023). La predominancia de la familia Asteraceae en los páramos ecuatorianos no es solo ecológica, sino también fitoquímica. El páramo ecuatoriano es un conjunto heterogéneo de ecosistemas de alta montaña que en general se ubican sobre los árboles de los Andes tropicales (Brück et al., 2023; Peyre et al., 2018). A nivel ecológico, la vegetación del páramo en el Ecuador se distribuye en tres sectores altitudinales tales como el subpáramo que funciona como una franja transitoria, páramo medio que está conformado por grandes extensiones de pajonales y flailejones, y finalmente el super páramo que es la parte más extrema con plantas en forma de cojín en su mayoría por la adaptación al clima árido (Hofstede et al., 2023).

Reserva Ecológica Antisana

Antisana es un estratovolcán de la Cordillera Oriental del Ecuador, al este de Quito, su presencia dio lugar a la generación de un ecosistema importante a su alrededor, constituyéndose así la Reserva Ecológica Antisana, una fuente hídrica relevante para el embalse de La Mica que abastece a parte del Distrito metropolitano de Quito (Minaya et al., 2016). Este páramo no está constituido por una altitud exacta su gradiente altitudinal esta entre el rango de 4000-5700 m.s.n.m (Minaya et al., 2023).

Reserva Ecológica Paluguillo

El Área de Conservación Hídrica Paluguillo, se encuentra ubicada a 45km de la ciudad de Quito, la literatura disponible permite clasificar esta zona como un ecosistema de páramo andino dado que posee un bioma tipo pajonal con alturas entre 3660 a 4090 m.s.n.m (Almeida et al., 2017).

Etnobotánica y Medicina Tradicional Andina

La bioprospección se define como la exploración de recursos biológicos para el uso de genes, micro y macromoléculas, o usos no descubiertos para los extractos, enfocándose en el desarrollo de nuevos productos con fines de aplicación farmacéutica (Quintana-Obregón, 2026). La familia Asteraceae es conocida como una de las familias angiospermas más representativa de la flora endémica ecuatoriana siendo un 87.74% solo en la región andina (Rivero-Guerra, 2020) Los páramos tropicales funcionan como islas del cielo (Padilla-González et al., 2021) esto dado su aislamiento topográfico y altitudinal, una condición que favorece especiación alopátrica y alta diferenciación en las especies locales (Diaz Granados & Barber, 2017). En estos ambientes, la radiación adaptativa de linajes de Asteraceae ocurre de manera muy rápida al estar ligada al levantamiento andino (Monasterio & Sarmiento, 1991). Estas aseveraciones denotan como la resiliencia fisiológica de la familia Asteraceae no es un solo factor sino de una combinación de adaptaciones como la hipoxia, fluctuaciones térmicas frásticas, radiación ultavioleta tipo B y limitación de nutrientes (Monasterio & Sarmiento, 1991; X. Zhang et al., 2021

Padilla-González et al. (2021) evidencia que la composición química también cambia con la altitud y el aislamiento geográfico, en especies de Asteraceae, el aumento altitudinal suele acompañarse de mayores concentraciones de fenoles y flavonoides (Zidorn, 2009). El conocimiento etnobotánico ha identificado históricamente propiedades medicinales, un estudio reciente realizado en Riobamba corrobora su relevancia, posicionando específicamente a la familia Asteraceae como una de las familias botánicas más mencionadas por la población para el tratamiento de afecciones (Bermúdez-Del Sol et al., 2025). Sin embargo, la continuidad de estos saberes ancestrales se encuentra amenazados por la urbanización, baja valoración social y perdida de transmisión oral. Este último aspecto lo menciona (Casagrande et al., 2023) en su investigación respecto a la transmisión de conocimientos de etnobotánica en una comunidad del sur de Brasil, comentando que la transmisión vertical por madres y abuelas sigue siendo un mecanismo central de conservación de conocimiento.

La base bioquímica detrás de los conocimientos empleados por la comunidades es sólida, dado que por ejemplo los especímenes dentro de Asteraceae produce ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides y otros metabolitos secundarios con actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas ampliamente descritas (Bessada et al., 2015; Meseret et al., 2024; Petrova et al., 2024). En condiciones de estrés estos metabolitos cumplen funciones fisiológicas y su síntesis puede incrementar los cambios transcripcionales de genes biosintéticos, lo que se acopla con lo que sucede en ambientes de páramo (Petrova et al., 2024). Investigaciones realizadas por (Coyago-Cruz et al., 2023) en ecosistemas de altura en la provincia de Pichincha, Ecuador confirman el alto potencial biotecnológico de la familia Asteraceae, por medio de la evaluación de especies florales nativas, evidenciando que aquellas plantas que son de ecosistemas altoandinos y se encuentran dentro de la familia poseen la maquinaria biosintética para producir altas cantidades de moléculas antioxidantes como respuesta al medio.

Familia Botánica Asteraceae

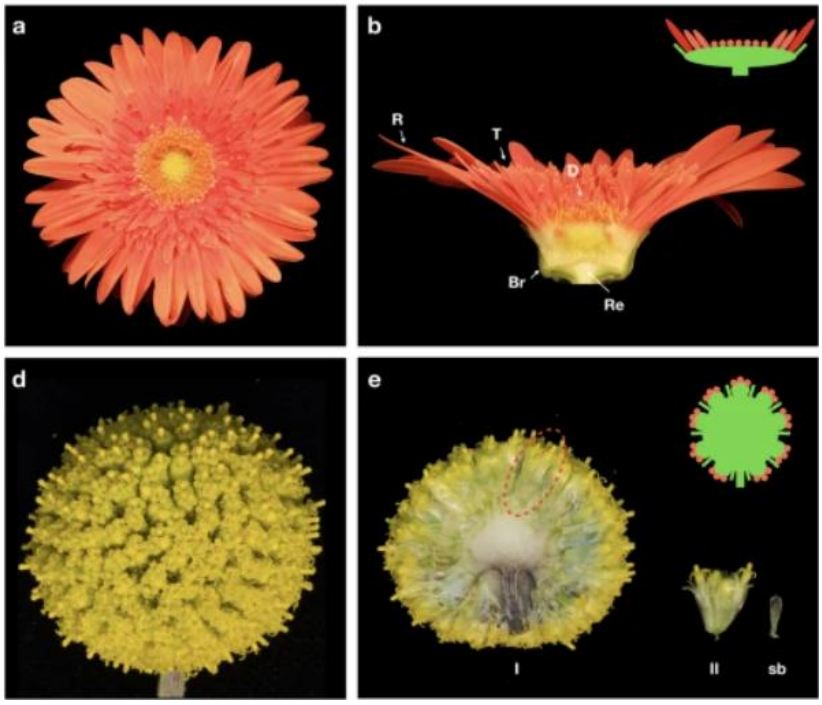
A escala global, Asteraceae aparece repetidamente como la familia de plantas con flores más diversa, con estimaciones de 23,000–34,000 especies, ~1,600 géneros y cerca de 10% de las angiospermas (Palazzesi et al., 2022; Roeble et al., 2024; Zahra et al., 2024). En Ecuador altoandino, la evidencia disponible no da un total completo de toda la familia para toda la región, pero sí muestra que Asteraceae concentra la mayor parte del endemismo ecuatoriano en los Andes y domina florísticamente páramos y pisos altos (Cushquicullma-Colcha et al., 2025; Rivero-Guerra, 2020).

Su tamaño taxonómico también está muy sesgado hacia pocos linajes, en especifico Asteroideae con 17,200 especies, seguida por Cichorioideae y Carduoideae, mientras varias subfamilias tienen menos de 100 especies (C. Zhang et al., 2021).

La familia también es taxonómicamente profunda: se reconocen 50 tribus y una historia evolutiva antigua, con origen en Sudamérica hace aproximadamente 80–83 millones de años y posteriores dispersiones intercontinentales (Mandel et al., 2019; Moreira-Muñoz et al., 2024). Su éxito parece asociado a radiaciones repetidas, dispersión a larga distancia, innovaciones morfológicas como el capítulo y el papus, y múltiples duplicaciones genómicas (Mandel et al., 2019; Shen et al., 2023; C. Zhang et al., 2021).

Figura 1

Organización de las inflorescencias en las Asteráceas.



Nota. Modificado de (Elomaa et al., 2018)

***Chuquiraga jussieui* (Chuquiragua)**

Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae y a la subfamilia Barnadesioideae, un linaje sudamericano de diez géneros y cerca de 90 especies (Carlquist et al., 2022). Chuquiraga en conjunto muestra gran variación morfológica, especialmente en las hojas, y presenta dos tipos de capítulos y flores relacionados con polinización por colibríes o por insectos (Ezcurra, 2002; Padin et al., 2015). El género posee neotraqueidas con punteaduras areoladas completas, interpretadas como una apomorfía útil para resistir la formación de embolias en ambientes fríos y secos sudamericanos (Ezcurra, 2002)

Figura 2

Vista general de un espécimen de chuquiragua (Chuquiraga jussieui) en su hábitat natural



Nota. Fotografía de elaboración propia**.**

***Hypochaeris sessiliflora* (Achicoria blanca de páramo)**

H. sessiliflora pertenece a un complejo de nueve especies de la familia Asteraceae en Sudamérica, caracterizado por cabezas sésiles o casi sésiles rodeadas por una roseta de hojas (Urtubey et al., 2009). El complejo se extiende entre los 1430 y los 5100 m a lo largo de los Andes, desde Venezuela hasta Chile y Argentina, por lo que su delimitación se produce a lo largo de un amplio gradiente altitudinal y geográfico, en lugar de dentro de una región estrecha (Urtubey et al., 2009).

Las revisiones sobre complejos sudamericanos recomiendan justamente enfoques multidisciplinarios que combinen morfometría, citogenética, anatomía y marcadores moleculares, porque los complejos radiados suelen mostrar poca divergencia genética y mucha variación fenotípica (Pinheiro et al., 2018).

Figura 3

Vista general de un espécimen de Hypochaeris sessiliflora (variedad blanca)



Nota. Fotografía de elaboración propia.

Metabolitos Secundarios

El metabolismo secundario vegetal no es esencial para el crecimiento básico, pero es determinante para la interacción de la planta con el ecosistema. En condiciones de estrés abiótico, como las del páramo, se activan rutas biosintéticas específicas para la producción de compuestos fenólicos y carotenoides.

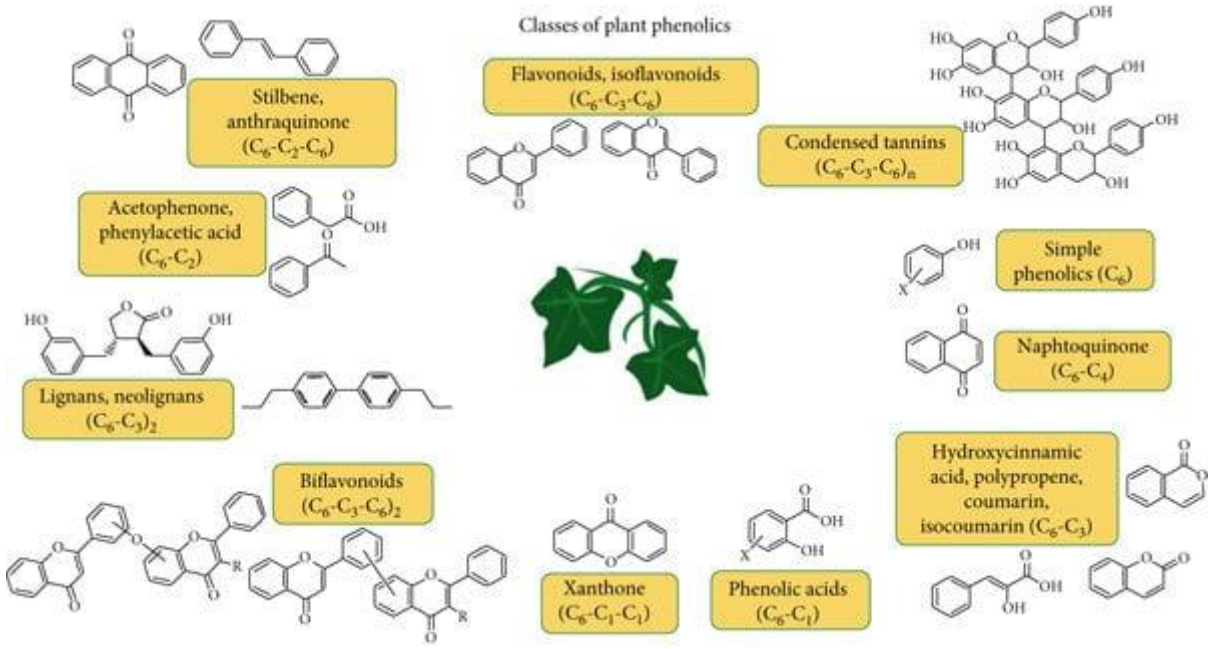
Compuestos Fenólicos

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos secundarios (más de 8,000 compuestos diferentes) producidos por las plantas bajo condiciones de estrés, estos pueden cumplir un rol dentro de varias áreas en la prevención de ciertas enfermedades, en el área alimenticia y en la industria farmacéutica (Osorio-Tobón, 2020). Los compuestos fenólicos se originan principalmente de la ruta del ácido shikímico, los ácidos fenólicos (30%) y flavonoides (60%) actuando como potentes agentes antioxidantes y filtros solares naturales, dada su estructura química son capaces de neutralizar eficazmente las especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas por la radiación ultravioleta de la montaña, evitando así el daño oxidativo a nivel celular (Coyago-Cruz et al., 2023; Garcia-Salas et al.,

2010). Por ello, cumplen un rol clave en la prevención de enfermedades degenerativas y cardiovasculares, además de aportar el color, aroma y astringencia en la industria alimentaria (Osorio-Tobón, 2020).

Figura 4

Compuestos fenólicos más representativos en plantas



Nota. Obtenido de (Chandran & Abrahamse, 2020).

Técnicas de extracción de fenoles

La recuperación de compuestos fenólicos de matrices vegetales depende principalmente de la polaridad del disolvente, el contenido de agua, el pH y la metodología de extracción empleada, en diversas revisiones los disolventes próticos polares, específicamente el metanol, etanol y sus variantes acuosas son las mejores opciones debido a que solubilizan mejores los compuestos e interrumpen las interacciones entre los compuestos fenólicos y la matriz (Alara et al., 2021; Gil-Martín et al., 2022; Rodrigues et al., 2023).

No existe un único disolvente que sea el mejor para todos. El óptimo varía según la subclase fenólica y la matriz: el metanol suele maximizar el rendimiento analítico, el etanol acuoso se prefiere

con frecuencia para la extracción segura en alimentos, el agua puede ser más eficaz que los alcoholes para ácidos fenólicos muy polares en algunos cereales, y los alcoholes acidificados pueden mejorar aún más la recuperación en sistemas sensibles a las antocianinas o a los ácidos (Castillo-Correa et al., 2025; Kirusnaruban et al., 2025; Tourabi et al., 2025). La metodología de extracción general fue la recuperación mediante maceración, método Soxhlet y de manera general Extracción Líquido-Líquido (LEE), sin embargo, pese a que son métodos accesibles, presentan desventajas operativas y ambientales significativas dado que requieren cantidades altas de disolventes orgánicos tóxicos y tiempos de extracción prolongados. Este factor tiempo es importante considerando productividad del sistema y que se mantengan los compuestos fenólicos dado que son sumamente sensibles a factores ambientales como la luz prolongada, el oxígeno y las variaciones de temperatura, aspectos que por el proceso tradicional de extracción se suele generar la rápida degradación en los extractos (Garcia-Salas et al., 2010).

Actualmente se emplean técnicas para mejorar el rendimiento de extracción mediante procesos alternativos como extracción asistida por microondas (MAE), la extracción asistida por ultrasonidos (UAE) y la extracción con líquido presurizado (PLE) suelen reducir el tiempo de extracción y el consumo de disolvente en comparación con la maceración convencional o Soxhlet, a la vez que a menudo igualan o mejoran el rendimiento fenólico (Osorio-Tobón, 2020).

Técnicas Analíticas de Cuantificación de Fenoles Totales

La determinación cuantitativa de metabolitos específicos se fundamenta en principios biofísicos de interacción entre la luz y la materia. De acuerdo con la ley de Beer-Lambert, la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración del analito. Para la cuantificación de fenoles totales, el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu permite medir la capacidad reductora total del extracto. Este ensayo se basa en una reducción química que involucra reactivos de tungsteno y

molibdeno, cuya reacción con los compuestos fenólicos genera un complejo de color azul con un amplio espectro de absorción de luz alrededor de los 760 nm (Khoddami et al., 2013).

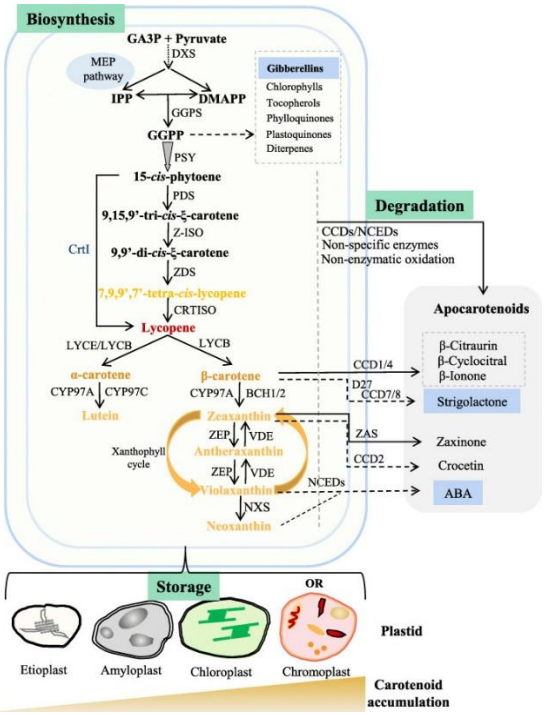
Si bien los métodos espectrofotométricos son útiles para la estimación rápida y económica de fenoles totales o de subgrupos estructurales como los flavonoides totales, que pueden cuantificarse mediante ensayos con cloruro de aluminio ($AlCl_3$) midiendo la absorbancia en el rango de 410 a 423 nm (Tristantini & Amalia, 2019), estos ensayos no permiten cuantificar los fenoles individualmente (Khoddami et al., 2013). Por ello, para la separación, identificación y cuantificación precisa de compuestos fenólicos específicos, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) constituye la técnica de preferencia. En este tipo de análisis instrumental, los metabolitos se detectan comúnmente acoplando el sistema cromatográfico a detectores UV-VIS o de arreglo de diodos (PDA o DAD), operando en longitudes de onda que oscilan entre los 190 y 380 nm (Khoddami et al., 2013; Omoba et al., 2015).

Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos isoprenoides que cumplen funciones críticas en la fotoprotección y la recolección de luz durante la fotosíntesis. Además de su rol biológico intrínseco, los carotenoides de las especies altoandinas son de alto interés medicinal debido a su capacidad para modular la respuesta inmune y su actividad provitamínica en humanos (Coyago-Cruz et al., 2023).

Figura 5

Diagrama esquemático de la vía metabólica de los carotenoides en los plastidios.



Nota. Obtenido de (Sun et al., 2022).

Técnicas de extracción de carotenoides

La elección del método de extracción de carotenoides constituye uno de los pasos más críticos y complejos en el análisis fitoquímico, principalmente debido a la extrema sensibilidad de estos pigmentos isoprenoides a factores ambientales como la luz, el oxígeno y las altas temperaturas. La literatura científica clasifica estas técnicas en métodos convencionales y avanzados. Las metodologías tradicionales, como la maceración y la extracción Soxhlet, aunque históricamente utilizadas por su simplicidad operativa y alta capacidad de recuperación, presentan limitaciones sustanciales. En particular, la exposición prolongada a solventes tóxicos y las elevadas temperaturas de ebullición inherentes al sistema Soxhlet inducen la degradación térmica y promueven la isomerización cis-trans de los carotenoides, alterando irreversiblemente la composición original de la muestra biológica (Saini & Keum, 2018).

Frente a estas limitaciones, las tecnologías de extracción avanzadas han ganado protagonismo analítico. Alternativas como la Extracción Asistida por Microondas (MAE) y la Extracción de Líquidos Presurizados (PLE) ofrecen mayor rapidez y menor consumo de reactivos. Asimismo, técnicas de vanguardia como la Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE) permiten aislar pigmentos de alta pureza utilizando solventes amigables con el medio ambiente, como el dióxido de carbono en estado supercrítico (T. Sun et al., 2022). Sin embargo, a pesar de sus ventajas medioambientales, estos sistemas avanzados demandan altos costos de instrumentación, son incompatibles con matrices de alta humedad y, en el caso del ultrasonido (UAE), están sujetos a variaciones de reproducibilidad por el desgaste de los equipos (Coyago-Cruz et al., 2023).

Técnicas Analíticas de Cuantificación

Una vez finalizada la extracción, la determinación de la concentración de pigmentos exige métodos adaptados a los objetivos y la escala de la investigación. En la analítica moderna, la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) acoplada a detectores de arreglo de diodos (DAD) es unánimemente considerada como el método de referencia o "estándar de oro" (Sun et al., 2022). La principal fortaleza del HPLC radica en su altísima resolución cromatográfica, lo que permite separar físicamente e identificar carotenoides individuales, como el beta caroteno, evadiendo por completo las interferencias químicas propias de la matriz vegetal (Saini & Keum, 2018). Paralelamente, enfoques recientes promueven el acoplamiento en línea de técnicas cromatográficas en sistemas cerrados, esto minimiza el tiempo de exposición de la muestra al oxígeno y la luz ultravioleta, incrementando la exactitud del dato.

No obstante, los métodos cromatográficos resultan costosos y poco prácticos cuando el objetivo es establecer un tamizaje o cribado inicial de metabolitos totales en múltiples muestras. Por ello, para los propósitos cuantitativos de este estudio, se optó por la espectrofotometría UV-Vis. Este método se

fundamenta en la cuantificación de la luz absorbida por el extracto en el espectro visible, generalmente con picos de lectura alrededor de los 450 a 470 nm. Aunque autores como Saini & Keum (2018) advierten que la espectrofotometría presenta una menor especificidad y tiende a sobreestimar el contenido de carotenoides debido a la superposición lumínica generada por las clorofilas y otras xantofilas co-extraídas, sigue siendo una herramienta validada, robusta y ampliamente aceptada para el análisis de recursos biológicos inexplorados (Coyago-Cruz et al., 2023).

Marco conceptual

Carotenoides: Son pigmentos orgánicos lipofílicos del grupo de los isoprenoides, sintetizados naturalmente por las plantas y organismos inferiores. Cumplen funciones esenciales en la recolección de luz y fotoprotección de los tejidos vegetales, y presentan una alta capacidad antioxidante y actividad provitamínica de interés biotecnológico (Coyago-Cruz et al., 2023).

Compuestos fenólicos (Fenoles): Grupo diverso de metabolitos secundarios caracterizados químicamente por la presencia de al menos un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo. Se destacan por su potente actividad antioxidante, actuando como mecanismos de defensa frente a la radiación ultravioleta y el estrés oxidativo (Coyago-Cruz et al., 2023).

Ecosistema altoandino (Páramo): Bioma neotropical de alta montaña situado por encima de la línea de bosque continuo. Se caracteriza por condiciones ambientales extremas, como bajas temperaturas, alta radiación ultravioleta y suelos volcánicos, factores que condicionan el alto nivel de endemismo y la adaptación fitoquímica de su flora (Aguirre-Mendoza et al., 2015).

Metabolitos secundarios: Compuestos orgánicos sintetizados por el organismo vegetal que no participan directamente en las funciones fisiológicas primarias (crecimiento, desarrollo o reproducción), pero que son indispensables para la supervivencia, adaptación ecológica y defensa de la planta frente a factores de estrés biótico y abiótico (Lock & Rojas, 2019).

Capítulo III

Metodología

Enfoque de investigación

La presente investigación se realiza con un enfoque cuantitativo, basándose en la recolección, medición y análisis numérico de variables asociadas a la calidad comercial (humedad, cenizas, pH, acidez titulable y sólidos solubles) además de la concentración de metabolitos secundarios como carotenoides y fenoles totales presentes en los tejidos vegetales de dos especies altoandinas de la familia Asteraceae.

Tipo y diseño de investigación

La investigación presenta un diseño experimental de laboratorio, transversal, con un alcance descriptivo comparativo. Es transversal dado que las muestras fueron recolectadas en un mismo periodo de tiempo, tiene un carácter descriptivo porque detalla el perfil de calidad comercial y fitoquímico de las especies estudiadas. Finalmente es comparativo debido a que evalúa las variaciones de compuestos en función del órgano, es decir, hojas frente a inflorescencias y la zona de recolección siendo Paluguillo frente a la Reserva Ecológica Antisana.

Población y muestra

La población de estudio de la investigación abarca especies vegetales herbáceas y arbustivas nativas de ecosistemas altoandinos, las muestras se constituyen por hojas e inflorescencias de dos plantas de la familia Asteraceae: *Hypochaeris sessiliflora* (Blanca) y *Chuquiraga jussieui* (Chuquiragua). La recolección se realiza en dos zonas de páramo con características altitudinales y climáticas distintas cuyas ubicaciones espaciales se ilustra en las siguientes figuras.

Figura 6

Ubicación geográfica de los puntos de recolección de Hypochaeris sessiliflora en los páramos de Paluguillo y Antisana.

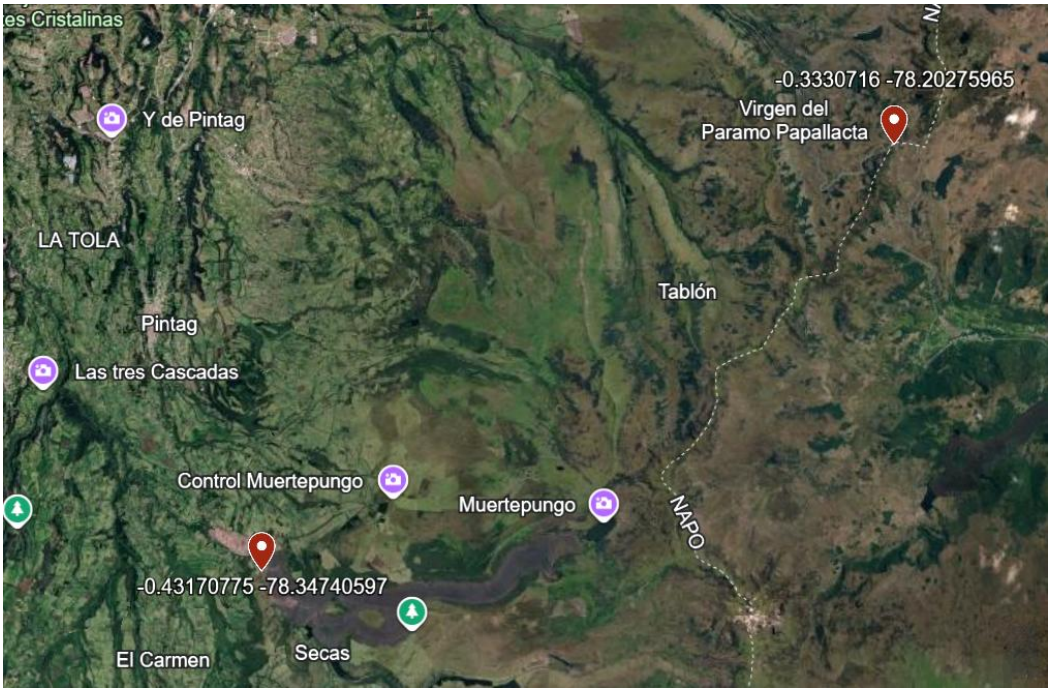
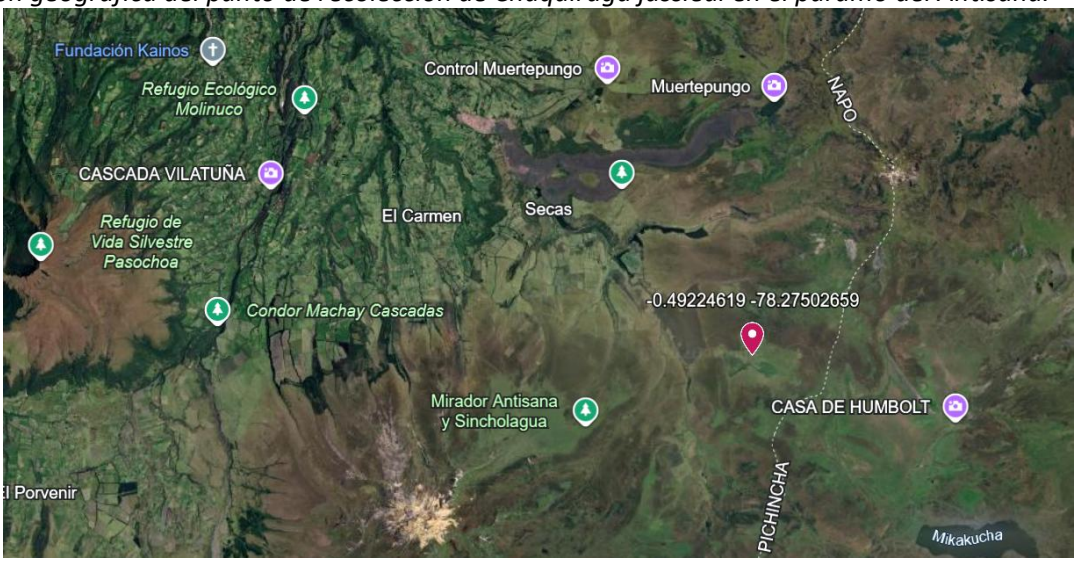


Figura 7

Ubicación geográfica del punto de recolección de Chuquiraga jussieui en el páramo del Antisana.



Técnica e instrumento

La recolección de muestras vegetales de las dos especies *Hypochaeris sessiliflora* (Blanca) y *Chuquiraga jussieui* (Chuquiragua) se realizó durante el mes de mayo del presente año, el proceso de toma de muestra se realiza considerando que son especímenes sensibles en espacios protegidos por ende se evita la remoción excesiva de material vegetal a fin de no afectar su presencia en el ecosistema. A cada punto de recolección se le atribuye una accesión misma que fue fotografiada con la aplicación TimeStamp Camera permitiendo el registro de la geolocalización y altitud. Una vez el material vegetal es clasificado por inflorescencias y hojas se separa una porción a fin de realizar los ensayos de calidad comercial (Humedad, cenizas, acidez titulable, pH y sólidos solubles), el resto se coloca en fundas ziploc etiquetadas y se almacena a -80°C por al menos 24h para realizar el análisis fitoquímico correspondiente.

Análisis fisicoquímico

Humedad

La cantidad de humedad presente en las muestras se determinó mediante el método gravimétrico por secado en estufa, el mismo empieza pesando aproximadamente 1 g de muestra por triplicado en cajas petri previamente taradas y pesadas. Manteniendo la separación por tipo de órgano vegetal para cada especie, se introducen a la estufa (Memmert Be 20) a una temperatura de 110°C por un periodo aproximado de 5 horas, posterior las muestras se colocan en un desecador hasta que se encuentren a temperatura ambiente momento en el que pueden ser pesados en una balanza analítica (Mettler Toledo ML204T/0). La cantidad de humedad se calcula mediante la aplicación de la fórmula que emplea (Hay et al., 2023) :

$$\%Humedad = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} x100$$

Cenizas

El valor de las cenizas presentes en las muestras se determina por medio del proceso de Romero et al. (2017) se pesa 1 g de muestra dependiendo hojas o inflorescencias en crisoles previamente tarados, por triplicado. Se colocaron en la mufla a una temperatura de 550 °C por un lapso de 4-6 horas, hasta que la ceniza se observe de color blanco, manteniendo encendida la campana de extracción. Alcanzada la carbonización de las muestras vegetales se colocan en un desecador para reducir su temperatura pesar en una balanza analítica, para determinar el porcentaje de ceniza se emplea la relación entre la muestra fresca y carbonizada mediante la siguiente fórmula:

$$\%Cenizas = \frac{Peso\ ceniza}{Peso\ muestra\ fresca} x100$$

Acidez titulable

Se pesa un gramo de muestra vegetal triturada en un mortero por triplicado, seguido se diluye en 20 mL de agua destilada, se agregó 3 gotas de fenoftaldeína al 0.1% a fin de generar la coloración de la titulación, misma que se realiza con la solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, y el porcentaje de acidez resulta de aplicar la siguiente fórmula:

$$\%Acidez\ titulable = \frac{V_{NaOH} * meq_{Ácido} * factor\ de\ dilución * 100}{Peso\ de\ la\ muestra * v_F}$$

Donde:

V_{NaOH}: Volumen total de hidróxido de sodio utilizado para titular la muestra

$meq_{Ácido}$: Miliequivalente del ácido

v_F : Volumen de la muestra titulada

Grados Brix

Se macera la muestra vegetal según el órgano a analizar, dada la falta de humedad y poca cantidad de muestra, se disuelve 1 g de la muestra triturada en un volumen de agua destilada 3 veces

mayor a su peso, con la solución homogénea se coloca en un refractómetro limpio y se realiza la medición por triplicado.

Potencial de hidrógeno (pH)

Se pesó aproximadamente 1g de muestra según el órgano siendo hojas e inflorescencias las variables a analizar, se diluye en un volumen de agua destilada 5 veces mayor a su peso. Posterior se mide por triplicado con un potenciómetro automático el valor de las muestras.

Análisis fitoquímico

La fracción de muestra que se encuentra almacenada en el congelador de -80°C, se deshidrata mediante liofilización, posterior se tritura mediante molienda mecánica para ser almacenada en frascos ámbar etiquetados previamente.

Extracción y cuantificación de fenoles totales

Para la extracción y cuantificación de fenoles totales de las muestras se emplea el siguiente protocolo propuesto por Coyago-Cruz et al. (2023), se pesó por duplicado 20 mg de muestra liofilizada en tubos Eppendorf de 2 mL. Se le adiciona a cada tubo 1 mL de metanol acidificado, se homogeniza las muestras en Vortex en lapsos de 2-5 min, se colocó en ultrasonido durante 3 min, para culminar la extracción se centrifuga a 14 000 RPM a 4°C por 5 min, se recuperó el sobrenadante en un tubo Eppendorf nuevo. Se recupera el sobrenadante en otras dos ocasiones con volúmenes de 500 uL de la solución de metanol acidificado. Finalizada la extracción se refrigera a -20°C poner el tiempo. En una microplaca se colocó 20 uL de sobrenadante, en cada pocillo se agrega 100 uL de reactivo Folin-Ciocalteu (1:4), se añade 75 uL de carbonato de sodio. Para que ocurra la reacción colorimétrica se requiere oscuridad por lo que se envuelve la placa en papel aluminio y se dejó reposar por 2 horas. La cuantificación de fenoles se realizó en un lector de microplaca, mediante la elaboración de una curva de

calibración con el estándar de ácido gálico en un rango de concentración de 0 a 0.100 mg/mL a una longitud de onda de 750 nm.

Extracción y cuantificación de carotenoides

El proceso de extracción de carotenoides se empieza pesando 20 mg de muestra liofilizada en tubos ependorff de 2mL, se mezcla con 1 mL de solución metanol: acetona: diclorometano (1:1:2) seguido de homogenización mediante vortéx, llevando a un proceso de ultrasonido por 3 min. Después se centrifuga a 14 000 RPM por 3 minutos a 4°C, se recupera el sobrenadante, repitiendo el proceso hasta que la biomasa pierda su coloración, pero con una solución de metanol acidificado. Se retira el solvente en rotavapor a una temperatura de 20°C. Posterior se procede a suspender la muestra seca en 2 mL de etanol para ser traslada a una microplaca de 96 pocillos, se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 450 nm mediante un lector de microplaca, considerando la curva de calibración a partir de un estándar de 5 mg de β-caroteno disuelto en 25 mL de etanol (Coyago-Cruz et al., 2023).

Validación y confiabilidad del instrumento

La validez de los protocolos analíticos aplicados en la esta investigación se fundamenta en su previa optimización, estandarización y validación en los laboratorios del Grupo de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas a los Recursos Biológicos de la Universidad Politécnica Salesiana, bajo la dirección de la Dra. Elena Coyago-Cruz. Esta plataforma metodológica ha sido empleada y ratificada como altamente eficiente en investigaciones previas orientadas a la caracterización fisicoquímica y extracción de metabolitos secundarios en diversas matrices florales y vegetales del ecosistema altoandino ecuatoriano (Coyago-Cruz et al., 2023). Al adoptar una metodología validada empíricamente para la flora de páramo, se garantiza que los parámetros críticos de extracción (polaridad de solventes, tiempos de disrupción y control térmico) son los óptimos para preservar la integridad fitoquímica de las muestras vegetales de *H. sessiliflora* y *C. jussieui.*

Para asegurar la confiabilidad, repetibilidad y reproducibilidad de los datos empíricos, la fase experimental se ejecutó bajo estrictos criterios de aseguramiento de la calidad analítica estandarizados para matrices vegetales complejos (Granato et al., 2016). Específicamente, los ensayos fisicoquímicos para determinar humedad y cenizas se procesaron por triplicado independiente para cada muestra, minimizando así el error aleatorio. De igual forma, las cuantificaciones espectrofotométricas de fenoles totales y carotenoides se realizaron por duplicado técnico. Este diseño riguroso permitió el tratamiento estadístico adecuado de los datos, expresando los resultados finales mediante medidas de tendencia central y dispersión (promedio ± desviación estándar). Adicionalmente, la trazabilidad y exactitud de las lecturas ópticas se respaldaron mediante la construcción de curvas de calibración utilizando estándares analíticos certificados de alta pureza (ácido gálico y beta caroteno), cumpliendo con el rigor instrumental de exigir coeficientes de determinación superiores a 0.9 como criterio ineludible de linealidad y precisión del ensayo (Granato et al., 2016).

Consideraciones éticas

Esta investigación se desarrolla respetando los principios éticos que conllevan realizar investigación científica además de la normativa ambiental correspondiente. La recolección de material vegetal se ejecutó bajo el Contrato Marco de Acceso a los Recursos Genéticos N.º MAATE-DBI-CM-2024-0381 mismo que lo avala el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Dicho permiso autoriza el acceso a recursos genéticos y biológicos procedentes de especies vegetales cuya ubicación se encuentra en los páramos ecuatorianos con fines de investigación, conservación y manejo.

Considerando este contexto, el muestreo en la Reserva Ecológica Antisana y en el páramo de Paluguillo se realiza bajo criterios de mínimo impacto. Se aplicó el muestreo de las zonas vegetales necesarias siendo estas inflorescencias y hojas, en la cantidad necesaria para los análisis a fin de

garantizar que los análisis bromatológicos y fitoquímicos, pero sin comprometer la viabilidad y disponibilidad en el ecosistema de estas plantas. Es importante mencionar que las especies evaluadas en este trabajo de investigación, es decir, *Chuquiraga jussieui* e *Hypochaeris sessiliflora* no se encuentran dentro de la categoría de amenaza crítica, por lo que la toma de muestra en la zona no afectó a poblaciones vulnerables.

Dentro del laboratorio los procesos de manipulación, extracción y cuantificación de compuestos bioactivos se rigieron a los protocolos establecidos en la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Capítulo IV

Análisis y discusión de los resultados

Con las muestras acondicionadas para los ensayos químicos aplicados se obtuvieron resultados empezando con los parámetros fisicoquímicos en los diferentes órganos vegetales (inflorescencias y hojas) de *Hypochaeris sessiliflora* procedentes de Paluguillo y Antisana, así como de *Chuquiraga jussieui* recolectada en Antisana. Los resultados consolidados, expresados como la media de tres repeticiones analíticas más su desviación estándar, se presentan a continuación:

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Hypochaeris sessiliflora (Blanca).

Órgano y Localidad	Humedad (%)	Cenizas (%)	Acidez Titulable (%)	pH a 20 °C	Sólidos Solubles (°Brix)
Flor (Paluguillo)	88.57 ± 0.95	0.63 ± 0.10	0.822 ± 0.380	5.76 ± 0.09	1.00 ± 0.00
Hoja (Paluguillo)	85.62 ± 0.30	2.15 ± 0.10	0.009 ± 0.002	5.89 ± 0.00	1.00 ± 0.00
Flor (Antisana)	88.34 ± 1.00	1.07 ± 0.07	0.083 ± 0.036	6.23 ± 0.03	0.10 ± 0.00
Hoja (Antisana)	87.96 ± 0.63	1.90 ± 0.02	0.063 ± 0.001	6.24 ± 0.03	1.87 ± 0.06

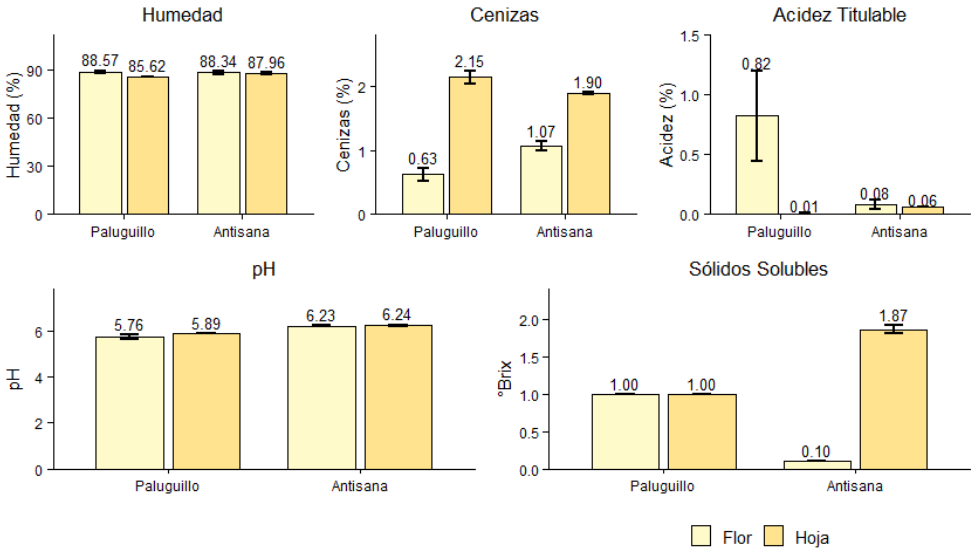
Nota. Elaboración propia.

La evaluación fisicoquímica de *Hypochaeris sessiliflora* (Tabla 2 y Figura 8) indica que los parámetros fisicoquímicos varían significativamente tanto en función del órgano vegetal analizado (inflorescencia frente a hoja) como de la localidad de procedencia (Paluguillo frente al Antisana), aspectos como la heterogeneidad ambiental y composición del suelo causadas por la altitud de ecosistemas altoandinos tienden a afectar la cantidad de minerales, la regulación del pH, las compensaciones en la asignación de carbohidratos y el agua (Y. Li et al., 2025; K. Zhang et al., 2025). Las inflorescencias mantienen una retención hídrica casi idéntica en ambas localidades (88.57% en

Paluguillo y 88.34% en el Antisana). Las hojas presentan valores ligeramente inferiores a las flores, pero presentan alta turgencia (>85%).

Figura 8

Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Hypochaeris sessiliflora



Se observó una clara tendencia a la acumulación de minerales en el tejido foliar, donde los órganos vegetativos presentan una mayor dependencia de las reservas de nutrientes del suelo que los órganos reproductivos, dado que la heterogeneidad del suelo, determinada por la altitud, modifica las estrategias de asignación específicas de cada órgano en lugar de desplazar todos los tejidos de forma uniforme (Y. Li et al., 2025; Ma et al., 2025; K. Zhang et al., 2025).

En las dos localidades, las hojas presentan un mayor porcentaje de cenizas en comparación con las flores (2.15% frente a 0.63% en Paluguillo, y 1.90% frente a 1.07% en el Antisana). Mientras las hojas mantuvieron niveles de ceniza relativamente similares entre zonas, las inflorescencias del Antisana casi duplicaron su contenido mineral respecto a las de Paluguillo, esta diferencia puede estar asociada a que en los ecosistemas alpinos la fertilidad del suelo, la disponibilidad de fósforo y propiedades del suelo

suelen ser factores de cómo se distribuyen los nutrientes entre hojas, raíces, ramas y flores (Y. Li et al., 2025; Y. Liu et al., 2024; K. Zhang et al., 2025).

Respecto a los valores de acidez y pH se identifica diferencias marcadas dependiendo del sector de muestreo. Las muestras de Antisana (3384.9 m.s.n.m) presentan valores de pH (en flores 6.23 y en hojas 6.24) con tendencia a la neutralidad comparado con el perfil más ácido (en flores 5.76 y en hojas 5.89) de las muestras de Paluguillo (4086.7 m.s.n.m), confirmando que el ambiente ejerce un impacto en el desarrollo de la especie como menciona Zhao et al. (2024) el pH del tejido vegetal en los sistemas alpinos está fuertemente influenciado por la humedad y a su vez por el pH del suelo. El aumento de altitud de los ecosistemas tiende a desencadenar que los suelos se vuelvan más ácidos, la respuesta de las plantas es proporcional respecto a su capacidad de absorción de nutrientes y respuesta metabólica (Gu et al., 2024; Hashim et al., 2020), lo que justifica la mayor acidez foliar y floral detectada en Paluguillo.

Los sólidos solubles indica un valor máximo en las hojas de Antisana de 1.87 °Brix y el mínimo en sus inflorescencias de 0.10 °Brix, mientras que en Paluguillo este parámetro se mantuvo constante en los dos tejidos con un valor de 1.00 °Brix, el fenómeno descrito en las hojas de Antisana se debe a que los azúcares solubles generalmente se acumulan en los tejidos vegetativos a gran altitud bajo estrés por frío y sequía (X. Liu et al., 2026; Magaña Ugarte et al., 2019; P. Sun et al., 2025).

Tabla 3.

Parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Chuquiragua recolectadas en el Antisana.

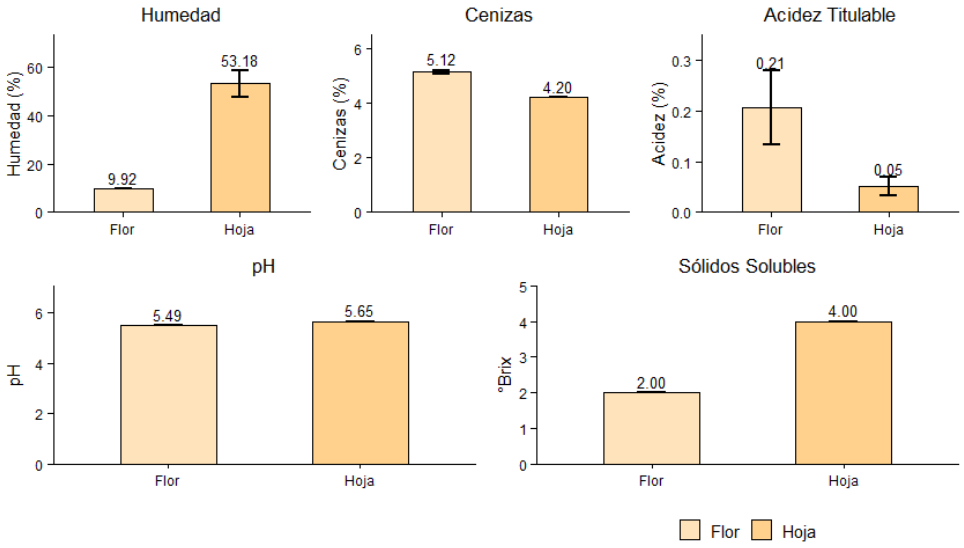
Órgano	Humedad (%)	Cenizas (%)	Acidez Titulable (%)	pH a 20 °C	Sólidos Solubles (°Brix)
Flor	9.92 ± 0.01	5.12 ± 0.08	0.207 ± 0.074	5.49 ± 0.00	2.00 ± 0.00
Hoja	53.18 ± 5.49	4.20 ± 0.01	0.052 ± 0.018	5.65 ± 0.01	4.00 ± 0.00

Nota. Elaboración propia.

En cuanto a la segunda especie evaluada Chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*) recolectada en la Reserva Ecológica Antisana (Tabla 3 y Figura 9) muestra un perfil fisicoquímico fuertemente influenciado por la naturaleza de la especie y su adaptación a las condiciones extremas de alta montaña.

Figura 9

Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en hojas e inflorescencias de Chuquiraga jussieui



El rasgo más distintivo de esta especie es la bajísima retención hídrica en comparación con otras plantas del páramo, este aspecto refleja una estrategia de conservación del agua más compensación osmótica por parte de la planta (Doležal et al., 2024; Ibrahim et al., 2022). Las hojas registraron una humedad del 53.18%, un valor que evidencia mecanismos de limitación de pérdida de agua en denominda la esclerofilia foliar, el engrosamiento de la cutícula epidérmica y la drástica reducción del área de transpiración. Sin embargo, el contraste es extremo en el tejido floral, que posee apenas un 9.92% de humedad, esto se puede estar relacionado con que las plantas alpinas y de alta montaña redistribuyen la biomasa, alejándola de los brotes transpirantes y dirigiéndola hacia las raíces o las bases subterráneas del tallo, para mejorar la captación o el almacenamiento de agua y limita la pérdida de agua en la superficie (Doležal et al., 2024; Z. K. Li & Zhang, 2025). Tanto hojas como flores demostraron una capacidad excepcional para concentrar minerales, alcanzando los valores más altos de todo el

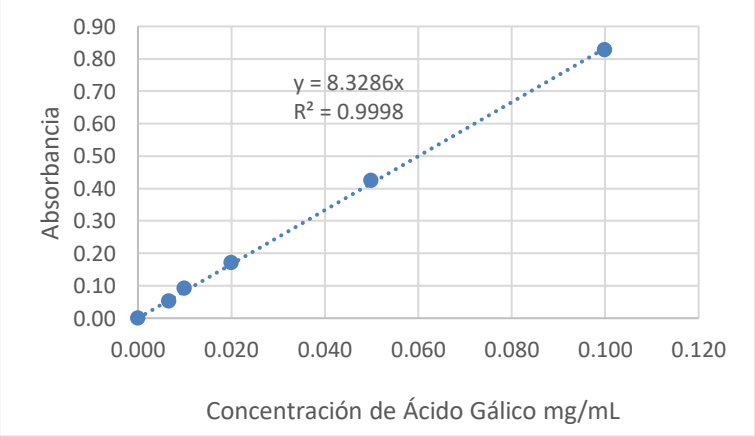
estudio. Las inflorescencias registraron un 5.12% de cenizas, seguidas por las hojas con un 4.20%, Aunque los tejidos vegetativos suelen reflejar más de cerca el suministro de nutrientes del suelo, la mayor acumulación de minerales en el tejido reproductivo sugiere una translocación activa de nutrientes hacia las flores, constituyendo una estrategia para asegurar el éxito reproductivo frente a las limitaciones del ecosistema (Binter & Doležal, 2026; S. Zhang et al., 2023).

Además, el tejido foliar acumula el doble de solidos solubles con 4.00 °Brix en comparación con las inflorescencias que tienen un valor de 2.00 °Brix, un comportamiento fisiológico acorde a la función fotosintética y de síntesis de reserva (Sabooni & Gharaghani, 2022). Por otro lado, las flores resultaron ser más ácidas, registrando un valor de acidez titulable de 0.207% y un pH de 5.49, comparación a la acidez de 0.052% de las hojas y un pH de 5.65. De manera general, *Chuquiraga jussieui* posee un perfil moderadamente ácido que junto con a la alta concentración de cenizas y sólidos solubles, resulta característico de su especiación metabólica.

La cuantificación de los metabolitos secundarios, se garantizó la linealidad, trazabilidad y exactitud del método espectrofotométrico mediante la construcción de curvas de calibración, la figura 8 muestra la la ecuación de la recta realizada con ácido gálico como estándar para la determinación de fenoles totales.

Figura 10

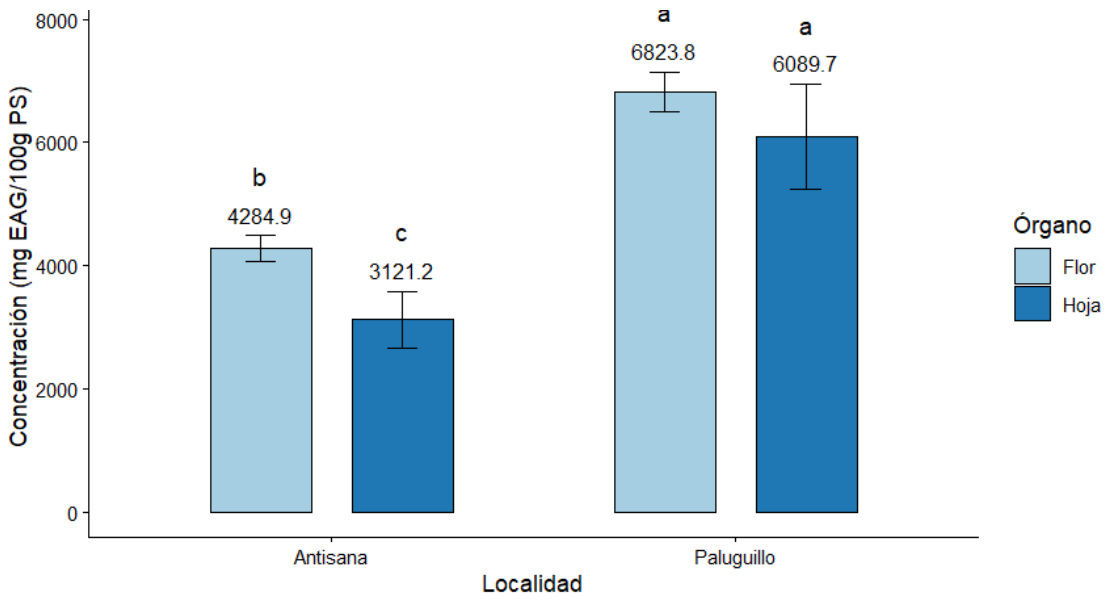
Curva de calibración para determinar fenoles totales



Nota. La ecuación de la recta se obtuvo por espectrofotometría a una absorbancia de 750nm

Figura 11

Valores promedio de la concentración de compuestos fenólicos totales en Hypochaeris sessiliflora



Nota. Letras minúsculas distintas sobre las barras, indican diferencia estadística

El análisis de fenoles totales en *H. sessiliflora* indica que la localidad de recolección es el factor más determinante para la biosíntesis de estos compuestos. Las plantas recolectadas en el sector de Paluguillo, independientemente del tejido analizado, presentaron concentraciones fenólicas masivas que superaron estadísticamente a las obtenidas en el Antisana. Las flores (6823.80 mg EAG/100g) como las hojas (6089.69 mg EAG/100g) de Paluguillo se ubicaron en el grupo de máxima significancia estadística (letra a). Se identifica en particular un valor mayor de compuestos fenólicos en las inflorescencias hecho que se justifica porque las Asteráceas de gran altitud exhiben plasticidad fitoquímica al reprogramar el metabolismo de los fenilpropanoides bajo estrés por frío, rayos UV, sequía y estrés oxidativo, y luego desplegar flavonoides, ácidos fenólicos y antioxidantes relacionados en flores e inflorescencias donde protegen los tejidos reproductivos expuestos y ayudan a preservar la aptitud (Rao & Zheng, 2025; Sharma et al., 2019). En la investigación de Zidorn (2009) se demuestra que las inflorescencias muestran un enriquecimiento de compuestos fenólicos relacionado con la altitud,

observado inicialmente como derivados de luteolina superiores en poblaciones *de Scorzoneroides helvetica* de gran altitud.

Este comportamiento sugiere que las condiciones microclimáticas específicas de Paluguillo actúan como un fuerte desencadenante sistémico de la ruta del ácido shikímico (vía principal de síntesis de fenoles) en toda la planta. De acuerdo con (Hofstede et al., 2023), los ecosistemas de páramo presentan una alta heterogeneidad espacial; por lo tanto, variables abióticas locales como fluctuaciones extremas de temperatura, diferencias en la composición mineral del suelo, estrés hídrico o una mayor presión por herbivoría, inducen una acumulación de metabolitos secundarios generalizada como mecanismo principal de defensa bioquímica.

Un hallazgo ecológicamente relevante de esta investigación es evidenciar cómo la planta gestiona sus recursos energéticos dependiendo del nivel de estrés del ecosistema. En Paluguillo, no existen diferencias significativas entre el contenido fenólico de la flor y la hoja (al compartir la letra a), lo que indica una inversión metabólica homogénea. La planta se encuentra en un estado donde posee la capacidad energética para saturar de antioxidantes todos sus tejidos.

Sin embargo, frente a las condiciones del Antisana, la especie modifica drásticamente su fisiología y se ve obligada a priorizar la distribución de sus metabolitos. En esta localidad, la flor presentó una concentración significativamente mayor (letra b, 4284.89 mg EAG/100g) que la hoja, desplazada al nivel estadístico más bajo (letra c, 3121.21 mg EAG/100g). Está marcada diferenciación metabólica está acorde a lo reportado por Zidorn (2009), quien señala que las especies de la familia Asteraceae adaptan su perfil fitoquímico de manera plástica según la severidad del entorno altoandino.

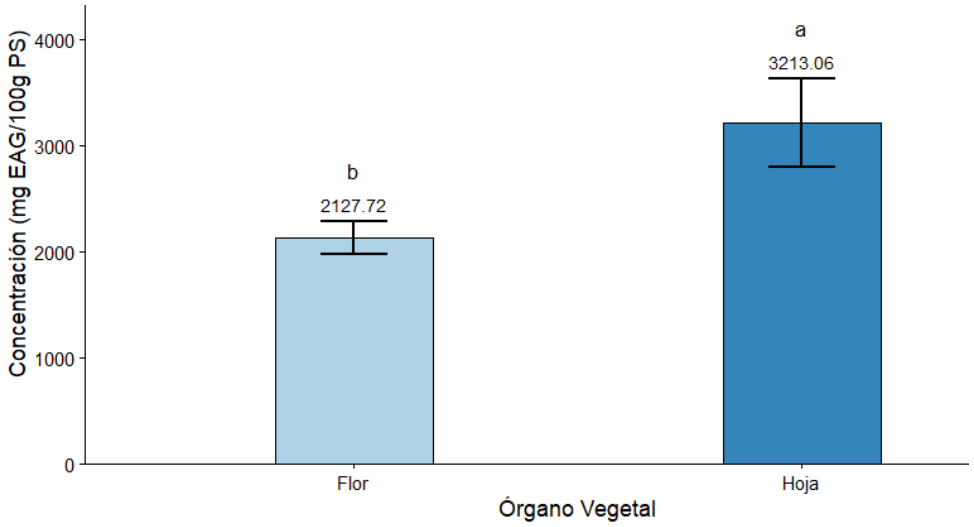
La superioridad estadística de los fenoles en la flor del Antisana frente a su propia hoja tiene una explicación biológica fundamental para la supervivencia y perpetuación de la especie. En condiciones de alta montaña extrema, proteger el tejido reproductivo se vuelve un factor crítico. Los compuestos fenólicos, especialmente la subfamilia de los flavonoides, cumplen un rol dual en las flores: no solo

actúan como pigmentos cromáticos para la atracción de los escasos polinizadores del páramo, sino que funcionan como un potente protector solar fisiológico (Del Valle et al., 2020; Narbona et al., 2025).

Estos compuestos absorben eficientemente la letal radiación ultravioleta (UV-B), que es notablemente intensa a mayores altitudes. Al concentrar su reserva de fenoles en la inflorescencia, *H. sessiliflora* puede resguardar el frágil ADN del polen y de los óvulos contra el daño oxidativo y la mutagénesis celular (Del Valle et al., 2020; Sharma et al., 2019).

Figura 12

Valores promedio de la concentración de compuestos fenólicos totales en Chuquiraga jussieui



Nota. Letras minúsculas distintas sobre las barras, indican diferencia estadística

Para *C. jussieui* en el Antisana, la tendencia fue inversa a la observada en *H. sessiliflora*. La prueba T de Student confirmó una diferencia significativa (T = -4.89, p = 0.0027) entre órganos, donde la hoja (3213.06 ± 415.53 mg EAG/100g PS) obtuvo el nivel a, superando estadísticamente a la flor (2127.72 ± 156.71 mg EAG/100g PS, nivel b).

Esta superioridad fenólica foliar responde a la anatomía esclerófila de chuquiragua, sus hojas duras y coriáceas, adaptadas para resistir vientos helados y desecación extrema, requieren una inversión constante en fenoles estructurales y antioxidantes. Esta superioridad fenólica foliar concuerda con lo

reportado por Guerrero Bonilla et al. (2020), quienes demostraron que las hojas de *C. jussieui* en los altos Andes ecuatorianos poseen un contenido significativamente mayor de fenoles, flavonoides y vitamina C en comparación con sus inflorescencias. Esta distribución metabólica se asocia a una fuerte respuesta adaptativa de la especie frente a las condiciones ambientales extremas del ecosistema de páramo, como las drásticas fluctuaciones térmicas y la alta exposición a la radiación (Guerrero Bonilla et al., 2020).

En *Hypochaeris sessiliflora* los compuestos fenólicos son una estrategia de defensa química inmediata y plástica, en *Chuquiragua jussieui* es un componente integral de su resistencia mecánica, lo que explica la estabilidad superior en sus tejidos foliares.

En el análisis de carotenoides totales en la figura 13 se indica la curva de calibración con β caroteno como estándar.

Figura 13

Curva de Calibración elaborada con β-Caroteno para la determinación de carotenoides

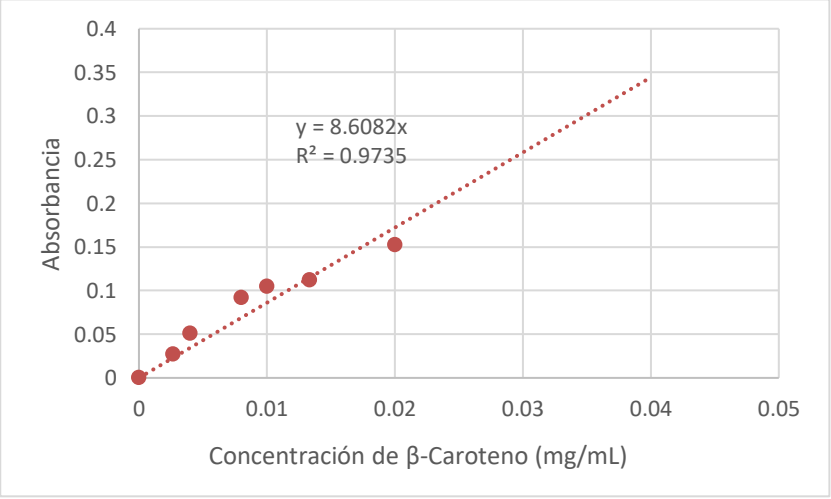
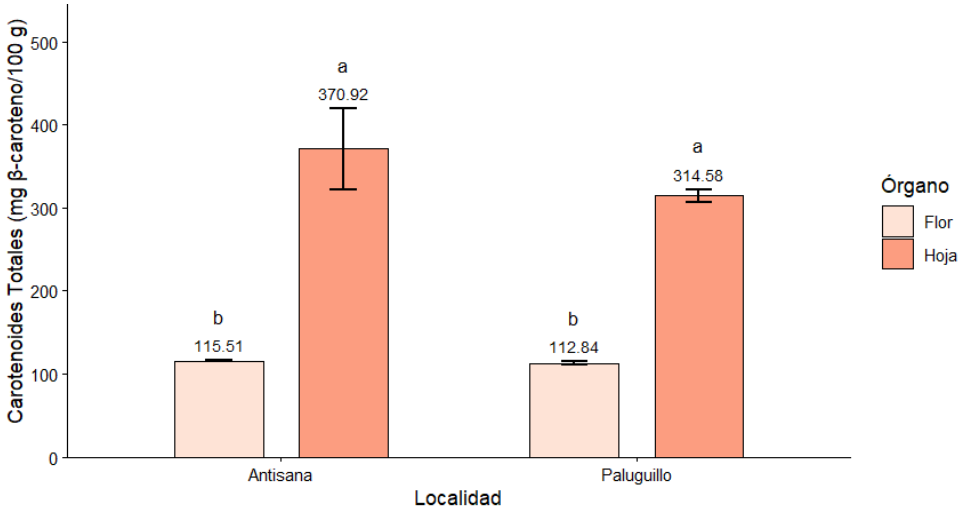


Figura 14

Valores promedio de la concentración de carotenoides totales en Hypochaeris sessiliflora



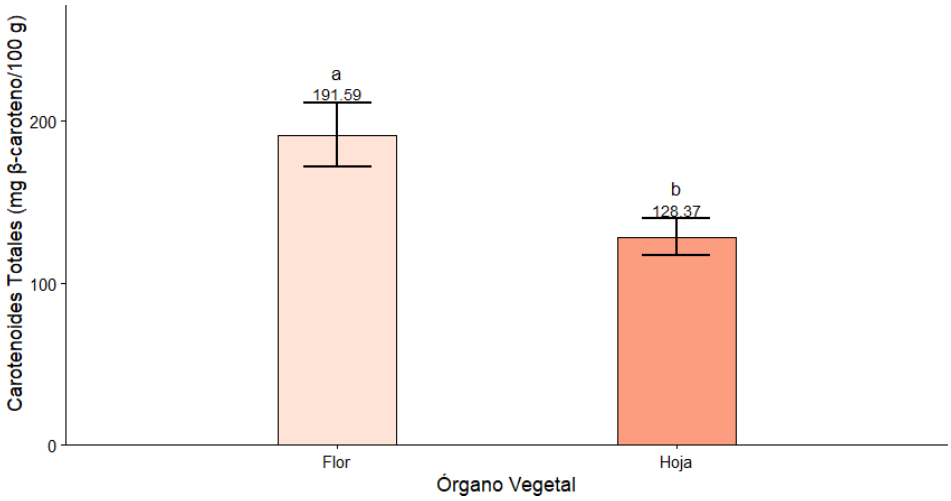
El perfil de carotenoides en *H. sessiliflora* mostra una dependencia estricta ligada al tipo de tejido, independientemente del piso altitudinal. Las hojas de las dos localidades presentan las concentraciones más altas, agrupándose en el mismo nivel de significancia estadística, con 370.92 mg β caroteno/100g en el Antisana y 314.58 mg β caroteno/100g en Paluguillo. Las inflorescencias presentan concentraciones menores: 115.51 mg β caroteno/100g y 112.84 mg β caroteno/100g para el Antisana y Paluguillo, respectivamente. Desde la perspectiva metabólica, la abrumadora concentración de estos pigmentos isoprenoides en las hojas de *H. sessiliflora* es congruente con su rol biológico fundamental como pigmentos accesorios en los complejos antena de los cloroplastos, siendo esenciales para la disipación del exceso de energía lumínica y la prevención del daño oxidativo en la maquinaria fotosintética (Ali & Vyas, 2025; Streb et al., 1998).

La cuantificación de carotenoides en *H. sessiliflora* (Figura 8) demostró que el tejido marca la pauta metabólica. Las hojas, sin importar la localidad, superaron drásticamente a las flores. Ecológicamente, esto demuestra la necesidad de la planta de incrementar su variedad de pigmentos fotoprotectores para disipar el exceso de energía lumínica y evitar la fotoinhibición del cloroplasto a

mayores altitudes. Las flores, mantuvieron una baja concentración constante (nivel c), indicando que no son el blanco principal de este metabolito.

Figura 15

Valores promedio de la concentración de carotenoides totales en Chuquiraga jussieui



En el caso de *Chuquiragua jussieui*, muestras recolectadas en Antisana muestra una tendencia descriptiva inversa, donde las flores presentan la mayor retención de carotenoides (191.59 mg de β caroteno/100g) frente a las hojas (128.37 mg/100g), comportamiento que invita a futuras validaciones inferenciales. La tendencia de *Chuquiragua jussieui* a acumular más carotenoides en sus flores responde a la necesidad de blindar con antioxidantes lipofílicos a las células germinales expuestas a las severas fluctuaciones térmicas del páramo, o bien como un mecanismo de pigmentación orientado a su interacción con polinizadores específicos.

Este hallazgo resulta de particular interés ecológico al contrastarlo con la literatura científica contemporánea. En un estudio reciente publicado en (Guerrero Bonilla et al., 2020) caracterizaron los compuestos bioactivos de *C. jussieui* en los Andes ecuatorianos y reportaron que las hojas, por lo general, exhiben un contenido de principios bioactivos superior al de las flores debido a la imperante necesidad de fotoprotección foliar. Sin embargo, la marcada hiperacumulación de carotenoides en el tejido floral documentada en este estudio revela una especialización fenológica puntual. Esta

acumulación responde a la necesidad de proteger con antioxidantes lipofílicos a las células germinales expuestas a las severas fluctuaciones térmicas y de radiación ultravioleta del páramo (X. Liu et al., 2025).

En las condiciones ecológicas del páramo del Antisana, asegurar la polinización dependiente de pocas especies animales es un desafío crítico, por ende, la planta invierte intensamente en la biosíntesis de carotenoides y su posterior acumulación en los cromoplastos de la corola (Narbona et al., 2025). En este contexto, estos metabolitos no cumplen una función primariamente fotosintética, sino que actúan como potentes pigmentos que aseguran la atracción biológica bajo condiciones de baja visibilidad o neblina.

Capítulo V

Conclusiones

Se realizó la recolección estratégica de material vegetal en ecosistemas altoandinos de dos especies vegetales (*Hypochaeris sessiliflora* y *Chuquiraga jussieui*), asegurando una representatividad biológica adecuada para el estudio de especies con potencial medicinal, pero cuidando de no afectar el ecosistema muestreado.

La evaluación fisicoquímica establece un antecedente técnico para las dos especies, corroborando que las condiciones del páramo (altitud, radiación UV-B, temperatura) modulan la composición fitoquímica, según se refleja en diferencias claras entre las áreas muestreadas; la localidad de Antisana aplica mayores presiones de estrés abiótico.

Se cuantificó el contenido de fenoles y carotenoides totales para las dos especies, demostrando una diferenciación metabólica clara, que depende de las condiciones ambientales en las que se encuentra la especie y su rol ecológico en el espacio.

Recomendaciones

Se sugiere realizar muestreos en diferentes épocas del año (época seca vs. lluviosa), ya que la disponibilidad de especies y la biosíntesis de metabolitos pueden fluctuar según la disponibilidad de recursos hídricos y el fotoperiodo estacional, factores que no pudieron ser cubiertos en la presente ventana temporal.

Dado que la espectrofotometría ofrece una visión general, se recomienda realizar análisis complementarios mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC-MS) para identificar los compuestos específicos responsables de la capacidad antioxidante y fotoprotectora de cada órgano.

Considerando el potencial comercial de estas especies, resulta pertinente evaluar la estabilidad química y la actividad antioxidante de los extractos bajo diferentes condiciones de almacenamiento, con

el fin de determinar su vida útil y viabilidad para aplicaciones en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria.

Se recomienda incluir un análisis fisicoquímico detallado del suelo (pH, disponibilidad de nutrientes y microelementos) en los sitios de recolección, ya que la disponibilidad de precursores minerales podría ser un factor subyacente que explique la alta acumulación de fenoles observada en Paluguillo.

Referencias

Aguirre, N., Ojeda, T., Paúl, L., Zhofre, E., & Mendoza, A. (2015). *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador Editores*. (978-9978-355-31–2).

Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, *4*, 200–214. https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2021.03.011

Ali, V., & Vyas, D. (2025). A transplantation study in the high-altitude ecosystem of Ladakh suggests site-specific microenvironment is key for physiological adaptation than altitude. *Plant Physiology and Biochemistry*, *220*, 109532. https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2025.109532

Almeida, A. P., Gonzalo, S., & Torres, R. (2017). Comparación de la composición florística en páramo de pajonal a diferentes rangos altitudinales en el Área de Conservación Hídrica Paluguillo, Ecuador. *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ*.

Bermúdez-Del Sol, A., Viteri-Rodríguez, J. A., Bravo-Sánchez, L. R., Ceballos-Villarreal, N. C., & Santo, D. E. (2025). Plantas medicinales como recurso terapéutico en el cantón Riobamba. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, *8*(3), 63–72. https://doi.org/10.62452/QCGAAR75

Bessada, S. M. F., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2015). Asteraceae species with most prominent bioactivity and their potential applications: A review. *Industrial Crops and Products*, *76*, 604–615. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.07.073

Binter, J., & Doležal, J. (2026). High-elevation angiosperms maintain extensive living storage tissue with large non-structural carbohydrate pools. *Annals of Botany*. https://doi.org/10.1093/AOB/MCAG023

Brück, S. A., Torres, B. D. M., & de Moraes Polizeli, M. de L. T. (2023). The Ecuadorian paramo in danger: What we know and what might be learned from northern wetlands. *Global Ecology and Conservation*, *47*, e02639. https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2023.E02639

Carlquist, S., Stuessy, T. F., & Urtubey, E. (2022). Distinctive wood anatomy of early-diverging Asteraceae: Barnadesioideae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *198*(3), 259–284. https://doi.org/10.1093/BOTLINNEAN/BOAB056

Casagrande, A., Ritter, M. R., Regina, R., Correspondence, K., Casagrande[1], A., Ritter[2], M. R., & Kubo[3], R. R. (2023). Traditional knowledge in medicinal plants and intermedicality in urban environments: a case study in a popular community in southern Brazil. *Ethnobotany Research and Applications*, *25*, 1–34. https://doi.org/10.32859/era.25.35.1-34

Castillo-Correa, M., Montalbán-Hernández, C., Navarro-Hortal, M. D., Peña-Guzmán, D., Badillo-Carrasco, A., Varela-López, A., Hinojosa-Nogueira, D., & Romero Márquez, J. M. (2025). Exploring the Influence of Extraction Methods, Solvents, and Temperature on Total Phenolic Recovery and Antioxidant Capacity in Olive Leaf Extracts: A Systematic Review with Quantitative Synthesis. *Separations 2025, Vol. 12, 12*(9). https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS12090236

Chandran, R., & Abrahamse, H. (2020). Identifying Plant-Based Natural Medicine against Oxidative Stress and Neurodegenerative Disorders. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/8648742

Chávez Velásquez, C. R., Sinaluisa Pilco, A. M., Lema Palaquibay, L. F., Velasteguí Arévalo, P. A., Ureña Moreno, J. E., Yépez Noboa, A. M., Latimer, J. B., & Sarmiento, F. O. (2024). The Heritagescape of Kichwa People of Nizag Built upon Traditional Plant Usage along a Chimborazo Variant of the Andean Road System or Qhapaq Ñan. *Geographies 2024, Vol. 4, Pages 537-562*, *4*(3), 537–562. https://doi.org/10.3390/GEOGRAPHIES4030029

Coyago-Cruz, E., Guachamin, A., Vera, E., Moya, M., Heredia-Moya, J., & Beltrán, E. (2023). Physicochemical characteristics and antioxidant capacity of Ecuadorian paramo flowers. *Bionatura*, *8*(1). https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.21

Cushquicullma-Colcha, D. F., Ati-Cutiupala, G. M., Guilcapi-Pacheco, E. D., Villacis-Uvidia, J. F., Brito-Mancero, M. Y., Vaca-Cárdenas, P. V., Vasco-Lucio, M. M., Muñoz-Jácome, E. A., & Vaca-Cárdenas, M. L. (2025). Influence of Altitude and Climatic Factors on the Floristic Composition of the Moorlands of the Guamote Canton, Ecuador: Key Revelations for Conservation. *Sustainability 2025, Vol. 17, 17*(2). https://doi.org/10.3390/SU17020383

Del Valle, J. C., Buide, M. L., Whittall, J. B., Valladares, F., & Narbona, E. (2020). UV radiation increases phenolic compound protection but decreases reproduction in Silene littorea. *PLOS ONE*, *15*(6), e0231611. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0231611

Diaz Granados, M., & Barber, J. C. (2017). Geography shapes the phylogeny of frailejones (Espeletiinae Cuatrec., Asteraceae): A remarkable example of recent rapid radiation in sky islands. *PeerJ*, *2017*(2), e2968. https://doi.org/10.7717/PEERJ.2968/SUPP-5

Doležal, J., Chondol, T., Chlumská, Z., Altman, J., Čapková, K., Dvorský, M., Fibich, P., Korznikov, K. A., Ruka, A. T., Kopecký, M., Macek, M., & Řeháková, K. (2024). Contrasting biomass allocations explain adaptations to cold and drought in the world's highest-growing angiosperms. *Annals of Botany*, *134*(3), 401–414. https://doi.org/10.1093/AOB/MCAE028

Elomaa, P., Zhao, Y., & Zhang, T. (2018). Flower heads in Asteraceae—recruitment of conserved developmental regulators to control the flower-like inflorescence architecture. *Horticulture Research 2018 5:1*, *5*(1), 36-. https://doi.org/10.1038/s41438-018-0056-8

Ezcurra, C. (2002). Phylogeny, Morphology, and Biogeography of Chuquiraga, an Andean-Patagonian Genus of Asteraceae-Barnadesioideae. *The Botanical Review*, *68*(1), 153–170.

Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-Compound-Extraction Systems for Fruit and Vegetable Samples. *Molecules 2010, Vol. 15, Pages 8813-8826*, *15*(12), 8813–8826. https://doi.org/10.3390/MOLECULES15128813

Gil-Martín, E., Forbes-Hernández, T., Romero, A., Cianciosi, D., Giampieri, F., & Battino, M. (2022). Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*, *378*, 131918. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131918

Granato, D., Santos, J. S., Maciel, L. G., & Nunes, D. S. (2016). Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *80*, 266–279. https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2016.03.010

Gu, S., Wu, S., Zeng, W., Deng, Y., Luo, G., Li, P., Yang, Y., Wang, Z., Hu, Q., & Tan, L. (2024). High-elevation-induced decrease in soil pH weakens ecosystem multifunctionality by influencing soil microbiomes. *Environmental Research*, *257*, 119330. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2024.119330

Guerrero Bonilla, D. A., Granda-Albuja, M. G., Guevara, M., Iturralde, G. A., Jaramillo-Vivanco, T., Giampieri, F., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Bioactive compounds and antioxidant capacity of Chuquiraga jussieui J.F.Gmel from the highlands of Ecuador. *Natural Product Research*, *34*(18), 2652–2655. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1548450

Hashim, A. M., Alharbi, B. M., Abdulmajeed, A. M., Elkelish, A., Hassan, H. M., & Hozzein, W. N. (2020). Oxidative Stress Responses of Some Endemic Plants to High Altitudes by Intensifying Antioxidants and Secondary Metabolites Content. *Plants 2020, Vol. 9, 9*(7), 1–23. https://doi.org/10.3390/PLANTS9070869

Hay, F. R., Rezaei, S., Wolkis, D., & McGill, C. (2023). Determination and Control of Seed Moisture. *Seed Science and Technology*, *51*(2), 267–285. https://doi.org/10.15258/SST.2023.51.2.11

Hofstede, Robert., Mena V., Patricio., Suárez, Esteban., & Ulloa Ulloa, Carmen. (2023). Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro. *Los Páramos Del Ecuador: Pasado, Presente y Futuro, 2023, ISBN 978-9978-68-265-4, Págs. 246-281*, 246–281. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=977958&info=resumen&idioma=SPA

Ibrahim, I. A., Jabbour, A. A., Abdulmajeed, A. M., Elhady, M. E., Almaroai, Y. A., & Hashim, A. M. (2022a). Adaptive Responses of Four Medicinal Plants to High Altitude Oxidative Stresses through the Regulation of Antioxidants and Secondary Metabolites. *Agronomy 2022, Vol. 12, Page 3032*, *12*(12), 3032. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12123032

Ibrahim, I. A., Jabbour, A. A., Abdulmajeed, A. M., Elhady, M. E., Almaroai, Y. A., & Hashim, A. M. (2022b). Adaptive Responses of Four Medicinal Plants to High Altitude Oxidative Stresses through the Regulation of Antioxidants and Secondary Metabolites. *Agronomy 2022, Vol. 12, 12*(12). https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12123032

Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. *Molecules*, *18*(2), 2328. https://doi.org/10.3390/MOLECULES18022328

Kirusnaruban, K., Gasparre, N., Nandasiri, R., Eskin, M. N. A., & Rosell, C. M. (2025). Green Extraction of Wheat Phenolic Acids Using Microwave-Assisted Extraction. *Journal of Food Science*, *90*(5), e70225. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70225;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Lahlou, R. A., Carvalho, F., Pereira, M. J., Lopes, J., & Silva, L. R. (2024). Overview of Ethnobotanical–Pharmacological Studies Carried Out on Medicinal Plants from the Serra da Estrela Natural Park: Focus on Their Antidiabetic Potential. *Pharmaceutics 2024, Vol. 16, 16*(4). https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS16040454

Leon-Garcia, I. V., & Lasso, E. (2019). High heat tolerance in plants from the Andean highlands: Implications for paramos in a warmer world. *PLoS ONE*, *14*(11), e0224218. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0224218

Li, Y., Zhao, C., Wu, J., Ba, S., Liu, S., & Dai, P. (2025). Change in C, N, and P Characteristics of Hypericum kouytchense Organs in Response to Altitude Gradients in Karst Regions of SW China. *Plants 2025, Vol. 14, 14*(15). https://doi.org/10.3390/PLANTS14152307

Li, Z. K., & Zhang, D. C. (2025). Responses of biomass and non-structural carbohydrates to soil moisture gradient of two Carex species in an alpine meadow in Southeast Qinghai-Xizang Plateau. *BMC Plant Biology 2025 25:1*, *25*(1), 1141-. https://doi.org/10.1186/S12870-025-07006-7

Liu, X., Wu, J., Zhou, H., Gao, X., Ye, L., Huang, X., Zhang, X., Xiang, M., & Pan, Y. (2026). Physiological Responses of Dominant Alpine Plant Species to Environmental Gradients on the Tibetan Plateau. *Plants 2026, Vol. 15, 15*(5). https://doi.org/10.3390/PLANTS15050719

Liu, X., Zeng, T., Zhang, E., Bin, C., Liu, Q., Wu, K., Luo, Y., & Wei, S. (2025). Plant-based bioactives and oxidative stress in reproduction: anti-inflammatory and metabolic protection mechanisms. *Frontiers in Nutrition*, *12*, 1650347. https://doi.org/10.3389/FNUT.2025.1650347/FULL

Liu, Y., Zhao, X., Liu, W., Feng, B., Lv, W., Zhang, Z., Yang, X., & Dong, Q. (2024). Plant biomass partitioning in alpine meadows under different herbivores as influenced by soil bulk density and available nutrients. *CATENA*, *240*, 108017. https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2024.108017

Ma, A., Chen, Z., Jing, X., Chen, Y., Guan, J., Wang, S., Wang, W., Zhou, H., Sun, J., Mao, X., & Jin, Y. (2025). Stoichiometric Homeostasis and Functional Group Divergence Jointly Enhance Alpine Plant Adaptation to Environmental Stress. *Plants 2025, Vol. 14, 14*(18). https://doi.org/10.3390/PLANTS14182835

Magaña Ugarte, R., Escudero, A., & Gavilán, R. G. (2019). Metabolic and physiological responses of Mediterranean high-mountain and alpine plants to combined abiotic stresses. *Physiologia*

Plantarum, *165*(2), 403–412. https://doi.org/10.1111/PPL.12898;CSUBTYPE:STRING:SPECIAL;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER

Malagón, O., Ramírez, J., Andrade, J. M., Morocho, V., Armijos, C., & Gilardoni, G. (2016). Phytochemistry and ethnopharmacology of the Ecuadorian flora. A review. *Natural Product Communications*, *11*(3), 297–314. https://doi.org/10.1177/1934578X1601100307;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER

Mandel, J. R., Dikow, R. B., Siniscalchi, C. M., Thapa, R., Watson, L. E., & Funk, V. A. (2019). A fully resolved backbone phylogeny reveals numerous dispersals and explosive diversifications throughout the history of Asteraceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(28), 14083–14088. https://doi.org/10.1073/PNAS.1903871116;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Meseret, C., Egigu, C., & Mogesse, S. (2024). Ethnobotanical study of medicinal plants used to treat human ailments in Oda-Bultum district, west Hararghe zone of Oromia region, Ethiopia. *Ethnobotany Research and Applications*, *29*, 1–35. https://doi.org/10.32859/era.29.56.1-35

Minaya, V., Camacho Suarez, V., Wenninger, J., & Mynett, A. (2023). Runoff generation from a combined glacier and páramo catchment within the Antisana Reserve in Ecuador. *Journal of Ecohydraulics*, *8*(2), 192–207. https://doi.org/10.1080/24705357.2021.2005472

Minaya, V., Corzo, G., Romero-Saltos, H., Van Der Kwast, J., Lantinga, E., Galárraga-Sánchez, R., & Mynett, A. (2016). Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo , Ecuadorian Andes. *Journal of Plant Ecology*, *9*(5), 553–563. https://doi.org/10.1093/JPE/RTV073

Monasterio, M., & Sarmiento, L. (1991). Adaptive radiation of Espeletia in the cold andean tropics. *Trends in Ecology & Evolution*, *6*(12), 387–391. https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90159-U

Moreira-Muñoz, A., Monge, M., Grossi, M. A., Ávila, F. A., Morales-Fierro, V., Heiden, G., Britto, B., Beck, S., Nakajima, J. N., Salgado, V. G., Rodríguez-Cravero, J. F., & Gutiérrez, D. G. (2024). South America

holds the greatest diversity of native daisies (Asteraceae) in the world: an updated catalogue supporting continental-scale conservation. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1393241. https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1393241/TEXT

Narbona, E., Del Valle, J. C., Whittall, J. B., León-Osper, M., Buide, M. L., Pulgar, I., Camargo, M. G. G., Morellato, L. P. C., Rodríguez-Castañeda, N., Rossi, V., Conrad, K., Hernandez-Mena, J., Ortiz, P. L., & Arista, M. (2025a). Transcontinental patterns in floral pigment abundance among animal-pollinated species. *Scientific Reports 2025 15:1*, *15*(1), 15927-. https://doi.org/10.1038/s41598-025-94709-4

Narbona, E., Del Valle, J. C., Whittall, J. B., León-Osper, M., Buide, M. L., Pulgar, I., Camargo, M. G. G., Morellato, L. P. C., Rodríguez-Castañeda, N., Rossi, V., Conrad, K., Hernandez-Mena, J., Ortiz, P. L., & Arista, M. (2025b). Transcontinental patterns in floral pigment abundance among animal-pollinated species. *Scientific Reports 2025 15:1*, *15*(1), 15927-. https://doi.org/10.1038/s41598-025-94709-4

Nataraj, N., Hussain, M., Ibrahim, M., Hausmann, A. E., Rao, S., Kaur, S., Khazir, J., Mir, B. A., & Olsson, S. B. (2022). Effect of Altitude on Volatile Organic and Phenolic Compounds of Artemisia brevifolia Wall ex Dc. From the Western Himalayas. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 864728. https://doi.org/10.3389/FEVO.2022.864728/TEXT

Noriega, P., Calderón, L., Taxo Taco, A., Belén Montaluisa, M., Jaramillo, K., Noriega Correspondence Paco Noriega, P., & Noriega, P. (2024). Ethnobotany Resources from Metropolitan Parks of Quito City. *Ethnobotany Research and Applications*, *28*, 1–20. https://doi.org/10.32859/era.28.23.1-20

Omoba, O. S., Obafaye, R. O., Salawu, S. O., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2015). HPLC-DAD Phenolic Characterization and Antioxidant Activities of Ripe and Unripe Sweet Orange Peels. *Antioxidants 2015, Vol. 4, Pages 498-512*, *4*(3), 498–512. https://doi.org/10.3390/ANTIOX4030498

Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(12), 4299. https://doi.org/10.1007/S13197-020-04433-2

Padilla-González, G. F., Diazgranados, M., & Da Costa, F. B. (2017). Biogeography shaped the metabolome of the genus Espeletia: a phytochemical perspective on an Andean adaptive radiation. *Scientific Reports 2017 7:1*, *7*(1), 8835-. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09431-7

Padilla-González, G. F., Diazgranados, M., & Da Costa, F. B. (2021). Effect of the andean geography and climate on the specialized metabolism of its vegetation: The subtribe espeletiinae (asteraceae) as a case example. *Metabolites*, *11*(4), 220. https://doi.org/10.3390/METABO11040220/S1

Padin, A. L., Calviño, C. I., & Ezcurra, C. (2015). Morfología y anatomía foliar comparada de Chuquiraga y géneros afines (Asteraceae). *Brittonia 2015 67:2*, *67*(2), 150–165. https://doi.org/10.1007/S12228-015-9364-6

Palazzesi, L., Pellicer, J., Barreda, V. D., Loeuille, B., Mandel, J. R., Pokorny, L., Siniscalchi, C. M., Cristina Tellería, M., Leitch, I. J., & Hidalgo, O. (2022). Asteraceae as a model system for evolutionary studies: from fossils to genomes. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *200*(2), 143–164. https://doi.org/10.1093/BOTLINNEAN/BOAC032

Palma Bastidas, M. A. (2019). *Caracterización de la chuquiragua (Chuquiraga jussieui) con perspectivas agroindustriales* [Universidad de las Américas]. http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10946

Perafán, G. M. P., & Paz, G. M. (2024). Estudio etnobotánico de los usos de plantas medicinales del grupo étnico Nasa en los Andes colombianos. *Acta Botanica Mexicana*, (131). https://doi.org/10.21829/ABM131.2024.2257

Petrova, M., Miladinova-Georgieva, K., & Geneva, M. (2024). Influence of Abiotic and Biotic Elicitors on Organogenesis, Biomass Accumulation, and Production of Key Secondary Metabolites in

Asteraceae Plants. *International Journal of Molecular Sciences 2024, Vol. 25, 25*(8). https://doi.org/10.3390/IJMS25084197

Peyre, G., Balslev, H., & Font, X. (2018). Phytoregionalisation of the Andean páramo. *PeerJ*, *2018*(6), e4786. https://doi.org/10.7717/PEERJ.4786/SUPP-4

Pinheiro, F., Dantas-Queiroz, M. V., & Palma-Silva, C. (2018). Plant Species Complexes as Models to Understand Speciation and Evolution: A Review of South American Studies. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *37*(1), 54–80. https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1471565

Quintana-Obregón, E. A. (2026). Bioprospecting 5.0: A Conceptual and Methodological Proposal for Plant Resource Valorization. *Sustainability 2026, Vol. 18, 18*(11). https://doi.org/10.3390/SU18115370

Rao, M. J., & Zheng, B. (2025). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Tolerance and Their Antioxidant Properties to Scavenge Reactive Oxygen Species and Free Radicals. *Antioxidants 2025, Vol. 14, 14*(1). https://doi.org/10.3390/ANTIOX14010074

Rivero-Guerra, A. O. (2020). Diversidad y distribución de los endemismos de Asteraceae (Compositae) en la Flora del Ecuador. *Collectanea Botanica*, *39*, e001–e001. https://doi.org/10.3989/COLLECTBOT.2020.V39.001

Rodrigues, R. P., Sousa, A. M., Gando-Ferreira, L. M., & Quina, M. J. (2023). Grape Pomace as a Natural Source of Phenolic Compounds: Solvent Screening and Extraction Optimization. *Molecules 2023, Vol. 28, 28*(6). https://doi.org/10.3390/MOLECULES28062715

Roeble, L., van Benthem, K. J., Weigelt, P., Kreft, H., Knope, M. L., Mandel, J. R., Vargas, P., Etienne, R. S., & Valente, L. (2024). Island biogeography of the megadiverse plant family Asteraceae. *Nature Communications 2024 15:1*, *15*(1), 7276-. https://doi.org/10.1038/s41467-024-51556-7

Romero, E., Quirantes, M., & Nogales, R. (2017). Characterization of biomass ashes produced at different temperatures from olive-oil-industry and greenhouse vegetable wastes. *Fuel*, *208*, 1–9. https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.06.133

Sabooni, N., & Gharaghani, A. (2022). Induced polyploidy deeply influences reproductive life cycles, related phytochemical features, and phytohormonal activities in blackberry species. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 938284. https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.938284/TEXT

Saini, R. K., & Keum, Y. S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, *240*, 90–103. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.099

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules 2019, Vol. 24, 24*(13). https://doi.org/10.3390/MOLECULES24132452

Shen, F., Qin, Y., Wang, R., Huang, X., Wang, Y., Gao, T., He, J., Zhou, Y., Jiao, Y., Wei, J., Li, L., & Yang, X. (2023). Comparative genomics reveals a unique nitrogen-carbon balance system in Asteraceae. *Nature Communications 2023 14:1*, *14*(1), 4334-. https://doi.org/10.1038/s41467-023-40002-9

Sicari, V., Loizzo, M. R., Silva, A. S., Romeo, R., Spampinato, G., Tundis, R., Leporini, M., & Musarella, C. M. (2021). The effect of blanching on phytochemical content and bioactivity of hypochaeris and hyoseris species (Asteraceae), vegetables traditionally used in Southern Italy. *Foods*, *10*(1). https://doi.org/10.3390/foods10010032

SILVA, L., CÉLLERI, R., & CÓRDOVA, M. (2025). Diurnal to seasonal meteorological cycles along an equatorial Andean elevational gradient. *Atmósfera*, *39*, 33–48. https://doi.org/10.20937/ATM.53369

Streb, P., Shang, W., Feierabend, J., & Bligny, R. (1998). Divergent strategies of photoprotection in high-mountain plants. *Planta*, *207*(2), 313–324. https://doi.org/10.1007/S004250050488/METRICS

Suárez, E., Hribljan, J. A., Chimbolema, S., Harvey, K., Triana, V., Zurita, J. E., Jaramillo, R., & Doskocil, L. G. (2023). Vegetation structure and aboveground biomass of Páramo peatlands along a high-elevation gradient in the northern Ecuadorian Andes. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1102340. https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1102340/TEXT

Sun, P., Hao, R., Fan, F., Wang, Y., & Zhu, F. (2025). Adaptation of High-Altitude Plants to Plateau Abiotic Stresses: A Case Study of the Qinghai-Tibet Plateau. *International Journal of Molecular Sciences 2025, Vol. 26, 26*(5). https://doi.org/10.3390/IJMS26052292

Sun, T., Rao, S., Zhou, X., & Li, L. (2022). Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture*, *2*(1), 3. https://doi.org/10.1186/S43897-022-00023-2

Tourabi, M., Faiz, K., Ezzouggari, R., Louasté, B., Merzouki, M., Dauelbait, M., Bourhia, M., Almaary, K. S., Siddique, F., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2025). Optimization of extraction process and solvent polarities to enhance the recovery of phytochemical compounds, nutritional content, and biofunctional properties of Mentha longifolia L. extracts. *Bioresources and Bioprocessing 2025 12:1*, *12*(1), 24-. https://doi.org/10.1186/S40643-025-00859-8

Urtubey, E., Stuessy, T. F., & Tremetsberger, K. (2009). Systematics of the South American Hypochaeris sessiliflora Complex (Asteraceae, Cichorieae)1. *Https://Doi.Org/10.3417/2006136*, *96*(4), 685–714. https://doi.org/10.3417/2006136

Zahra, S. A., Iqbal, J., Abbasi, B. A., Kanwal, S., Alwahibi, M. S., Elshikh, M. S., Rizwan, M., Iqbal, R., & Mahmood, T. (2024). Phylogenetic analysis of selected species of Asteraceae on the basis of RPS 11 Gene. *Scientific Reports 2024 14:1*, *14*(1), 24808-. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75991-0

Zhang, C., Huang, C. H., Liu, M., Hu, Y., Panero, J. L., Luebert, F., Gao, T., & Ma, H. (2021). Phylotranscriptomic insights into Asteraceae diversity, polyploidy, and morphological innovation. *Journal of Integrative Plant Biology*, *63*(7), 1273–1293. https://doi.org/10.1111/JIPB.13078;ISSUE:ISSUE:DOI

Zhang, K., Jiao, L., Xue, R., Zhang, P., Yuan, X., Wang, X., Li, Q., Guo, Z., Qing, Y., & Zhang, L. (2025). Elevation pattern of resource allocation in Picea crassifolia Kom. and its coupling mechanism with soil factors in Helan Mountains, China. *AoB PLANTS*, *17*(6), 58. https://doi.org/10.1093/AOBPLA/PLAF058

Zhang, S., Zhang, Q., Li, Y., Lu, Y., Zhou, X., Yin, B., & Zhang, Y. (2023). Shrubs have a greater influence on the nonstructural carbohydrates of desert mosses along precipitation decreased. *Environmental and Experimental Botany*, *216*, 105530. https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2023.105530

Zhang, X., Sun, Y., Landis, J. B., Shen, J., Zhang, H., Kuang, T., Sun, W., Sun, J., Tiamiyu, B. B., Deng, T., Sun, H., & Wang, H. (2021). Transcriptomes of Saussurea (Asteraceae) Provide Insights into High-Altitude Adaptation. *Plants 2021, Vol. 10, 10*(8). https://doi.org/10.3390/PLANTS10081715

Zhao, L., Pang, B., Hong, J., Ma, X., Du, Z., & Wang, X. (2024). Root pH variation of herbaceous plants among plant functional groups in response to climate and soil gradients on the Tibetan alpine grasslands. *Ecology and Evolution*, *14*(7), e70060. https://doi.org/10.1002/ECE3.70060

Zidorn, C. (2009). Altitudinal variation of secondary metabolites in flowering heads of the Asteraceae: trends and causes. *Phytochemistry Reviews 2009 9:2*, *9*(2), 197–203. https://doi.org/10.1007/S11101-009-9143-7