

PATRIMONIO, NATURALEZA Y TECNOLOGÍA

SOSTENIBILIDAD EN LOS ANDES ECUATORIANOS

**Lucía del Rocío Vásquez Hernández
Galo Jacinto Pabón Garcés
Juan Pablo Aragón Suárez**



**Ambiente &
Sustentabilidad
Editorial**

2026

PATRIMONIO, NATURALEZA Y TECNOLOGÍA: SOSTENIBILIDAD EN LOS ANDES ECUATORIANOS

PATRIMONIO, NATURALEZA Y TECNOLOGÍA: SOSTENIBILIDAD EN LOS ANDES ECUATORIANOS

**Lucía del Rocío Vásquez Hernández
Galo Jacinto Pabón Garcés
Juan Pablo Aragón Suárez**



AUTORES

Lucía del Rocío Vásquez Hernández
Universidad Técnica del Norte, FICAYA
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1876-0759>
Correo electrónico: ldvasquez@utn.edu.ec

Galo Jacinto Pabón Garcés
Universidad Técnica del Norte, FICAYA
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6044-4429>
Correo electrónico: gjpabon@utn.edu.ec

Juan Pablo Aragón Suárez
Universidad Técnica del Norte, FICAYA
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8297-5941>
Correo electrónico: jparagon@utn.edu.ec

Corrección de estilo
Wendy Montenegro Salazar
Nadia Dávila Pabón

Portada y contraportada
Stefany Ordoñez Vásquez

Diseño y diagramación
Stefany Ordoñez Vásquez

Fotografías
Los autores

Revisión de pares

Edgar Marcelo Vilcacundo Chamorro, PhD,
Universidad Regional Amazónica Ikiam

Franklin Eduardo Sánchez Pila, Máster,
Universidad Regional Amazónica Ikiam

Número de Páginas
142

Primera Edición
Marzo 2026

© Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9907-9500-2-1



Editorial Ambiente & Sustentabilidad
Cámara Ecuatoriana del Libro
ISBN: 978-9942-7096-9-1

Sugerencias de citación:

Libro completo

Vásquez-Hernández, L., Pabón-Garcés, G. y Aragón-Suárez, J. (2026). Patrimonio, naturaleza y tecnología: sostenibilidad en los Andes ecuatorianos. Editorial Ambiente & Sustentabilidad.

Capítulo de Libro

Aragón-Suárez, J. (2026). Experiencias en el manejo sostenible de los recursos suelo y agua en sistemas de producción de fresa (*Fragaria vesca*) y pepinillo (*Cucumis sativus*). En L. Vásquez-Hernández, G. Pabón-Garcés y J. Aragón-Suárez (Autores.), Patrimonio, naturaleza y tecnología: sostenibilidad en los Andes ecuatorianos (pp. 104-141). Editorial Ambiente & Sustentabilidad.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la previa autorización escrita por parte de sus respectivos autores.

ÍNDICE

PATRIMONIO VIVO: EXPERIENCIAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD NATIVA EN FRUTALES DEL ECUADOR, CON UN ENFOQUE EN TUNA, MORTIÑO Y PEPINO DULCE	6
1.1. INTRODUCCIÓN: AGROBIODIVERSIDAD COMO PATRIMONIO VIVO	7
1.2. LOS FRUTALES NATIVOS EN FOCO: TUNA, MORTIÑO Y PEPINO DULCE	15
1.3. EXPERIENCIAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD NATIVA	31
1.4. RETOS, OPORTUNIDADES Y ESTRATEGIAS PARA CONSERVACIÓN DE FRUTALES	38
1.5. REFLEXIONES FINALES: FUTURO DE LA AGROBIODIVERSIDAD COMO MOTOR DE DESARROLLO	46
1.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
 DIVERSIDAD VEGETAL Y SOSTENIBILIDAD EN LOS BOSQUES ANDINOS DEL NORTE DEL ECUADOR	 50
2.1. INTRODUCCIÓN	51
2.2. IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LOS BOSQUES ANDINOS	53
2.3. RELEVANCIA SOCIAL Y CULTURAL	58
2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ESTRATÉGICOS	63
2.5. EL PATRIMONIO VEGETAL DE LOS BOSQUES ANDINOS	70
2.6. PRINCIPALES AMENAZAS A LOS BOSQUES ANDINOS	89
2.7. LA NECESIDAD DE SU CONSERVACIÓN	95
2.8. REFLEXIONES FINALES	100
2.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
 EXPERIENCIAS EN EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS SUELO Y AGUA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA (<i>FRAGARIA VESCA</i>) Y PEPINILLO (<i>CUCUMIS SATIVUS</i>)	 104
3.1. INTRODUCCIÓN	105
3.2. DESARROLLO	108
3.3. REFLEXIONES FINALES Y PERSPECTIVAS	134
3.4. GLOSARIO	135
3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

Prólogo

En un mundo donde los problemas ambientales, sociales y económicos se cruzan y se intensifican cada día, el libro Patrimonio, Naturaleza y Tecnología: Sostenibilidad en los Andes Ecuatorianos llega como una propuesta necesaria y profundamente actual. Escrito por Lucía del Rocío Vásquez Hernández, Galo Jacinto Pabón Garcés y Juan Pablo Aragón Suárez, esta obra reúne experiencias reales de conservación y producción agrícola sostenible en los Andes ecuatorianos, poniendo en el centro al patrimonio biocultural, la diversidad vegetal y el uso responsable de recursos esenciales como el suelo y el agua.

Los Andes no son solo una cadena montañosa: son territorio, historia viva y conocimiento acumulado durante siglos. Su enorme biodiversidad y su herencia cultural los convierten en un verdadero laboratorio de sostenibilidad. Desde esta perspectiva, el primer capítulo, “Patrimonio Vivo: Experiencias en la Conservación de la Agrobiodiversidad Nativa en Frutales del Ecuador”, nos acerca a especies como la tuna, el mortiño y el pepino dulce, que representan mucho más que alimentos. Estos frutales guardan saberes ancestrales, fortalecen la identidad cultural y aportan a la resiliencia frente al cambio climático y a la seguridad alimentaria. La autora enfatiza la urgencia de proteger esta agrobiodiversidad frente a amenazas como la erosión genética, proponiendo estrategias que combinan conservación in situ, ex situ y políticas públicas con enfoque inclusivo.

El segundo capítulo, “Diversidad Vegetal y Sostenibilidad en los Bosques Andinos del Norte del Ecuador”, amplía la mirada hacia los bosques de Carchi e Imbabura, resaltando su valor ecológico y su estrecha relación con las comunidades locales. Plantas nativas como orquídeas, bromelias y árboles emblemáticos sostienen no solo la biodiversidad, sino también el acceso al agua, los alimentos y prácticas culturales ancestrales. El análisis de los servicios ecosistémicos, junto con las amenazas de la deforestación y las oportunidades en el ecoturismo y la etnobotánica, deja claro que conservar estos bosques no es un lujo, sino una responsabilidad ética con el presente y el futuro.

El tercer capítulo, “Experiencias en el Manejo Sostenible de los Recursos Suelo y Agua en Sistemas de Producción de Fresa (*Fragaria vesca*) y Pepinillo (*Cucumis sativus*)”, nos lleva al terreno práctico

de la sostenibilidad. A través de estudios de caso en parroquias como González Suárez e Imantag, se analizan los impactos de la agricultura intensiva y se presentan alternativas agroecológicas concretas, como el uso de biofiltros, la labranza mínima y sistemas de riego eficientes. Este capítulo demuestra que la tecnología, bien aplicada, puede convertirse en una aliada clave para reducir la degradación ambiental y fortalecer sistemas productivos más resilientes, en sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Más que un libro técnico, esta obra es una invitación a pensar y actuar colectivamente. En un país megadiverso como Ecuador, pero también vulnerable, la articulación entre patrimonio, naturaleza y tecnología abre un camino posible hacia la sostenibilidad. Los autores, desde su experiencia en la ingeniería agropecuaria y ambiental, nos recuerdan que el futuro de los Andes depende de encontrar el equilibrio entre tradición e innovación, entre conservar y producir. Por ello, esta obra resulta especialmente valiosa para investigadores, estudiantes y comunidades que buscan construir un desarrollo que respete y honre nuestra herencia andina.

Dr. Fernando Basantes
Investigador en Agroecología
Universidad Técnica del Norte
Ibarra - Ecuador
Ibarra, 2026

Enfoque metodológico y criterios de construcción del libro

La presente obra se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con alcance descriptivo y analítico, orientado a documentar, interpretar y sistematizar experiencias vinculadas con la sostenibilidad, la conservación del patrimonio biocultural y el manejo de los recursos naturales en los Andes ecuatorianos. Este enfoque permitió abordar de manera integral las dimensiones ecológicas, sociales, culturales y productivas, reconociendo la complejidad de los sistemas socioecológicos andinos y las interrelaciones existentes entre las comunidades humanas y su entorno natural. Asimismo, facilitó la comprensión de los procesos históricos y contemporáneos que han configurado las prácticas de uso y manejo del territorio, así como los saberes tradicionales asociados a la biodiversidad. De esta manera, se buscó no solo describir las experiencias, sino también analizar su significado, su aporte a la sostenibilidad y su potencial como referentes para la gestión responsable de los recursos naturales en contextos andinos, resaltando la importancia de integrar el conocimiento científico con el conocimiento local para fortalecer estrategias de conservación y desarrollo sostenible.

Las técnicas de recopilación de información incluyeron la revisión sistemática de literatura científica proveniente de bases de datos indexadas, informes técnicos institucionales, documentos emitidos por organismos nacionales e internacionales, así como publicaciones especializadas en agrobiodiversidad, conservación vegetal y manejo sostenible de los recursos naturales. De manera complementaria, se incorporaron estudios de caso, observaciones de campo y la sistematización de experiencias desarrolladas en territorios rurales de la región andina norte del Ecuador, particularmente en las provincias de Imbabura y Carchi. Este proceso permitió articular el conocimiento científico con los saberes locales y las prácticas comunitarias, fortaleciendo la comprensión integral de los procesos analizados.

Los criterios de selección de los casos se fundamentaron en su relevancia ecológica, su representatividad dentro de los sistemas productivos andinos, su valor cultural y su contribución potencial a la sostenibilidad territorial. En este sentido, se priorizaron experiencias que evidencian interacciones significativas entre las comunidades locales y los recursos naturales, que incorporan estrategias de conservación o manejo sostenible, y que presentan potencial de replicabilidad en contextos similares. Asimismo, se consideró la disponibilidad de información confiable, la consistencia metodológica de las fuentes y su pertinencia dentro del contexto socioambiental andino ecuatoriano.

En conjunto, este enfoque metodológico permitió construir una perspectiva integradora sustentada en evidencia científica y experiencias territoriales, contribuyendo a una comprensión más amplia del papel del patrimonio natural y biocultural en la sostenibilidad regional, así como de su importancia para el fortalecimiento de estrategias de conservación y desarrollo sostenible en los Andes ecuatorianos.

CAPÍTULO 1

PATRIMONIO VIVO: EXPERIENCIAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD NATIVA EN FRUTALES DEL ECUADOR, CON UN ENFOQUE EN TUNA, MORTIÑO Y PEPINO DULCE

PATRIMONIO VIVO: EXPERIENCIAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD NATIVA EN FRUTALES DEL ECUADOR, CON UN ENFOQUE EN TUNA, MORTIÑO Y PEPINO DULCE

Lucía Vásquez-Hernández¹

¹Universidad Técnica del Norte (UTN), Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA)

RESUMEN

Este capítulo analiza la agrobiodiversidad como patrimonio vivo y biocultural esencial para la sostenibilidad agrícola, la seguridad alimentaria y la identidad cultural en Ecuador, centrándose en tres frutales nativos emblemáticos: la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*). La agrobiodiversidad se presenta como un proceso dinámico que integra diversidad genética, conocimientos tradicionales y prácticas comunitarias, destacando sistemas como la chakra andina que conservan más de 200 variedades por parcela y aportan resiliencia climática. La tuna, está adaptada a zonas áridas mediante su metabolismo CAM, destaca por su eficiencia hídrica, valor nutricional (antioxidantes, fibras) y múltiples usos en alimentación, medicina tradicional, cosmética y forraje, con potencial económico en aceite de semillas. El mortiño, superfruto andino de páramos altoandinos, es rico en antocianinas y vitamina C, cumple funciones ecológicas cruciales en la regulación hídrica y captura de carbono, y posee valor cultural en preparaciones tradicionales como la colada morada. El pepino dulce, es versátil en altitudes medias, ofrece vitaminas, betacarotenos y sabor único, con creciente demanda internacional y relevancia en la diversificación de ingresos rurales. Estos frutales contribuyen a la resiliencia mediante sus adaptaciones a condiciones extremas, prevención de erosión, soporte a la biodiversidad y fortalecimiento de sistemas agroecológicos. Sin embargo, enfrentan amenazas graves: erosión genética por monocultivos, cambio climático, pérdida de conocimientos tradicionales y falta de políticas públicas específicas. Este capítulo documenta experiencias exitosas de conservación que combinan estrategias in situ (bancos de semillas comunitarios, ferias de intercambio como Muyu Raymi) y ex situ (Banco Nacional de Germoplasma del INIAP), con colaboración entre FAO, GEF, instituciones nacionales y organizaciones indígenas como UNORCAC. Se destacan el empoderamiento de mujeres kichwas y la promoción de mercados sostenibles con productos de valor agregado. La investigación propone tres objetivos principales: analizar la agrobiodiversidad como patrimonio biocultural, evaluar iniciativas de conservación y formular políticas inclusivas que integren saberes ancestrales con innovación tecnológica. Concluye que la conservación de estos frutales no solo preserva recursos genéticos, sino que fortalece la identidad cultural, la economía rural y la adaptación al cambio climático, posicionando la agrobiodiversidad como pilar fundamental del desarrollo sostenible en los Andes ecuatorianos.

1.1. INTRODUCCIÓN: AGROBIODIVERSIDAD COMO PATRIMONIO VIVO

La agrobiodiversidad se entiende como la amplia variedad de cultivos, razas animales, microorganismos y ecosistemas asociados que sostienen la producción agrícola y alimentaria. Este acervo representa un patrimonio biocultural, pues combina la riqueza genética con los conocimientos locales y las prácticas comunitarias. En Ecuador, dicha relación se refleja en los sistemas agrícolas tradicionales, donde campesinos e indígenas conservan semillas adaptadas a diferentes microclimas y técnicas transmitidas de generación en generación. Su preservación no solo asegura la permanencia de los recursos genéticos, sino también la continuidad de identidades culturales y de saberes ancestrales. Al mismo tiempo, la agrobiodiversidad aporta resiliencia a los territorios, al reforzar la capacidad de los agroecosistemas para enfrentar variaciones climáticas y presiones ambientales. Por ello, constituye un patrimonio esencial que articula dimensiones biológicas, sociales y culturales, indispensable para la sostenibilidad y la proyección del desarrollo rural.

La agrobiodiversidad en Ecuador es reconocida como uno de los pilares de la sostenibilidad agrícola y del patrimonio cultural de los pueblos andinos y amazónicos. Su importancia radica en la diversidad de especies y variedades locales que han sido domesticadas y manejadas por comunidades indígenas y campesinas durante siglos, configurando sistemas agrícolas resilientes frente a cambios ambientales y sociales. Estos recursos genéticos no son únicamente materiales de producción, sino que representan una herencia cultural viva, al estar asociados a rituales, festividades y prácticas de reciprocidad comunitaria que refuerzan la identidad y la cohesión social (Garcés Acosta, 2023). De este modo, la agrobiodiversidad se constituye como un patrimonio biocultural que integra conocimientos tradicionales y diversidad genética (Figura 1.1).

El carácter de patrimonio vivo de la agrobiodiversidad se manifiesta de manera clara en la capacidad de las comunidades rurales para mantener, adaptar y transformar sus variedades agrícolas frente a dinámicas climáticas y económicas adversas. Un estudio de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) sobre el sistema ancestral del Andean Chakra en Cotacachi destaca que este espacio conserva niveles excepcionales de diversidad de cultivos (más de 200 variedades y un promedio de 25 especies por parcela), gracias a saberes tradicionales que cubren dimensiones ecológicas, religiosas y de género, pues el manejo está liderado en gran parte por mujeres kichwas. Además, investigaciones sobre sistemas agroecológicos en Chugchilán evidencian que dichos sistemas presentan mayor agrobiodiversidad, menor vulnerabilidad y una alta capacidad de adaptación al cambio climático, en contraste con fincas convencionales. De forma complementaria, el estudio sobre paisajes campesinos exitosos en Ecuador subraya que organizaciones indígenas como UNORCAC en Cotacachi conservan mediante prácticas agroecológicas y conocimiento ancestral una biodiversidad agroforestal notable, en contraposición a modelos de monocultivo que degradan suelos y agua. En conjunto, estas evidencias refuerzan que la agrobiodiversidad no es un recurso estático, sino un proceso dinámico de innovación

cultural y ecológica, estrechamente vinculado a la resiliencia y autonomía de las comunidades campesinas e indígenas.

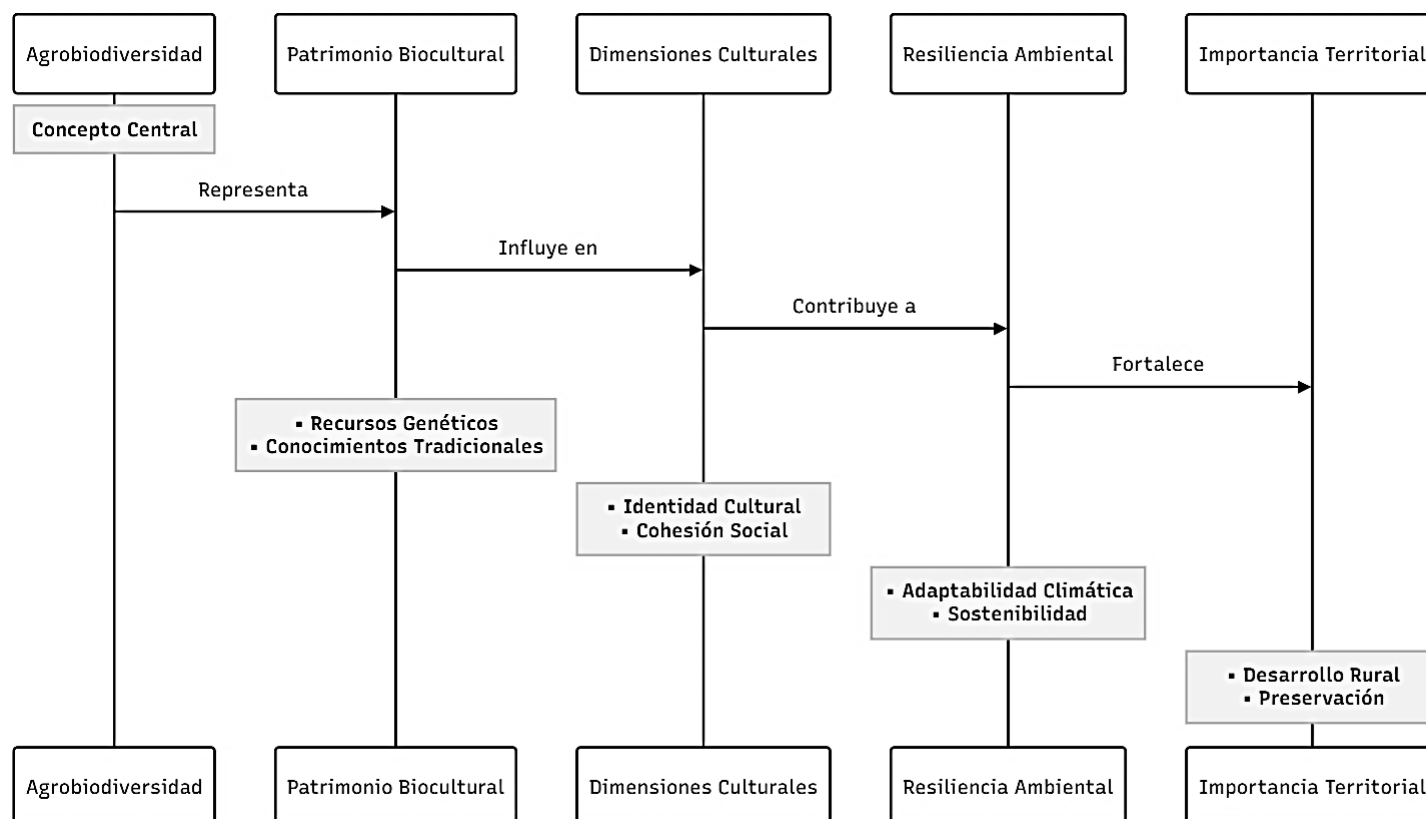


Figura 1.1. Estructura y Componentes de la Agrobiodiversidad como Patrimonio Vivo. Diagrama de secuencia que muestra la evolución temporal de los conceptos relacionados con la agrobiodiversidad, desde su definición como patrimonio biocultural hasta su reconocimiento como un sistema dinámico de interacción entre diversidad genética, prácticas agrícolas tradicionales, instituciones comunitarias y políticas públicas de conservación.

La agrobiodiversidad en Ecuador representa un patrimonio vivo que trasciende su dimensión biológica, consolidándose como un pilar fundamental de la identidad cultural, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Este legado, profundamente arraigado en las prácticas agrícolas tradicionales de las comunidades rurales, es el resultado de una interacción milenaria entre los pueblos y los ecosistemas locales. Esta relación ha dado lugar a una extraordinaria riqueza de cultivos nativos, adaptados a una amplia gama de contextos agroecológicos, desde los Andes hasta la Amazonía y la costa ecuatoriana (De la Torre *et al.*, 2018). Estos cultivos no solo reflejan la capacidad de las comunidades para domesticar y manejar recursos genéticos en entornos diversos,

sino que también encapsulan conocimientos ancestrales que han permitido la supervivencia y el desarrollo sostenible en condiciones ambientales variables.

Entre los cultivos nativos de Ecuador, los frutales destacan por su versatilidad, valor nutricional y su contribución a la resiliencia frente a los desafíos del cambio climático. Especies como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*) son ejemplos paradigmáticos de esta agrobiodiversidad. La tuna, por ejemplo, es una cactácea adaptada a condiciones áridas y semiáridas, capaz de prosperar en suelos pobres y con escasa disponibilidad de agua, lo que la convierte en un cultivo clave para la seguridad alimentaria en regiones propensas a la sequía. Su fruto, rico en antioxidantes y fibras, no solo tiene un alto valor nutricional, sino que también se utiliza en la medicina tradicional y en la elaboración de productos derivados como mermeladas y jugos. Por su parte, el mortiño, un arbusto andino, produce bayas ricas en compuestos bioactivos, como antocianinas, que han atraído la atención por sus propiedades antioxidantes y su potencial en mercados nacionales e internacionales (Schreckinger *et al.*, 2010). El pepino dulce, conocido por su sabor único y su riqueza en vitaminas, es un cultivo versátil que se adapta a diferentes altitudes y sistemas agrícolas, desde huertos familiares hasta cultivos comerciales.

Estos cultivos no solo cumplen funciones alimenticias, sino que también desempeñan un rol crucial en la resiliencia climática. Su capacidad para prosperar en condiciones adversas, como suelos degradados o climas extremos, los convierte en aliados estratégicos frente a los impactos del cambio climático, como el aumento de temperaturas, la variabilidad de las precipitaciones y la desertificación. Además, su cultivo en sistemas agrícolas tradicionales, como las chakras amazónicas o los huertos andinos, fomenta la conservación de la biodiversidad asociada, incluyendo polinizadores, microorganismos del suelo y otras especies vegetales que forman parte de estos agroecosistemas.

La agrobiodiversidad ecuatoriana está intrínsecamente ligada a la cosmovisión y las prácticas culturales de las comunidades indígenas y campesinas. Los sistemas agrícolas tradicionales, como la rotación de cultivos, la asociación de especies (milpa o chakra) y el uso de semillas criollas, reflejan un conocimiento profundo del entorno natural y una gestión sostenible de los recursos. Estas prácticas no solo han permitido la conservación de variedades genéticas únicas, sino que también han fortalecido la cohesión social y la identidad cultural de las comunidades. Por ejemplo, el intercambio de semillas en ferias locales o el uso de rituales agrícolas refuerzan los lazos comunitarios y perpetúan el conocimiento tradicional.

Sin embargo, este patrimonio enfrenta múltiples desafíos. La modernización de la agricultura, la introducción de monocultivos y la presión de los mercados globales han llevado a la erosión genética de muchas variedades nativas, así como a la pérdida de conocimientos asociados (De la Torre *et al.*, 2018). Además, el cambio climático y la degradación ambiental amenazan la viabilidad de los agroecosistemas tradicionales, lo que pone en riesgo tanto la biodiversidad como los medios de vida de las comunidades que dependen de ella.

En el marco del libro *Patrimonio Vivo: Experiencias en la Conservación de la Agrobiodiversidad Nativa en Ecuador*, esta introducción busca explorar las bases culturales, ecológicas y socioeconómicas de la agrobiodiversidad, así como los retos para su conservación y los objetivos de investigación orientados a su preservación y promoción sostenible (Figura 1.2). Entre los principales retos se encuentran:

Erosión genética: La pérdida de variedades nativas debido a la preferencia por cultivos comerciales y semillas híbridas.

Cambio climático: Alteraciones en los patrones climáticos que afectan la productividad y distribución de los cultivos nativos.

Pérdida de conocimientos tradicionales: La disminución de prácticas agrícolas ancestrales debido a la migración rural-urbana y la falta de transmisión intergeneracional.

Falta de políticas públicas: La necesidad de marcos regulatorios que promuevan la conservación in situ y ex situ de la agrobiodiversidad.

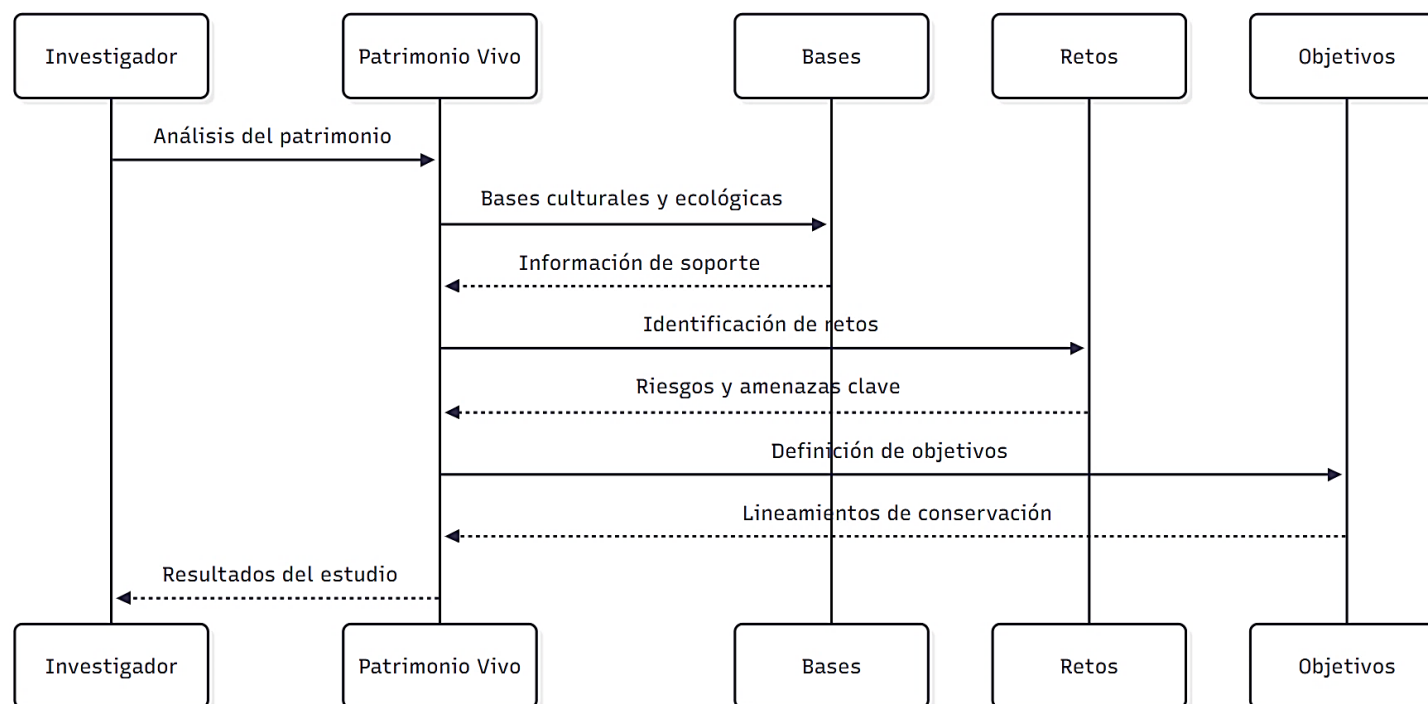


Figura 1.2. Diagrama de las experiencias documentadas en el libro *Patrimonio Vivo: Experiencias en la Conservación de la Agrobiodiversidad Nativa en Ecuador*. Se refleja el flujo de trabajo desde la iniciación del proyecto por parte del investigador, pasando por la caracterización de bases culturales, ecológicas y socioeconómicas, la identificación de retos de conservación, y la definición de objetivos de investigación, hasta la entrega de resultados y recomendaciones.

Para abordar estos desafíos, los objetivos de investigación incluyen el desarrollo de estrategias para la conservación de germoplasma, la promoción de sistemas agrícolas sostenibles, el fortalecimiento de los mercados locales para productos derivados de cultivos nativos y la integración de los conocimientos tradicionales en políticas públicas. Proyectos como los bancos de semillas comunitarios, las redes de intercambio de germoplasma y la valorización de productos nativos en mercados locales e internacionales son pasos clave hacia la preservación de este patrimonio.

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), cultivada principalmente en la Sierra Central de Ecuador, es un ejemplo emblemático de la relación entre agrobiodiversidad y sostenibilidad. Esta cactácea se ha adaptado excepcionalmente a condiciones áridas y semiáridas, donde otros cultivos enfrentan dificultades para prosperar, gracias a su sistema radicular eficiente que minimiza la pérdida de agua y su capacidad para almacenarla en sus cladodios. Esta resiliencia la convierte en un recurso clave para la seguridad alimentaria en comunidades rurales, especialmente en zonas vulnerables a la sequía y la desertificación. Además, su cultivo contribuye a la mejora de la calidad del suelo al prevenir la erosión y enriquecerlo con materia orgánica a través de la descomposición de sus restos, lo que fomenta la biodiversidad del suelo y apoya sistemas agrícolas sostenibles. Su fruto, conocido por su alto contenido de antioxidantes, fibras y minerales como el calcio y el magnesio, también tiene aplicaciones en la medicina tradicional y en la producción de derivados como mermeladas, jugos y cosméticos, diversificando las oportunidades económicas para los productores locales.

El mortiño (*Vaccinium floribundum*), nativo de los páramos andinos, es una especie valorada no solo por sus frutos ricos en antioxidantes y vitaminas, sino también por su rol ecológico en la conservación de ecosistemas frágiles. Estos arbustos prosperan a altitudes superiores a los 3,000 metros, donde las condiciones climáticas extremas y los suelos pobres desafían la agricultura convencional. Los frutos del mortiño, cargados de antocianinas y vitamina C, son un superalimento que ha ganado atención por sus propiedades saludables, como la prevención de enfermedades cardiovasculares y el fortalecimiento del sistema inmunológico. Más allá de su valor nutricional, esta planta desempeña un papel crucial en la regulación del ciclo hídrico, ya que sus raíces profundas ayudan a estabilizar los suelos de los páramos, previniendo deslizamientos y manteniendo las cuencas hidrográficas que abastecen de agua a las comunidades andinas. Estudios recientes destacan su importancia en la mitigación del cambio climático, al actuar como un sumidero de carbono en estos ecosistemas vulnerables (Cuesta et al., 2017), lo que subraya la necesidad de proteger su hábitat natural frente a presiones como la ganadería extensiva y el cambio de uso del suelo.

El pepino dulce (*Solanum muricatum*), originario de la región andina de Ecuador, ha ganado relevancia en mercados internacionales debido a su sabor único, que combina notas dulces y ligeramente ácidas, y sus destacadas propiedades nutricionales. Esta planta, cultivada tradicionalmente en altitudes entre 1,500 y 3,000 metros, se adapta a una variedad de suelos y climas,

lo que la hace versátil para pequeños agricultores y huertos familiares. Rico en vitamina A, C y betacarotenos, el pepino dulce no solo es un alimento saludable, sino que también tiene un valor cultural profundo, siendo parte de las tradiciones culinarias y festivas de las comunidades indígenas. Su creciente demanda en mercados globales, especialmente en Europa y América del Norte, se debe a su potencial como ingrediente en ensaladas, postres y productos procesados, lo que ha impulsado su comercialización y ha elevado su estatus económico. Sin embargo, esta popularidad plantea desafíos, como la necesidad de implementar prácticas sostenibles para evitar la sobreexplotación y la pérdida de variedades locales. Su cultivo también fomenta la resiliencia agrícola, al diversificar los ingresos de las comunidades y reducir la dependencia de monocultivos, consolidándolo como un símbolo de la riqueza agrobiodiversa ecuatoriana.

La conservación de estos frutales enfrenta desafíos significativos que amenazan su diversidad genética y cultural. La intensificación agrícola, la urbanización y el cambio climático han contribuido a la erosión genética de variedades locales, como se observa en el pepino dulce y el mortiño. Además, la pérdida de conocimientos tradicionales y la falta de incentivos para los agricultores que cultivan estas especies nativas limitan su propagación y uso sostenible (De la Torre et al., 2018). En este contexto, la conservación requiere enfoques integrales que combinen bancos de germoplasma, programas de mejoramiento genético y la participación activa de las comunidades locales como custodias de este patrimonio.

El propósito de esta investigación es documentar y analizar experiencias exitosas en la conservación de la agrobiodiversidad nativa en Ecuador, con un enfoque particular en los frutales mencionados. Mediante un enfoque interdisciplinario, se busca destacar las prácticas agrícolas tradicionales, evaluar los impactos ecológicos y socioeconómicos de estos cultivos y proponer estrategias para su conservación y promoción (Cuesta et al., 2017). Este trabajo aspira a visibilizar la agrobiodiversidad como un patrimonio vivo, promoviendo políticas públicas y programas comunitarios que fortalezcan la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos contemporáneos. Así, se pretende garantizar que la tuna, el mortiño y el pepino dulce sigan siendo pilares de la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la identidad cultural de Ecuador.

La conservación de la agrobiodiversidad nativa emerge como un imperativo estratégico para garantizar la seguridad y soberanía alimentaria, particularmente en un escenario global marcado por la incertidumbre climática, la erosión genética acelerada y la transformación de los patrones productivos tradicionales. En Ecuador, este desafío adquiere una relevancia especial debido a la riqueza de sus ecosistemas y la diversidad de cultivos nativos que sustentan a las comunidades rurales. Instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en colaboración con organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), han liderado esfuerzos integrales que combinan estrategias de conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* se materializa a través de bancos de semillas gestionados por comunidades y centros de

bioconocimiento, que preservan variedades nativas en su entorno original, mientras que la conservación *ex situ* se apoya en infraestructuras como el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP, que almacena recursos genéticos en condiciones controladas para su estudio y recuperación futura (INIAP, 2025). Estas iniciativas no solo buscan salvaguardar la diversidad genética frente a amenazas como la homogeneización agrícola y el cambio climático, sino que también promueven el uso sostenible de los cultivos, fortaleciendo la resiliencia de los agroecosistemas. Además, se prioriza el empoderamiento de las comunidades locales mediante la capacitación en técnicas de manejo sostenible, el fomento del libre intercambio de semillas campesinas y la integración de los saberes ancestrales en marcos de políticas públicas que reconozcan su valor como base del conocimiento biocultural. Este enfoque holístico busca posicionar la agrobiodiversidad como un pilar de la sostenibilidad, conectando la tradición con la innovación y asegurando que las generaciones futuras hereden un patrimonio vivo capaz de adaptarse a los retos contemporáneos.

En este marco, los objetivos del capítulo son tres: primero, analizar la agrobiodiversidad como patrimonio biocultural y su papel en la construcción de resiliencia comunitaria; segundo, describir las experiencias de conservación en Ecuador, tanto a nivel institucional como comunitario; y tercero, discutir los retos y oportunidades para consolidar políticas públicas que reconozcan los saberes ancestrales y promuevan el uso sostenible de la diversidad agrícola. Este análisis permitirá comprender cómo la agrobiodiversidad debe ser entendida como un patrimonio vivo, indispensable no solo para la seguridad alimentaria, sino también para la continuidad cultural y ecológica del país.

1.1.1. Propósitos y marco de la investigación: enfoque interdisciplinario y relevancia de estudiar la conservación de frutales nativos como la tuna, mortiño y pepino dulce

La agrobiodiversidad en Ecuador representa un legado vivo que entrelaza la riqueza biológica con las tradiciones culturales de sus comunidades rurales, posicionándose como un pilar esencial para la sostenibilidad y la resiliencia en un contexto de desafíos globales. Este recurso, resultado de siglos de interacción entre los pueblos indígenas, campesinos y sus ecosistemas, no solo sustenta la seguridad alimentaria, sino que también encapsula conocimientos ancestrales que refuerzan la identidad cultural y la cohesión social. En un mundo marcado por el cambio climático, la erosión genética y la presión de los sistemas agrícolas modernos, la conservación de esta diversidad se ha convertido en una prioridad estratégica. A través de un enfoque interdisciplinario, este capítulo busca analizar las dimensiones bioculturales de la agrobiodiversidad, evaluar las iniciativas de conservación desarrolladas en el país y proponer caminos para su integración en políticas públicas inclusivas. Con base en las experiencias de instituciones nacionales e internacionales, así como en el rol protagónico de las comunidades, se explorarán las oportunidades y retos que definen el futuro de este patrimonio, con el objetivo de garantizar su continuidad como un motor de desarrollo sostenible.

El primer objetivo, analizar la agrobiodiversidad como patrimonio biocultural y su relevancia para la identidad y resiliencia de las comunidades rurales, se centra en explorar cómo esta diversidad trasciende su dimensión biológica para convertirse en un elemento central de la identidad cultural. Este análisis se fundamenta en las prácticas agrícolas, los rituales y las cosmovisiones de los pueblos indígenas y campesinos, que han moldeado un sistema de conocimientos único. Se evaluará su papel como un mecanismo de resiliencia frente a crisis ambientales, como sequías o inundaciones, y socioeconómicas, como la pobreza o la migración, destacando su contribución a la soberanía alimentaria al proveer alimentos nutritivos y adaptados a los contextos locales. Asimismo, se subrayará cómo fortalece la cohesión social al promover el trabajo colectivo y la transmisión intergeneracional de saberes, consolidando a las comunidades como guardianas de este patrimonio.

El segundo objetivo, describir y evaluar las iniciativas de conservación desarrolladas en Ecuador, tanto *in situ* como *ex situ*, destacando actores institucionales y comunitarios, profundizará en las estrategias implementadas para proteger la agrobiodiversidad. Este apartado examinará el funcionamiento de bancos de semillas comunitarios, que preservan variedades nativas en su entorno original, los centros de bioconocimiento que documentan saberes tradicionales, y el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP, que almacena recursos genéticos en condiciones controladas. Se analizará la colaboración entre el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y las organizaciones locales, evaluando la eficacia de estas iniciativas. Se identificarán fortalezas, como la participación activa de las comunidades, y debilidades, como la falta de recursos, para comprender su impacto en la preservación del patrimonio genético.

El tercer objetivo, identificar los retos y oportunidades para consolidar estas prácticas en políticas públicas inclusivas que aseguren la continuidad de la agrobiodiversidad nativa, abordará los desafíos actuales que amenazan este legado. Entre los retos se encuentran la falta de financiamiento para proyectos de conservación, la presión de los mercados globales que favorecen monocultivos y la pérdida de conocimientos tradicionales debido a la modernización. Sin embargo, también se explorarán oportunidades, como la integración de tecnologías modernas para mejorar la productividad, la promoción de productos derivados de cultivos nativos en mercados nacionales e internacionales, y la creación de alianzas público-privadas que amplíen el alcance de estas iniciativas. Se propondrá un marco normativo que incorpore los saberes ancestrales, garantice el acceso equitativo a los recursos genéticos y fomente la sostenibilidad a largo plazo, asegurando que la agrobiodiversidad siga siendo un pilar de resiliencia y desarrollo para las generaciones futuras.

Este enfoque integrador permite comprender cómo las experiencias concretas de conservación en Ecuador entrelazan el conocimiento ancestral, la innovación institucional y la resiliencia agroecológica. Al posicionar la agrobiodiversidad como un patrimonio vivo y un motor de desarrollo sostenible, el capítulo busca contribuir al diseño de estrategias que equilibren la preservación cultural con las demandas de un mundo en transformación, asegurando que este legado

siga siendo una fuente de vida y prosperidad para las comunidades y el planeta. Permite ver a la agrobiodiversidad en Ecuador no es solo como un recurso biológico, sino como un legado cultural y ecológico que sostiene la vida de las comunidades rurales y contribuye a la sostenibilidad global. La conservación de este patrimonio requiere un enfoque interdisciplinario que combine la ciencia, la cultura y la política, reconociendo el valor de los cultivos nativos y los conocimientos tradicionales como herramientas para enfrentar los desafíos del presente y del futuro. A través de la investigación, la educación y la acción colectiva, es posible garantizar que este patrimonio vivo continúe siendo un pilar de la identidad y la resiliencia de Ecuador.

1.2. LOS FRUTALES NATIVOS EN FOCO: TUNA, MORTIÑO Y PEPINO DULCE

El apartado constituye un aporte relevante al estudio de la agrobiodiversidad ecuatoriana al centrarse en tres especies frutales nativas de importancia ecológica, nutricional y cultural: la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*). Desde un punto de vista científico, estas especies representan modelos sobresalientes de adaptación y resiliencia en distintos ecosistemas del país. En primer lugar, su adaptación a entornos agroecológicos contrastantes es evidencia de su plasticidad fenotípica y genética. La tuna, por ejemplo, prospera en zonas áridas y semiáridas gracias a su metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), que le permite una alta eficiencia en el uso del agua y tolerancia a sequías prolongadas. El mortiño, en cambio, se desarrolla en ecosistemas de páramo y suelos ácidos, donde presenta asociaciones micorrícicas que mejoran la absorción de nutrientes en condiciones extremas. El pepino dulce, propio de climas templados andinos, muestra alta variabilidad morfológica y una adaptación notable a sistemas de cultivo mixtos en laderas y valles interandinos.

En cuanto a su contribución a la resiliencia climática y la biodiversidad, estas especies no solo diversifican la dieta humana, sino que también cumplen funciones ecológicas críticas. La tuna favorece la regeneración de suelos y actúa como refugio para fauna polinizadora y dispersora. El mortiño es clave en la dinámica trófica de aves y mamíferos del páramo, mientras que el pepino dulce fortalece la diversidad genética de los sistemas agrícolas tradicionales al coexistir con granos andinos y tubérculos.

Desde la perspectiva nutricional y medicinal, los tres frutales han sido ampliamente estudiados (Figura 1.3). La tuna aporta fibras solubles, compuestos fenólicos y betalainas con capacidad antioxidante y antiinflamatoria. El mortiño es rico en antocianinas, reconocidas por su efecto cardioprotector y neuroprotector, mientras que el pepino dulce contiene vitaminas C y K, junto con glucósidos que han mostrado potencial en la regulación de la glucemia. Su valor cultural y socioeconómico se expresa en los sistemas agrícolas ancestrales como las chakras andinas, donde estas especies se integran con cultivos de papa, maíz y quinua, asegurando la autosuficiencia alimentaria y la transmisión de conocimientos intergeneracionales. A nivel de mercados, la evidencia

científica respalda su potencial: el mortiño se perfila como un “superfruit” para la exportación debido a sus propiedades nutraceuticas, mientras que la tuna y el pepino dulce tienen aplicaciones en agroindustria (jugos, mermeladas, colorantes naturales, cosméticos). El análisis científico de estas especies demuestra que su conservación y aprovechamiento no solo fortalece la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola, sino que también potencia la inserción de productos nativos en cadenas de valor diferenciadas, con beneficios para la economía local y global.

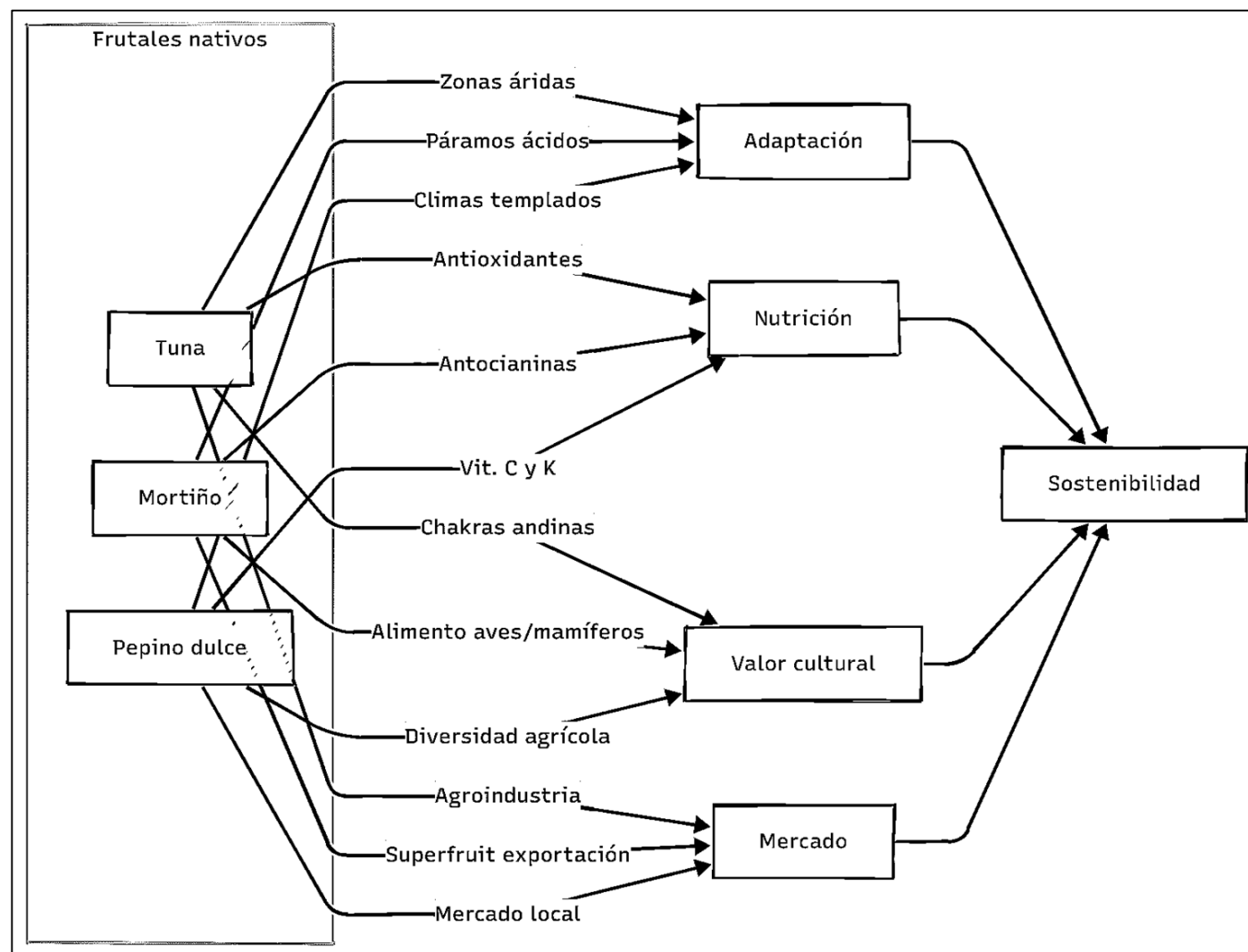


Figura 1.3. Flujograma de los beneficios y características de los frutales nativos. Ilustra las características, adaptaciones, valores nutricionales, culturales y de mercado de tres frutales nativos (tuna, mortiño y pepino dulce), destacando su contribución a la sostenibilidad.

1.2.1. Tuna (*Opuntia ficus-indica*): Resiliencia y aprovechamiento integral

Opuntia ficus-indica (tuna, prickly pear) es una cactácea xerófila ampliamente distribuida en regiones áridas y semiáridas del mundo. Debido a su combinación de rasgos fisiológicos, valor nutricional y versatilidad productiva, constituye tanto un recurso tradicional alimentario como una oportunidad para sistemas agroecológicos y cadenas de valor industrial (alimentación, cosmética, farmacéutica).

Opuntia ficus-indica, conocida comúnmente como tuna o nopal, se erige como una de las cactáceas más emblemáticas y versátiles originarias de las regiones áridas y semiáridas del mundo. Originaria de México, donde su domesticación se remonta a miles de años, esta planta ha conquistado tierras en el Mediterráneo, África, Asia y Australia, adaptándose con notable resiliencia a condiciones extremas de sequía y suelos pobres. Su presencia se extiende por más de tres millones de hectáreas cultivadas a nivel global, con una producción anual que supera las 300,000 toneladas de frutos en su lugar de origen, destacando su relevancia tanto cultural como económica.

La tuna combina una serie de rasgos fisiológicos únicos que le permiten prosperar donde otros cultivos sucumben. Sus cladodios aplanados, que almacenan hasta un 95% de agua, y su metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) le otorgan una eficiencia fotosintética excepcional, fijando dióxido de carbono durante la noche para minimizar la pérdida de agua. Esta adaptación no solo asegura su supervivencia, sino que también la convierte en una herramienta valiosa para la restauración ecológica y la mitigación de la erosión en suelos degradados. Además, su valor nutricional, con frutos ricos en vitaminas, minerales y antioxidantes como las betalainas, y cladodios cargados de fibra y proteínas, la posiciona como un superalimento tradicional que ha nutrido a generaciones en culturas mesoamericanas y mediterráneas.

Más allá de su rol alimentario, *Opuntia ficus-indica* (Ilustración 1.1) ofrece un potencial transformador en sistemas agroecológicos y cadenas de valor industriales. Sus aplicaciones abarcan desde la producción de jugos, mermeladas y colorantes naturales hasta la extracción de mucílago para recubrimientos comestibles y extractos para cosméticos y farmacéuticos con propiedades antiinflamatorias y antidiabéticas. Este libro explora la riqueza botánica, las adaptaciones científicas y las oportunidades económicas que la tuna brinda, invitando al lector a descubrir cómo esta planta nativa de los desiertos puede ser una solución sostenible frente a los desafíos del cambio climático y la inseguridad alimentaria en el siglo XXI.

Opuntia ficus-indica exhibe características ecológicas y adaptaciones excepcionales a entornos áridos que aseguran su supervivencia y funcionalidad en condiciones adversas. Emplea predominantemente el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), abriendo estomas por la noche para fijar CO₂ en forma de ácidos orgánicos, lo que minimiza las pérdidas hídricas y optimiza su eficiencia en el uso del agua, permitiéndole mantener productividad incluso durante periodos de sequía relativa.

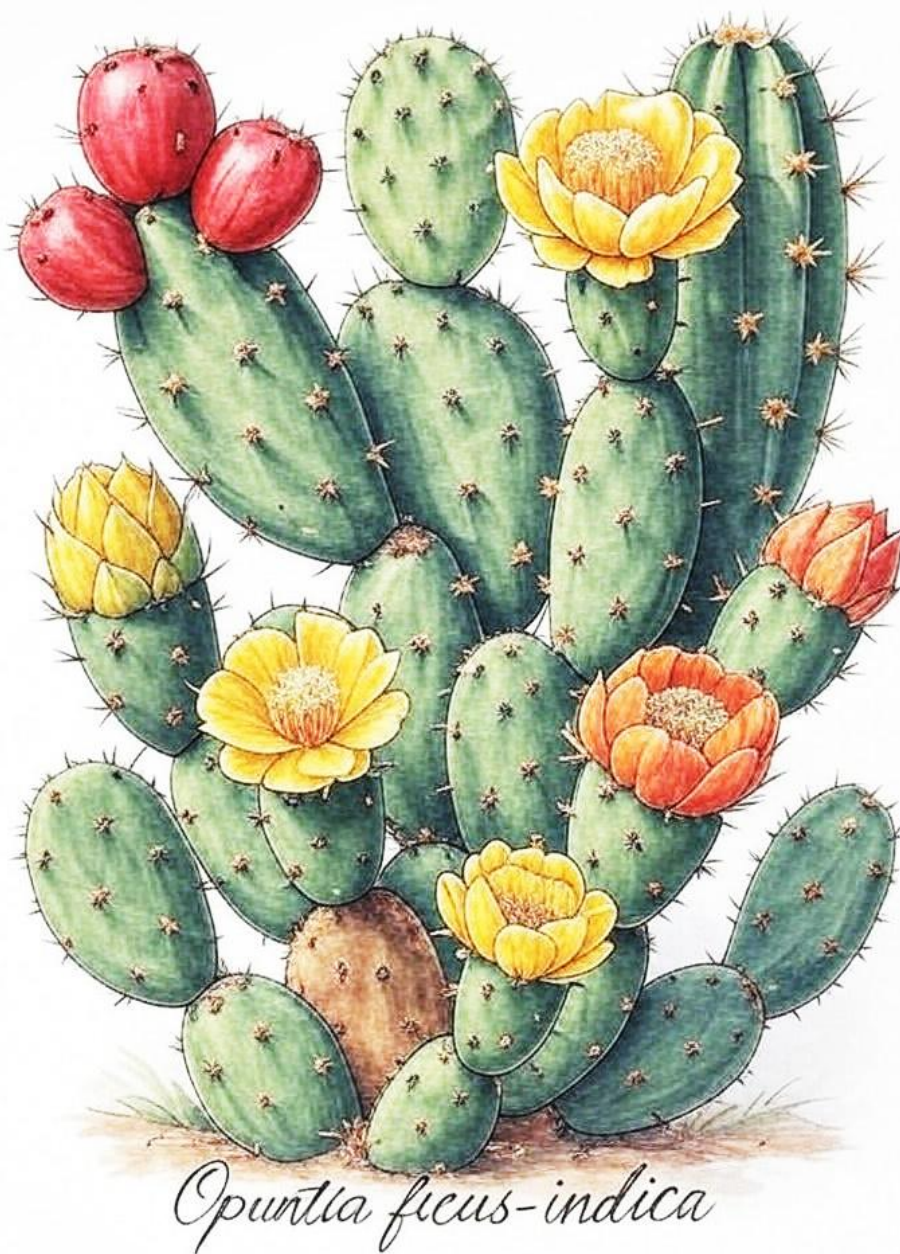


Ilustración 1.1. Ilustración de *Opuntia ficus-indica*, El Nopal en su Entorno Natural. Esta ilustración en estilo acuarela presenta una vista detallada de la *Opuntia ficus-indica* (nopal o tuna), un cactus nativo de regiones áridas, conocido por sus segmentos planos verdes con espinas rojas y sus frutos nutritivos. Incluye un arbusto completo sobre un suelo rocoso, un cladodio con frutos maduros rojos.

Su morfología succulenta, caracterizada por cladodios que almacenan agua y carbohidratos, junto con paredes celulares robustas y una cutícula que reduce la evapotranspiración, actúa como reserva energética y asegura la regeneración tras episodios de estrés hídrico. Además, su tolerancia a suelos pobres y salinos le confiere un rol ecosistémico crucial, contribuyendo a la estabilización de suelos, la prevención de erosión y la recuperación de áreas degradadas, lo que la posiciona como una herramienta clave en estrategias de adaptación al cambio climático y restauración de regiones semiáridas; sin embargo, su manejo exige precaución debido a su potencial invasor en algunos ecosistemas.

Opuntia ficus-indica destaca por su valor nutricional, con el fruto, los cladodios y las semillas ofreciendo una composición rica y diversa que lo posiciona como un recurso alimentario valioso. El fruto se caracteriza por un alto contenido de carbohidratos sencillos (azúcares), fibra dietética y agua, proporcionando una fuente de energía inmediata, mientras que las semillas contienen lípidos con ácidos grasos insaturados como oleico y linoleico, despertando interés por su potencial como aceite funcional y por sus compuestos lipofílicos de valor nutricional.

Además, se han identificado compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, betalainas, carotenoides y vitamina C, que confieren propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, con estudios in vitro e in vivo respaldando efectos biológicos prometedores. La Tabla 1.1 muestra la composición nutricional de pulpa, cáscara y semillas de *Opuntia ficus-indica* por 100 g. La pulpa es rica en agua, carbohidratos, vitamina C y polifenoles; la cáscara destaca por su contenido mineral y fenólico; y las semillas aportan carbohidratos, proteínas, grasas y antioxidantes.

Tabla 1.1. Composición nutricional (por 100 gramos) de distintas partes de *Opuntia ficus-indica*

Parte / componente	Agua (g)	Carbohidratos / Azúcares (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra / cenizas / minerales	Vitaminas / compuestos funcionales destacados
Fruto / pulpa (peso fresco)	79.9 – 83.0 % (varios ecotipos)	14–20 % totales, de los cuales 8–14 % azúcares	~0.5 %	0.12–0.15 %	Minerales (K, Ca, Mg, P, Na) en rangos de decenas a cientos mg/100 g	Vitamina C: ~21–32 mg/100 g; carotenos 18–43 mg/100 g; polifenoles totales 109–158 mg/100 g
Cáscara / piel del fruto	—	—	—	—	Se ha reportado contenido mineral alto, especialmente calcio, potasio	En estudios recientes, la cáscara ha mostrado alto contenido fenólico (mayor que la pulpa)
Semillas (fruto)	~18 % contenido de agua	~61.15 % carbohidratos	4.48 % (en semillas)	3.66 % (en semillas)	Cenizas ~12.66 %	Las semillas contienen compuestos fenólicos, antioxidantes (48 a 89 mg/100 g)

Nota: Los valores reportados son aproximados y pueden variar según variedad, madurez del fruto, condiciones de cultivo, clima y método de análisis.

Opuntia ficus-indica ha sido un recurso esencial en las comunidades rurales, donde sus usos tradicionales incluyen el consumo directo de frutos y cladodios preparados, el empleo como forraje

desespinado en épocas secas, remedios populares para heridas, digestión y control glicémico, así como material para cercas vivas y construcción, usos bien documentados etnobotánicamente que refuerzan su valor socioeconómico local.

En el ámbito industrial, la pulpa y el jugo se transforman en mermeladas, néctares, conservas y colorantes naturales derivados de las betalainas, empleando técnicas como pasteurización, microfiltración y liofilización para prolongar su vida útil y preservar compuestos funcionales, consolidándola como materia prima para alimentos funcionales.

Asimismo, el aceite de semilla de tuna, rico en ácidos grasos insaturados y esteroides, destaca en cosmética por sus propiedades hidratantes y su aporte de vitamina E y antioxidantes, despertando un creciente interés en el mercado europeo de productos naturales y de alta gama, aunque la extracción eficiente, limitada por la baja relación semillas/pulpa (Tabla 1.2), representa un desafío técnico y económico que impulsa oportunidades de encadenamiento productivo.

Tabla 1.2. Métodos de extracción de aceite de semilla de *Opuntia ficus-indica* y su viabilidad económica

Método	Principio / procedimiento	Rendimiento típico / características	Ventajas	Desventajas / retos
Solventes convencionales (Soxhlet con n-hexano u otros disolventes)	Las semillas finamente molidas son sometidas a extracción continua con solvente orgánico	En algunos estudios se ha obtenido ~10.32 % (wild) y ~8.91 % mediante Soxhlet con hexano	Buena eficiencia de extracción, tecnología conocida	Uso de disolventes volátiles, necesidad de remoción del solvente (coste energético), seguridad, residuos
Prensado mecánico / prensa en frío / prensa caliente	Las semillas secas son físicamente prensadas para extraer el aceite	Rendimientos menores en comparación con solventes, pero calidad más alta	Ausencia de solventes, más natural, menor degradación térmica (en prensado en frío)	Rendimiento bajo, necesidad de molienda previa, temperatura controlada para evitar degradación
Extracción asistida (supercrítica, CO ₂ , ultrasonido, microondas, etc.)	Se usan técnicas avanzadas para mejorar difusión, romper estructuras celulares o usar fluidos especiales	Se han reportado mejoras en eficiencia y calidad, dependiendo del método	Menor uso de solventes agresivos, mejores perfiles de calidad (menor oxidación)	Equipos costosos, escalabilidad, optimización del método para cada semilla/variedad
Métodos emergentes o híbridos	Pretratamientos térmicos, hidrodifusión con microondas para extraer compuestos como betanina o pectinas, seguido de extracción de aceite	En algunos estudios piloto se integran extracción de subproductos + aceite	Mejor aprovechamiento integral de la biomasa, sinérgico con otras cadenas de valor	Diseño de procesos complejos, costos de inversión, necesidad de optimización específica

Nota: Los rendimientos y características del aceite varían según el método de extracción, condiciones de operación, variedad de semilla y manejo poscosecha; los datos presentados son aproximados.

El nopal posee un notable potencial económico para diversificar los sistemas agrícolas en zonas con limitaciones hídricas, debido a su bajo requerimiento de agua, alta eficiencia en el uso de recursos y gran resiliencia frente a condiciones climáticas extremas (Figura 1.4). Estas características lo convierten en una alternativa estratégica frente a cultivos intensivos en agua,

contribuyendo a reducir la presión sobre los recursos hídricos y a fortalecer la seguridad alimentaria. Además, su aprovechamiento integral permite obtener múltiples subproductos (forraje, biomasa, compuestos nutraceuticos y bioproductos) que amplían las oportunidades de desarrollo agroindustrial y generan nuevas fuentes de ingreso para comunidades rurales, fomentando sistemas productivos más sostenibles.

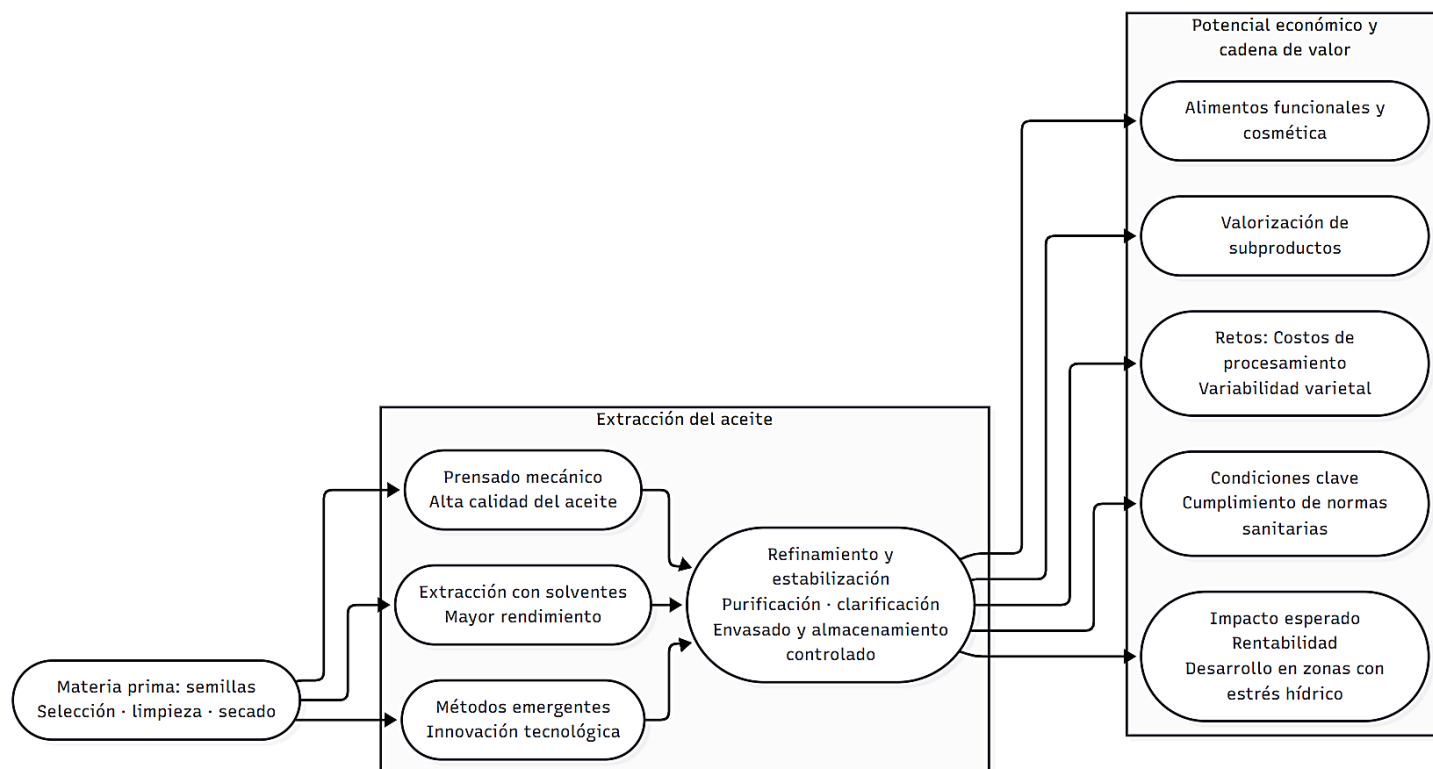


Figura 1.4. Potencial Económico y Cadena de Valor del Aceite de Semillas de *Opuntia ficus-indica*. El diagrama destaca el potencial económico de *Opuntia ficus-indica* como cultivo resiliente para zonas áridas, con oportunidades en la producción de aceite de semillas. Consolidar cadenas de valor sostenibles, contribuye a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico en regiones con estrés hídrico.

No obstante, la expansión comercial del nopal enfrenta varios desafíos que limitan su consolidación en mercados nacionales e internacionales. Entre los principales se encuentran la falta de estandarización de la calidad debido a la variabilidad varietal, los elevados costos asociados al desespinado, al procesamiento industrial y a la extracción de aceite de semilla, así como el cumplimiento riguroso de normas sanitarias y fitosanitarias requeridas para la exportación. A pesar de ello, diversos estudios económicos indican que la valorización de residuos (incluyendo pulpa,

bagazo y cladodios) para la obtención de bioproductos innovadores podría incrementar significativamente la rentabilidad. Para ello, es necesario superar las barreras técnicas, logísticas y regulatorias que actualmente dificultan la consolidación de cadenas de valor sostenibles y competitivas basadas en esta especie multipropósito.

1.2.2. Mortiño (*Vaccinium floribundum*): Un superalimento andino

Vaccinium floribundum Kunth, conocido comúnmente como mortiño o arándano andino, es un arbusto perenne nativo de los ecosistemas altoandinos de Sudamérica, particularmente de los páramos de Ecuador, Colombia, Perú y Venezuela. Esta especie, perteneciente a la familia Ericaceae, constituye uno de los frutos silvestres más emblemáticos de la región andina, destacándose tanto por su valor ecológico como por su potencial alimentario, nutracéutico y cultural. Su notable adaptación a condiciones extremas de altitud, radiación ultravioleta y suelos ácidos y pobres en nutrientes, la posiciona como una especie clave en los sistemas ecológicos de montaña y una oportunidad para la agricultura sostenible y la diversificación productiva en zonas de altura.

Originario de los Andes septentrionales, el mortiño prospera entre los 2.800 y 4.200 m s. n. m., donde pocas especies frutales logran desarrollarse. Se caracteriza por su porte arbustivo, hojas pequeñas coriáceas y frutos esféricos de color azul violáceo oscuro, ricos en pigmentos naturales (Ilustración 1.2). Su distribución silvestre en los páramos y bosques montanos del norte del Ecuador (particularmente en las provincias de Imbabura, Carchi, Pichincha y Chimborazo) ha sido aprovechada ancestralmente por comunidades locales que recolectan el fruto para su consumo directo y la elaboración de bebidas y postres tradicionales, como la colada morada, elemento central de la identidad gastronómica ecuatoriana.

El mortiño combina una serie de rasgos fisiológicos y ecológicos que le permiten sobrevivir en ambientes fríos, con alta radiación y baja disponibilidad de nutrientes. Su sistema radicular superficial asociado con micorrizas ericoides le facilita la absorción de nutrientes en suelos ácidos, mientras que sus hojas pequeñas, de cutícula gruesa y cubierta cerosa, minimizan la pérdida de agua y protegen contra el estrés térmico y lumínico. Estas adaptaciones, junto con su papel como especie pionera y nodriza, la convierten en un componente fundamental para la regeneración natural del páramo y la conservación de la biodiversidad altoandina.

Además, *Vaccinium floribundum* posee un valor nutricional sobresaliente. Sus frutos contienen una alta proporción de agua (80–85%), azúcares naturales, ácidos orgánicos, fibra dietética y una excepcional concentración de compuestos bioactivos, entre ellos antocianinas, flavonoides, taninos y vitamina C, responsables de su potente capacidad antioxidante. Estudios fitoquímicos recientes destacan que el mortiño presenta perfiles de antocianinas comparables o incluso superiores a los de los arándanos silvestres del hemisferio norte (*Vaccinium myrtillus*), lo que ha despertado un creciente interés en el ámbito de los alimentos funcionales y la industria nutracéutica. Estas antocianinas, principalmente de tipo delfinidina, malvidina y cianidina, son responsables de su intenso

color azul violáceo y de su notable capacidad antioxidante. Investigaciones desarrolladas en Ecuador han mostrado que los extractos de mortiño poseen una alta actividad captadora de radicales libres y capacidad reductora de hierro, lo que refuerza su potencial para prevenir el estrés oxidativo y proteger la salud celular. Además, el mortiño contiene flavonoides, ácidos fenólicos y vitamina C que actúan de forma sinérgica con las antocianinas, potenciando sus efectos antioxidantes y antiinflamatorios.

Tabla 1.3. Composición nutricional (por 100 gramos) de *Vaccinium floribundum* (fruto fresco)

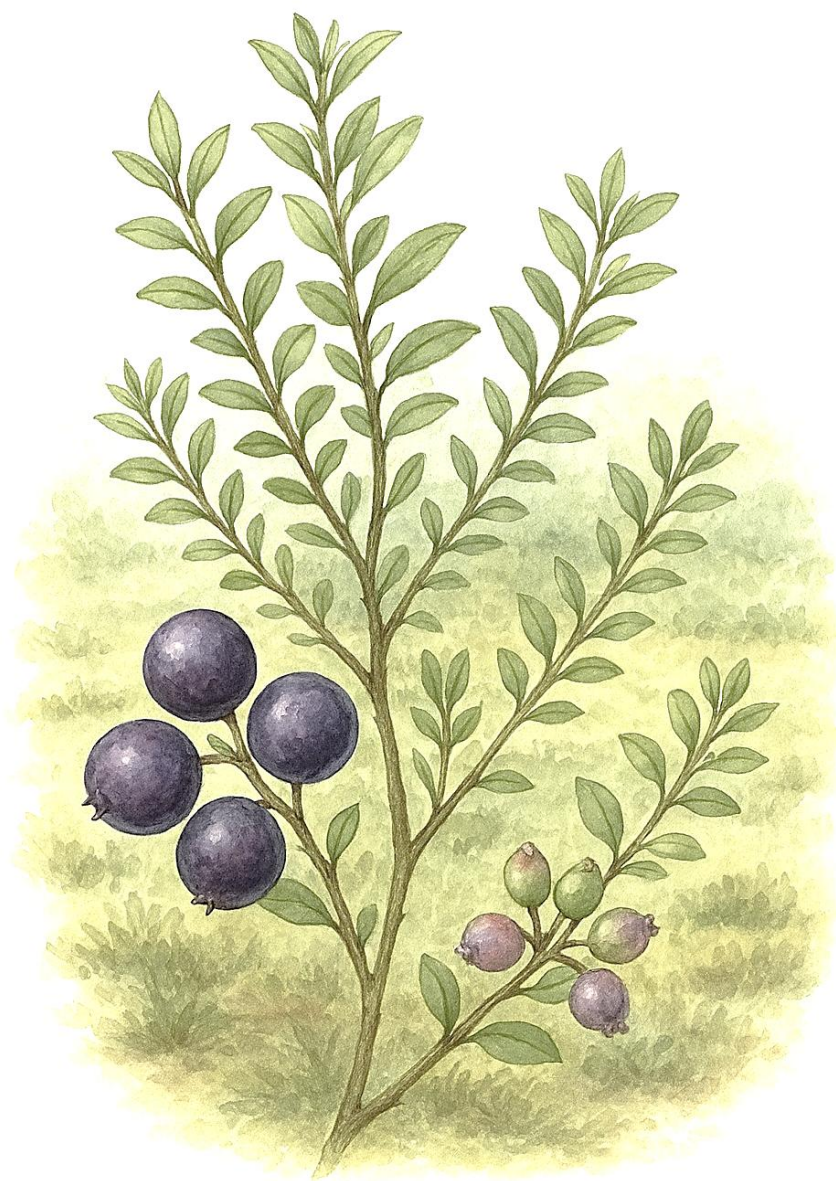
Componente	Contenido aproximado	Compuestos destacados / propiedades
Agua	80–85 g	Mantiene la jugosidad y frescura del fruto
Carbohidratos (azúcares)	9–14 %	Glucosa, fructosa; energía inmediata
Proteína	0.6–1.1 %	Aminoácidos esenciales en pequeñas proporciones
Grasa	0.2–0.4 %	Principalmente ácidos grasos insaturados
Fibra dietética	2.5–4.0 %	Mejora la digestión y regula el metabolismo glucídico
Vitamina C	15–25 mg/100 g	Refuerza el sistema inmune, antioxidante
Antocianinas totales	200–400 mg/100 g	Actividad antioxidante y color característico
Polifenoles totales	500–800 mg/100 g	Propiedades antiinflamatorias y vasoprotectoras

Nota: Los valores son aproximados y varían según la altitud, madurez del fruto, condiciones climáticas y métodos de análisis.

El mortiño se destaca por su composición química y su aporte a la salud humana. En la Tabla 1.3 se presenta la composición nutricional aproximada por 100 g de fruto fresco. El contenido de antocianinas totales y polifenoles es especialmente alto, asociado con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y protectoras frente al estrés oxidativo y enfermedades metabólicas.

En el ámbito etnobotánico, el mortiño posee una larga y arraigada tradición de uso en las comunidades andinas, donde su presencia forma parte de la identidad cultural y los conocimientos locales transmitidos de generación en generación. El fruto, consumido fresco, en jugos o bebidas tradicionales, se valora no solo por su sabor y aroma, sino también por sus propiedades nutritivas y funcionales, lo que lo convierte en un elemento central de la alimentación local, especialmente en temporadas de cosecha abundante. Además, su uso en preparaciones tradicionales refleja la profunda comprensión que las comunidades tienen sobre la planta y sus beneficios para la salud y la nutrición.

Más allá de su valor alimentario, el mortiño se emplea como planta medicinal para aliviar diversas afecciones gastrointestinales, respiratorias y urinarias, atribuidas a sus compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Las hojas y raíces, aunque menos utilizadas que los frutos, se incorporan en infusiones y cataplasmas con fines digestivos y terapéuticos, evidenciando la versatilidad de la planta en la medicina tradicional andina.



Vaccinium floribundum

Ilustración 1.2. Ilustración de *Vaccinium floribundum*, El Mortiño: Tesoro Silvestre de los Páramos Andinos. Esta ilustración en estilo acuarela presenta una vista detallada de *Vaccinium floribundum* (Mortiño), un arbusto nativo de los páramos altoandinos, reconocido por sus pequeñas bayas de color púrpura oscuro y su follaje verde brillante. Incluye una rama en primer plano con frutos maduros grandes que resaltan su textura y color intenso.

Estos usos reflejan una relación integral entre los conocimientos ecológicos locales, la salud comunitaria y el manejo sostenible de recursos silvestres.

La recolección del mortiño, predominantemente silvestre, constituye una fuente de ingresos complementaria para familias campesinas y pequeños productores, fortaleciendo economías rurales y generando oportunidades de emprendimiento a escala local. Este aprovechamiento tradicional también establece un vínculo directo entre biodiversidad, cultura y economía, al tiempo que incentiva la conservación de ecosistemas andinos mediante prácticas de recolección responsable y respeto por los ciclos naturales de la planta. De esta manera, el mortiño se posiciona como un recurso biocultural que integra alimentación, medicina, identidad y desarrollo rural sostenible.

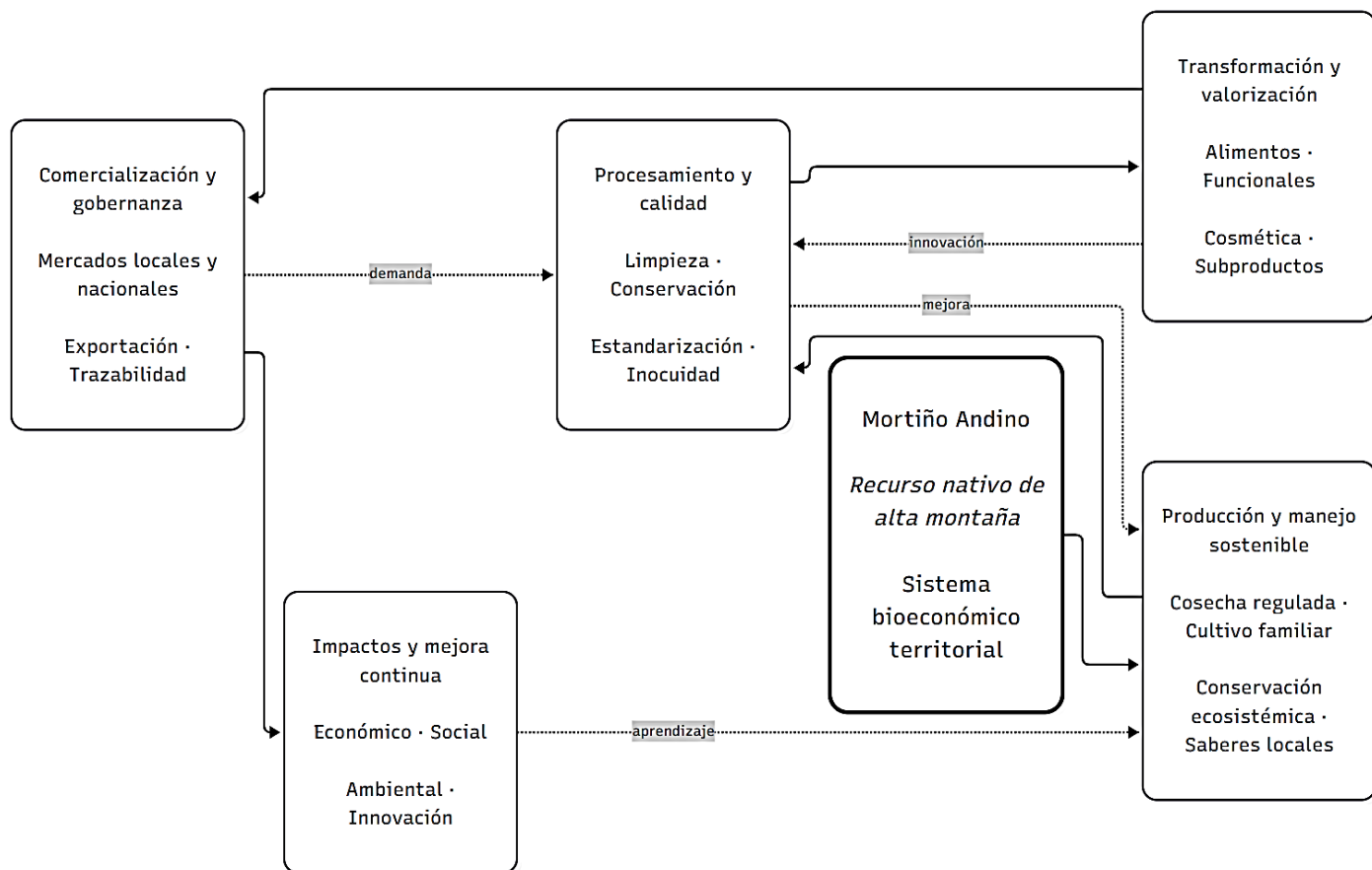


Figura 1.5. Potencial Económico y Cadena de Valor del Mortiño Andino. El diagrama representa la cadena de valor del mortiño andino, desde su recolección y producción sostenible hasta la transformación industrial, comercialización y generación de valor agregado. Las flechas indican la relación entre etapas, destacando cómo la innovación potencia la transformación y la comercialización, mientras que el impacto final refleja beneficios económicos y sociales para las comunidades locales.

Desde la perspectiva agroecológica, el mortiño representa un recurso estratégico para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles en zonas de altura, particularmente en ecosistemas de páramo y montañas andinas. Su bajo requerimiento hídrico y elevada tolerancia a bajas temperaturas le permiten crecer en condiciones donde otros cultivos comerciales fracasarían, lo que reduce la presión sobre fuentes de agua escasas y disminuye la necesidad de insumos externos. Además, la capacidad del mortiño de establecer asociaciones simbióticas con hongos micorrízicos mejora la absorción de nutrientes del suelo y refuerza la resiliencia de la planta frente a condiciones adversas, consolidando su papel como componente clave en sistemas agroforestales, cercas vivas y proyectos de restauración ecológica.

El cultivo y domesticación del mortiño silvestre, aunque desafiante, ofrece oportunidades importantes para la soberanía alimentaria y la conservación de la biodiversidad local. La lenta germinación de semillas, la sensibilidad al trasplante y la baja tasa de propagación exigen estrategias de manejo específicas, incluyendo técnicas de vivero, selección de genotipos adaptados y prácticas de agroforestería que integren la especie con otros cultivos nativos. Estas prácticas no solo potencian la producción sostenible de frutos con alto valor nutricional y funcional, sino que también contribuyen a la preservación de los ecosistemas de páramo, garantizando el uso responsable de especies nativas y promoviendo modelos de agricultura que combinan productividad, conservación y resiliencia frente al cambio climático.

El diagrama conceptual de la cadena de valor del mortiño andino (Figura 1.5) muestra los principales eslabones: recolección sostenible, procesamiento artesanal e industrial, desarrollo de productos con valor agregado (mermeladas, vinos, extractos nutraceuticos, cosmética natural) y comercialización local e internacional. Los desafíos incluyen la estacionalidad de la producción, la falta de tecnologías de cultivo estandarizadas y la limitada infraestructura de procesamiento en zonas rurales. Sin embargo, la creciente demanda de superfrutos naturales y el interés del mercado europeo y norteamericano por productos andinos otorgan al mortiño un alto potencial de desarrollo económico sostenible.

El aprovechamiento integral del mortiño abre un abanico de oportunidades que transforman tanto la economía como el entorno en las regiones altoandinas. Este recurso natural puede ser empleado para producir colorantes naturales de gran intensidad y estabilidad, perfectos para textiles, artesanías y alimentos orgánicos. Además, la elaboración de bebidas fermentadas, como vinos o licores artesanales, aprovecha sus cualidades organolépticas, abriendo mercados locales e internacionales. Los extractos antioxidantes, ricos en antocianinas y polifenoles, encuentran uso en la industria farmacéutica y de suplementos dietéticos, promoviendo la salud, mientras que los cosméticos naturales a base de estos compuestos ofrecen una alternativa sostenible en el sector de la belleza, destacando por sus propiedades antiinflamatorias y rejuvenecedoras. Estas aplicaciones posicionan al mortiño como un ingrediente clave en productos ecológicos con alto valor agregado.

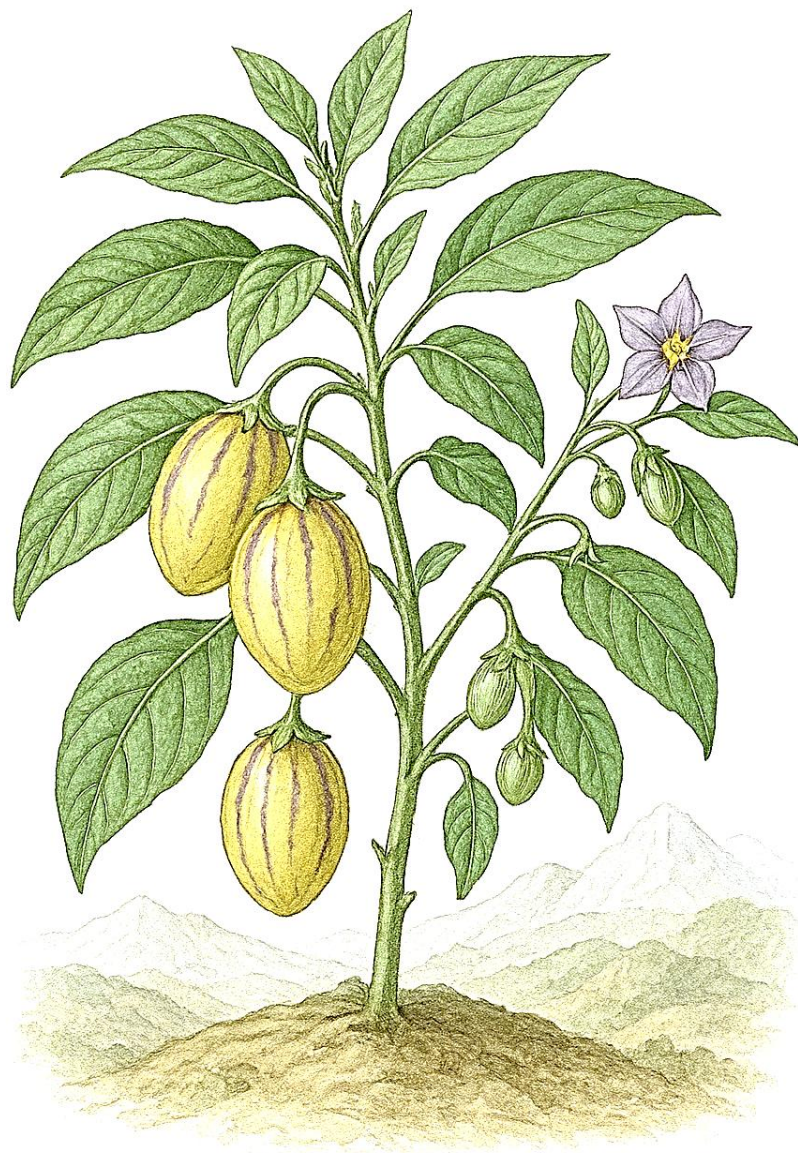
Técnicas de cultivo optimizadas, adaptadas a las duras condiciones de los páramos, buscan incrementar la productividad y la resiliencia frente al cambio climático. La propagación in vitro permite reproducir masivamente plantas sanas y genéticamente diversas, garantizando un suministro constante, mientras que la conservación genética, a través de bancos de germoplasma, protege su biodiversidad ante la pérdida de hábitat. La transformación agroindustrial, con procesos como el secado, la liofilización y la extracción de principios activos, agrega valor y facilita la integración en mercados globales. Esto fortalece las cadenas de valor sostenibles, impulsando la economía rural con empleo y mejores ingresos, al tiempo que promueven la conservación de los ecosistemas altoandinos. En este contexto, el mortiño se convierte en un símbolo de la biodiversidad ecuatoriana y un modelo de integración entre ciencia, cultura y sostenibilidad en los Andes.

1.2.3. Pepino Dulce (*Solanum muricatum*): Versatilidad y valor cultural

Solanum muricatum (pepino dulce, pepino melón) es una solanácea andina adaptada a regiones subtropicales y templadas con potencial para el cultivo en áreas con limitaciones hídricas moderadas. Gracias a su perfil nutricional rico en vitaminas y antioxidantes, junto con su versatilidad en el consumo fresco y procesado, representa un recurso alimentario tradicional y una oportunidad para cadenas de valor en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. *Solanum muricatum*, conocido comúnmente como pepino dulce o pepino melón, es una de las solanáceas más singulares originarias de las regiones andinas de Sudamérica.

Domesticado en los Andes precolombinos, desde el sur de Colombia hasta Bolivia y el norte de Chile, esta planta se ha expandido a cultivos en Nueva Zelanda, Australia Occidental, China (en las mesetas de Yunnan-Guizhou y Loess) y emergentes en África y Europa. Se cultiva en más de 400 hectáreas en Chile y tiene un potencial de producción que supera los miles de toneladas anuales en regiones adaptadas, destacando su importancia cultural en comunidades indígenas andinas y su creciente rol económico en mercados nicho. El pepino dulce combina adaptaciones fisiológicas que le permiten prosperar en climas subtropicales con temperaturas moderadas y altitud. Sus frutos jugosos, con un alto contenido de agua (alrededor del 92%), y su capacidad para producir parthenocárpicamente en algunas variedades, lo hacen eficiente en entornos con variabilidad climática. Esta resiliencia no solo asegura su cultivo sostenible, sino que también lo posiciona como una opción para la diversificación agrícola en áreas con estrés hídrico moderado. Además, su valor nutricional, con frutos cargados de vitamina C, minerales y compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides, lo convierte en un alimento funcional que ha sostenido dietas en culturas andinas y ahora atrae interés global por sus propiedades antioxidantes y antidiabéticas.

Más allá de su uso alimentario, *Solanum muricatum* ofrece un potencial innovador en sistemas agroecológicos y cadenas de valor industriales. Sus aplicaciones incluyen la producción de jugos, mermeladas, extractos para alimentos funcionales y compuestos para cosméticos con efectos hidratantes y antiinflamatorios.



Solanum muricatum

Ilustración 1.3. Ilustración de *Solanum muricatum*, El Pepino Dulce: Fruto Ancestral de los Andes. Esta ilustración en estilo acuarela muestra una vista detallada de *Solanum muricatum* (pepino dulce), una solanácea nativa de los Andes, conocida por sus frutos ovalados con rayas amarillas y moradas y su pulpa jugosa y dulce. Incluye una planta completa creciendo en un terreno montañoso, un fruto maduro cortado longitudinalmente que revela la pulpa interna, y un racimo adicional con frutos en distintas etapas de crecimiento.

Este apartado explora la botánica, las adaptaciones científicas y las oportunidades económicas del pepino dulce, invitando al lector a descubrir cómo esta planta andina puede contribuir a soluciones sostenibles ante el cambio climático y la diversificación de cultivos en el siglo XXI. *Solanum muricatum* exhibe características ecológicas y adaptaciones que lo hacen adecuado para entornos subtropicales y templados con altitud, aunque no tan extremas como las xerófilas. Prefiere temperaturas anuales medias entre 10–20°C, con sensibilidad al frío extremo, pero tolerancia a sequías moderadas gracias a su sistema radicular eficiente y alto contenido hídrico en frutos y hojas. Su morfología herbácea, con tallos erectos y frutos parthenocárpicos en variedades seleccionadas, optimiza la reproducción y minimiza pérdidas por polinización irregular (Ilustración 1.3). Además, su tolerancia a suelos variados y su rol en la biodiversidad solanácea lo posicionan como una herramienta para la adaptación agrícola, contribuyendo a la rotación de cultivos y la prevención de plagas en ecosistemas andinos y subtropicales; sin embargo, su manejo requiere atención a la sensibilidad al exceso de humedad y plagas como el virus del mosaico, para evitar impactos en la productividad.

Tabla 1.4. Composición nutricional (por 100 gramos) de distintas partes de *Solanum muricatum*

Parte / componente	Agua (g)	Carbohidratos / Azúcares (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra / cenizas / minerales	Vitaminas / compuestos funcionales destacados
Fruto / pulpa (peso fresco)	~92 %	5–6 % totales (3–4 % azúcares)	0.5–0.6 %	0.1 %	Fibra ~1 %; minerales (K, Ca, P) en decenas mg/100 g	Vitamina C: 30–80 mg/100 g; polifenoles y flavonoides con actividad antioxidante
Cáscara / piel del fruto	—	—	—	—	Alta en fibra y minerales (K, Ca)	Contenido fenólico moderado, propiedades antioxidantes
Semillas (del fruto)	10–15 %	20–30 %	5–10 %	5–10 %	Cenizas 5–10 %	Compuestos fenólicos y antioxidantes (varían según estudios)

Nota: Los valores reportados son aproximados y pueden variar según variedad, madurez del fruto, condiciones de cultivo, clima y método de análisis.

Solanum muricatum destaca por su valor nutricional, con el fruto, la cáscara y las semillas ofreciendo una composición equilibrada que lo posiciona como un alimento bajo en calorías y rico en nutrientes. El fruto se caracteriza por un alto contenido de agua, carbohidratos simples y vitamina C, proporcionando hidratación y energía, mientras que las semillas contienen lípidos y compuestos bioactivos, generando interés por su potencial funcional. Además, se han identificado compuestos como polifenoles, flavonoides y antioxidantes, que confieren propiedades antiinflamatorias y antidiabéticas, con estudios respaldando efectos beneficiosos para la salud. La Tabla 1.4 muestra la composición nutricional de pulpa, cáscara y semillas de *Solanum muricatum* por 100 g. La pulpa es rica en agua, vitamina C y carbohidratos; la cáscara destaca por minerales y fibra; y las semillas aportan proteínas, grasas y antioxidantes.

Solanum muricatum ha sido un recurso clave en comunidades andinas, donde sus usos tradicionales incluyen el consumo fresco en ensaladas, jugos o postres, remedios populares para diabetes, inflamación, diuresis y control de presión arterial, así como forraje ocasional, usos etnobotánicos que refuerzan su valor sociocultural. En el ámbito industrial, la pulpa y el jugo se transforman en mermeladas, néctares, jugos funcionales y extractos de bioactivos mediante técnicas como maceración, ultrasonido y microencapsulación para preservar antioxidantes, consolidándola como materia prima para alimentos saludables. Asimismo, los extractos de frutos y hojas, ricos en polifenoles y vitaminas, destacan en cosmética por propiedades hidratantes y antiinflamatorias, atrayendo interés en mercados de productos naturales, aunque la extracción eficiente de compuestos bioactivos representa un desafío técnico debido a la variabilidad del fruto y la necesidad de métodos sostenibles.

El proceso de extracción de compuestos bioactivos de *Solanum muricatum* (pepino dulce) comprende varias etapas que permiten obtener metabolitos con aplicaciones nutracéuticas y funcionales (Figura 1.6). El fruto, rico en polifenoles, flavonoides, antioxidantes y vitaminas, constituye la materia prima principal, cuya selección y estado de madurez influyen directamente en la calidad y cantidad de los compuestos extraídos. La preparación inicial incluye la recolección de frutos maduros y sanos, seguida de limpieza y acondicionamiento, eliminando impurezas y facilitando la liberación de los metabolitos durante la extracción. Los métodos empleados para la obtención de compuestos bioactivos se dividen en convencionales, avanzados y emergentes. Entre los convencionales se encuentra la maceración con solventes orgánicos, mientras que los métodos avanzados incluyen extracción asistida por ultrasonido, microondas y CO₂ supercrítico. Los métodos híbridos combinan pretratamientos físicos o químicos con técnicas como la microencapsulación, optimizando la recuperación y estabilidad de los compuestos sensibles.

La eficiencia de cada técnica varía según el tipo de compuesto y el método empleado. La maceración convencional permite obtener entre un 10 y 20 % de polifenoles y antioxidantes, mientras que los métodos avanzados pueden incrementar el rendimiento hasta un 30 % o producir extractos de alta pureza. La elección del método depende de factores como la preservación de la actividad biológica de los compuestos, la sostenibilidad del proceso y la viabilidad económica. Entre los beneficios de las técnicas se incluyen la eficiencia en la extracción, la conservación de metabolitos sensibles y la posibilidad de generar productos de valor agregado. Sin embargo, también se identifican limitaciones, como el alto consumo energético, la inversión en equipamiento especializado y la necesidad de optimización de parámetros. La evaluación integral de estos factores permite seleccionar estrategias de extracción que equilibren rendimiento, calidad de los compuestos y factibilidad técnica y económica, favoreciendo la aplicación de *Solanum muricatum* en alimentos funcionales, nutracéuticos y cosméticos.

El pepino dulce presenta un notable potencial económico al diversificar cultivos en regiones subtropicales con altitud, gracias a su bajo requerimiento de insumos y adaptabilidad climática,

permitiendo reducir dependencia de solanáceas tradicionales y generar subproductos como jugos funcionales y extractos, fortaleciendo la seguridad alimentaria y creando ingresos en mercados nicho. Sin embargo, su expansión comercial enfrenta retos como la variabilidad varietal afectando la calidad organoléptica, la corta vida útil postcosecha, altos costos de procesamiento y cumplimiento de normas para exportación. La valorización de residuos en bioactivos puede elevar la rentabilidad, según estudios y pilotos, pero requiere superar estas barreras para consolidar cadenas de valor sostenibles y competitivas.

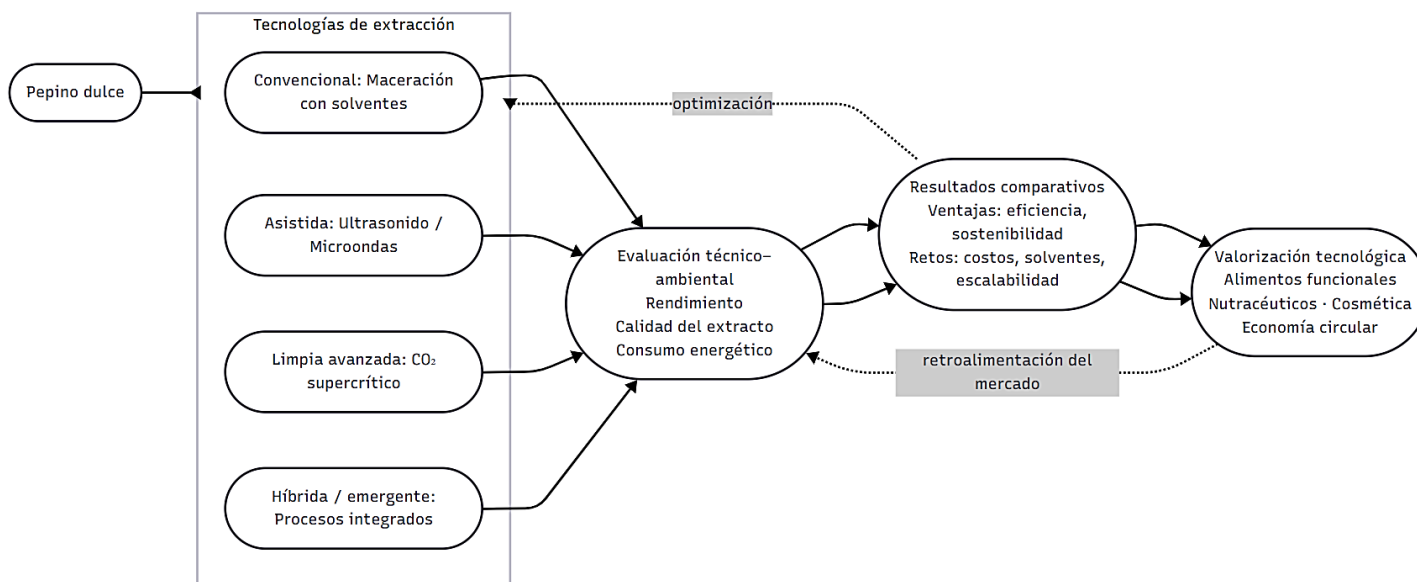


Figura 1.6. Esquema dinámico de tecnologías de extracción y valorización de compuestos bioactivos del pepino dulce (*Solanum muricatum*). La figura integra las principales tecnologías de extracción, su evaluación técnico-ambiental y los procesos de retroalimentación orientados a la optimización y valorización de extractos bioactivos en aplicaciones funcionales.

1.3. EXPERIENCIAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD NATIVA

La conservación de la agrobiodiversidad nativa constituye un componente esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la resiliencia de los sistemas agrícolas y la preservación del patrimonio genético en Ecuador. Entre los frutales andinos, especies como *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Vaccinium floribundum* (mortiño) y *Solanum muricatum* (pepino dulce) destacan por su valor nutricional, cultural y económico, así como por su adaptación a diversos ecosistemas locales. Estas especies representan recursos estratégicos para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles y la producción de alimentos funcionales con potencial nutracéutico.

Diversas iniciativas de conservación han sido implementadas en Ecuador, abarcando estrategias *in situ* (conservación en el lugar, mediante el mantenimiento de poblaciones en sus hábitats naturales y sistemas agroforestales) y *ex situ* (conservación fuera del lugar de origen, mediante bancos de germoplasma y colecciones controladas). Instituciones como el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), en colaboración con organizaciones internacionales como FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y GEF (Global Environment Facility o Fondo para el Medio Ambiente Mundial), han promovido la conservación sistemática de estas especies, asegurando la disponibilidad de material genético para la investigación, mejoramiento y restauración de cultivos nativos.

Asimismo, los esfuerzos comunitarios han demostrado ser fundamentales en la preservación de la agrobiodiversidad. Bancos de semillas locales, redes de intercambio y centros de bioconocimiento permiten la circulación de material genético entre familias y comunidades, fortaleciendo la resiliencia de los sistemas productivos. Casos de éxito incluyen la participación activa de comunidades indígenas y campesinas, donde el conocimiento ancestral se combina con prácticas agroecológicas para mantener la diversidad de frutas nativas en parcelas tradicionales y huertos familiares.

Particularmente, la integración de actores locales, como mujeres kichwas, ha sido clave en la conservación y transmisión de saberes tradicionales, contribuyendo a la gestión sostenible de frutales nativos. La combinación de enfoques institucionales y comunitarios evidencia que la conservación de especies como tuna, mortiño y pepino dulce no solo preserva el patrimonio genético, sino que también fortalece la autonomía alimentaria, la identidad cultural y el desarrollo rural inclusivo en los Andes ecuatorianos.

1.3.1. Rol de los frutales en sistemas agrícolas tradicionales

En los sistemas agrícolas tradicionales andinos, los frutales nativos como *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Vaccinium floribundum* (mortiño) y *Solanum muricatum* (pepino dulce) desempeñan un rol estructurante dentro de los chakras y huertos familiares, configurando microecosistemas altamente diversificados. La integración de estos frutales no se limita a la producción de alimento, sino que favorece la creación de nichos ecológicos complejos, donde interactúan múltiples especies de flora y fauna, incluidos polinizadores, dispersores de semillas, insectos benéficos y microorganismos del suelo. Esta biodiversidad asociada contribuye directamente a la estabilidad ecológica del sistema, optimizando servicios ecosistémicos críticos como polinización, control biológico de plagas y reciclaje de nutrientes (Figura 1.7).

La tuna se caracteriza por su adaptación a suelos secos y suelos de baja fertilidad, lo que permite su establecimiento en sectores marginales de los chakras, donde otras especies podrían no prosperar. Sus raíces extensas y su capacidad de retener agua en tejidos suculentos generan microhábitats que favorecen la supervivencia de plantas herbáceas asociadas y de organismos del

suelo, incrementando la heterogeneidad espacial dentro de la parcela. Además, la tuna produce frutos de larga duración y alto contenido energético, que sirven tanto para consumo familiar como para el sustento de fauna silvestre, reforzando la interacción con dispersores naturales y manteniendo la conectividad ecológica.

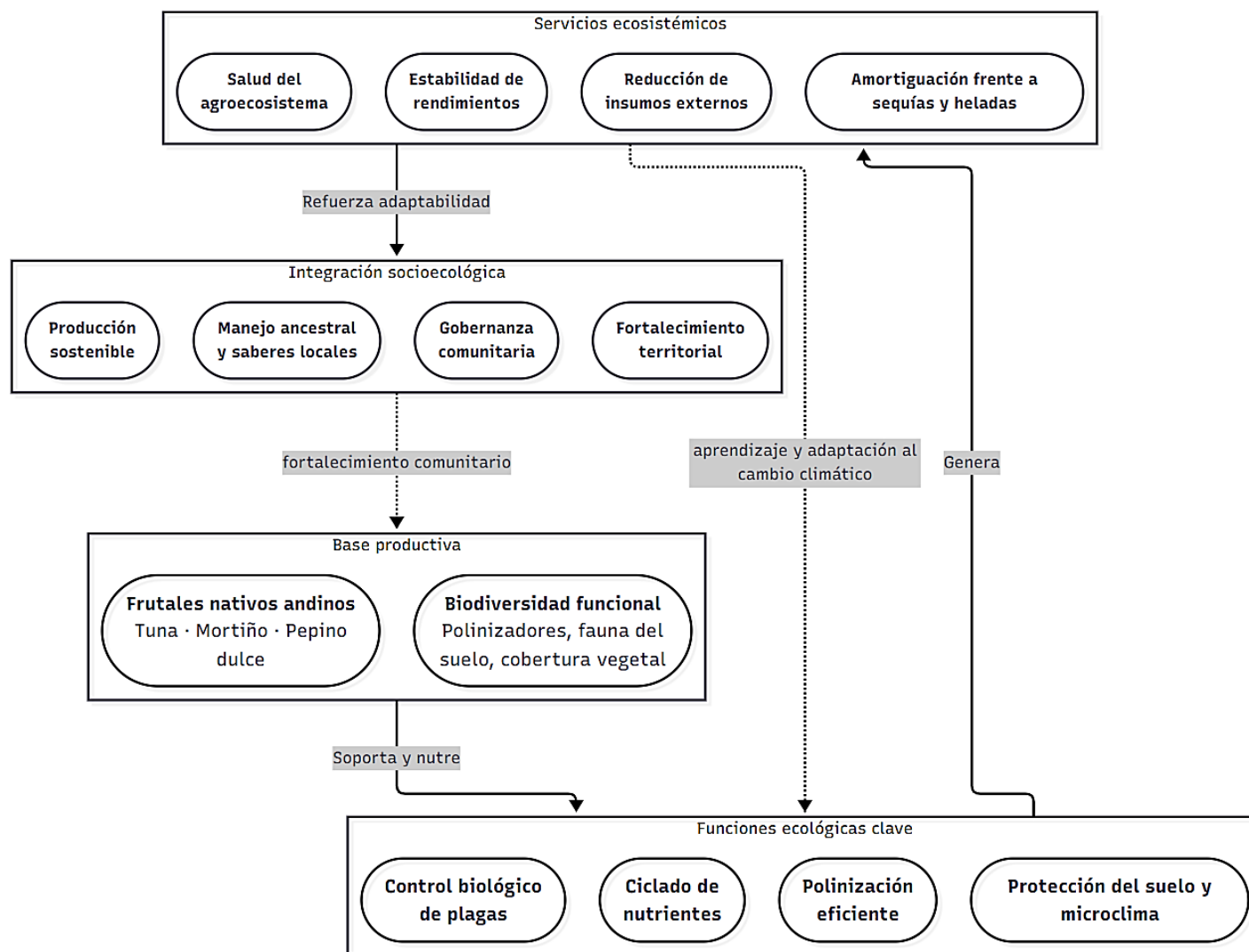


Figura 1.7. Integración de biodiversidad y funciones ecosistémicas en sistemas agrícolas andinos. El diagrama muestra la relación entre base productiva, funciones ecológicas, servicios ecosistémicos y la integración socioecológica, incluyendo retroalimentaciones que fortalecen la resiliencia y la gobernanza local.

El mortiño, cultivado en huertos familiares de zonas altoandinas, aporta diversidad fenológica y estructural al sistema. Su crecimiento en altitudes elevadas y su tolerancia a bajas temperaturas complementa la distribución espacial de cultivos, generando microclimas favorables para plantas acompañantes y atrayendo polinizadores especializados, como abejas nativas y colibríes. La producción de frutos ricos en antioxidantes y metabolitos secundarios también incentiva la conservación de agentes dispersores naturales, consolidando un ciclo ecológico que integra la producción agrícola con la preservación de la biodiversidad asociada.

El pepino dulce se incorpora en los chakras como un frutal de rápido crecimiento y alta plasticidad fenotípica, ocupando espacios intermedios entre cultivos principales y sirviendo como cobertura vegetal temporal que protege el suelo de erosión y favorece la infiltración hídrica. Su follaje denso y su porte arbustivo generan microhábitats sombreados que benefician a insectos benéficos y pequeñas especies vegetales asociadas. Además, su fruto nutritivo y altamente perecible incentiva la gestión activa por parte de las familias, promoviendo la rotación, la diversidad de especies y la interacción constante entre humanos y ecosistema.

La presencia de estos frutales en chakras y huertos familiares constituye un mosaico agroecológico que asegura la resiliencia frente a variaciones climáticas, fortalece la diversidad de especies asociadas y mantiene la productividad sostenible de los sistemas tradicionales. La combinación de atributos ecológicos específicos de cada frutal con el manejo ancestral de los huertos permite un equilibrio dinámico entre producción alimentaria, conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos, posicionando estos frutales como elementos estratégicos para la sostenibilidad de los agroecosistemas andinos. Además, estos sistemas favorecen la conectividad ecológica entre especies nativas y cultivadas, potenciando procesos naturales de polinización y dispersión de semillas. La diversidad funcional que generan contribuye a la estabilidad de los microclimas locales, optimizando la retención de agua y nutrientes en el suelo. Finalmente, su integración refuerza la dimensión cultural y socioeconómica de los huertos, promoviendo la transmisión de saberes ancestrales y el empoderamiento de comunidades locales.

1.3.2. Conservación in situ: Bancos de semillas comunitarios

La conservación *in situ* preserva variedades nativas en sus ecosistemas originales, permitiendo su evolución genética bajo condiciones ambientales reales, como altitudes de 1.500 a 3.800 msnm, sequías y plagas endémicas en los Andes ecuatorianos (Brush, 2004). Los bancos de semillas comunitarios (BSC) son repositorios gestionados colectivamente por comunidades, principalmente mujeres kichwas, quienes seleccionan, almacenan e intercambian semillas, esquejes o plántulas de especies como tuna (*Opuntia ficus-indica*), mortiño (*Vaccinium floribundum*) y pepino dulce (*Solanum muricatum*). Estos bancos se integran en los *chakras andinos*, sistemas agroforestales reconocidos como Patrimonio Agrícola Mundial por la FAO (2023), que combinan cultivos, árboles y prácticas espirituales basadas en ciclos lunares. Las mujeres kichwas, que

representan el 70% de la mano de obra agrícola en comunidades como Cotacachi, lideran estas iniciativas, asegurando la soberanía alimentaria y la resiliencia frente a eventos climáticos extremos, que han reducido la productividad agrícola en un 20-30% desde 2015 (INIAP, 2022).

Iniciativas como el Muyu Raymi en Cotacachi, organizado por el Comité de Mujeres de UNORCAC (500 mujeres de 23 comunidades), promueven el intercambio de accesiones raras, contrarrestando la pérdida del 50-70% de la agrobiodiversidad andina desde 1980. En la Sierra Central, BSC con apoyo del INIAP implementan protocolos de refresco anual de semillas y certificación orgánica, mientras que, en Napo, colectivos como Sani Warmi establecen viveros para rescatar variedades nativas, fomentando el empoderamiento femenino y el ecoturismo (Sani Warmi, 2024). Estas estrategias se alinean con el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos, con la meta de conservar el 80% de la agrobiodiversidad andina in situ para 2030.

La tuna, un cactus xerófito de los valles interandinos (Chimborazo, Imbabura), se conserva mediante esquejes de cladodios (30-50 cm, plantados en suelos arenosos con pH 6-7) y semillas seleccionadas por resistencia a la cochinilla (*Dactylopius coccus*) y sequías prolongadas. En comunidades kichwas como Nizag (Chimborazo), las mujeres integran la tuna en *chakras* como barrera viva contra la erosión eólica, fuente de frutos ricos en vitamina C (50 mg/100 g) y betalaínas antioxidantes, y forraje para ganado (Grusak, 2017). Se priorizan variedades locales de frutos rojos (altamente pigmentados) y amarillos (12-15° Brix). Los esquejes se almacenan en sombra fresca (humedad 40-60%) por 2-3 meses antes de plantar, y se intercambian en ferias como Muyu Raymi para reintroducir ecotipos adaptados a 1.800-2.500 msnm. La deforestación ha reducido poblaciones en un 40%, pero los BSC, con 60% de participación femenina, promueven policultivos con maíz y frijol, mejorando la fertilidad del suelo y generando ingresos mediante mermeladas y jugos (INIAP, 2022). En Cotacachi, las mujeres usan cladodios en remedios antidiabéticos (reducción de glucosa en 20-30%), vinculando conservación con salud comunitaria (Grusak, 2017).

El mortiño, arbusto endémico de páramos andinos (2.800-3.800 msnm, Pichincha, Cotopaxi), se preserva mediante recolección sostenible de bayas y plántulas, con caracterización morfológica de altura (0.5-2 m), hojas elíptico-lanceoladas y frutos azul-negros (8-12 mm diámetro) (Luteyn, 2004). En Cayambe-Coca, mujeres kichwas lideran viveros para domesticación parcial, integrando el mortiño en *chakras* como especie pionera post-incendios, rica en antocianinas (400 mg/100 g) para usos antiinflamatorios y antidiabéticos (Schreckinger et al., 2010). Las semillas se almacenan a 4°C (viabilidad >80% por 6 meses) y se siembran en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) con micorrizas ericoides (germinación 20-40%) (Luteyn, 2004). El cambio climático y la sobreexplotación han reducido hábitats en un 15-20%, pero los intercambios en ferias Muyu Raymi preservan ecotipos de alta diversidad genética (índice de Shannon >2.5) (Schreckinger et al., 2010). Las mujeres vinculan el mortiño a rituales como Inti Raymi, y su cultivo mixto con *Rubus* spp. fomenta restauración ecológica y economías locales mediante jugos y conservas.

El pepino dulce, fruto precolombino de los Andes templados (1.500-2.500 msnm, Cotopaxi, Loja), se conserva mediante semillas (germinación 70-90% en sustratos orgánicos) y esquejes basales (7-12 cm, enraizados en 4-6 semanas), seleccionando ecotipos morados o amarillos resistentes a fusarium y nematodos. En Cotacachi, las mujeres kichwas integran el pepino en *chakras* policultivos, promoviendo flujo genético con parientes silvestres (*S. caripense*) para mejorar tamaño y dulzor (12-15° Brix). Las semillas se almacenan en seco (humedad <10%, 10-15°C, viabilidad 3-6 meses), y los intercambios en ferias contrarrestan la pérdida del 60% de variedades locales por híbridos comerciales (INIAP, 2022). Usado en ensaladas, bebidas y como diurético (potasio 200-300 mg/100 g), el pepino dulce se comercializa en mercados agroecológicos como La Pachamama Nos Alimenta, liderados por mujeres. Proyectos FAO-INIAP certifican semillas, promoviendo su renacimiento comercial.

1.3.3. Conservación ex situ: Bancos de Germoplasma

La conservación *ex situ* implica la preservación de recursos genéticos fuera de sus ecosistemas originales, en instalaciones controladas como bancos de germoplasma, para proteger la diversidad genética frente a amenazas como el cambio climático, la erosión genética y la expansión de monocultivos, que han reducido la agrobiodiversidad andina en un 50-70% desde 1980. En Ecuador, el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) del INIAP gestiona el principal banco de germoplasma, ubicado en la Estación Experimental Santa Catalina (Quito), que alberga más de 10.000 accesiones de cultivos andinos, incluyendo tuna (*Opuntia ficus-indica*), mortiño (*Vaccinium floribundum*) y pepino dulce (*Solanum muricatum*) (INIAP, 2022). Estos bancos cumplen un rol crítico en la preservación, caracterización y recuperación de variedades nativas, complementando los esfuerzos in situ liderados por comunidades kichwas, donde las mujeres desempeñan un papel clave en la reintroducción de germoplasma a *chakras* andinos. La infraestructura incluye cámaras de almacenamiento en frío, laboratorios de biotecnología y campos de regeneración, asegurando la viabilidad a largo plazo y el acceso para investigación y distribución (Brush, 2004).

Los bancos de germoplasma, como el del INIAP-DENAREF, operan con una infraestructura diseñada para la conservación a corto, mediano y largo plazo. Las semillas se almacenan en cámaras de frío a -18°C (conservación a largo plazo, viabilidad >50 años) o 4°C (mediano plazo, viabilidad 5-10 años), con humedad controlada al 5-7% para minimizar deterioro metabólico. Para especies como la tuna, que se propaga principalmente por esquejes, se utilizan viveros climatizados y colecciones vivas en campos experimentales (1.800-2.500 msnm), mientras que el mortiño y el pepino dulce se conservan como semillas ortodoxas y plántulas in vitro en laboratorios de cultivo de tejidos. El proceso incluye:

Colecta y documentación: Accesiones se recolectan en regiones como Cotacachi, Cayambe y Loja, con datos de pasaporte (origen geográfico, altitud, características morfológicas) registrados en

bases de datos digitales compatibles con el Sistema de Información de Recursos Genéticos (GRIN-Global) (INIAP, 2022).

Caracterización y evaluación: Se analizan rasgos agronómicos (rendimiento, resistencia a plagas) y genéticos (usando marcadores moleculares como AFLP) para identificar variabilidad (Brush, 2004).

Regeneración: Las semillas se siembran periódicamente en campos controlados para mantener viabilidad, con un 85-95% de germinación para pepino dulce y 20-40% para mortiño.

Distribución: El germoplasma se entrega a comunidades kichwas, especialmente mujeres, para reintroducción en chakras, apoyando iniciativas como el Muyu Raymi, que en 2024 distribuyó 200 accesiones a 23 comunidades en Cotacachi.

El banco colabora con redes internacionales como el Centro Internacional de la Papa (CIP) y Bioversity International, asegurando estándares globales y acceso a tratados como el de la FAO. Las mujeres kichwas, que representan el 60% de los beneficiarios de distribución, integran este germoplasma en sistemas agroecológicos, fortaleciendo la soberanía alimentaria (Sani Warmi, 2024).

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), nativa de valles interandinos secos (Chimborazo, Imbabura), se conserva ex situ en el banco del INIAP mediante esquejes de cladodios (30-50 cm, almacenados a 10-15°C, humedad 40-60%) y semillas (viabilidad 70-80% por 5 años a 4°C). El banco mantiene 150 accesiones de ecotipos rojos y amarillos (12-15° Brix), resistentes a cochinilla (*Dactylopius coccus*) y sequías (Grusak, 2017). La caracterización genética revela alta diversidad (índice de Shannon >2.0), y los campos de regeneración en Santa Catalina (2.800 msnm) aseguran la multiplicación de cladodios para distribución. En 2023, el INIAP reintrodujo 50 accesiones a comunidades kichwas en Nizag, donde mujeres las integran en chakras como barreras vivas y fuente de frutos ricos en vitamina C (50 mg/100 g) y betalaínas, usados en mermeladas y remedios antidiabéticos (reducción de glucosa en 20-30%) (Grusak, 2017). Esto contrarresta la pérdida del 40% de poblaciones por deforestación, asegurando disponibilidad para mercados agroecológicos.

El mortiño (*Vaccinium floribundum*), endémico de páramos andinos (2.800-3.800 msnm, Pichincha, Cotopaxi), se conserva como semillas ortodoxas (4°C, viabilidad >80% por 6 años) y plántulas in vitro, con 120 accesiones en el banco del INIAP (Luteyn, 2004; INIAP, 2022). La caracterización morfológica evalúa altura (0.5-2 m), hojas elíptico-lanceoladas y frutos azul-negros (8-12 mm, 400 mg/100 g de antocianinas), mientras que análisis genéticos confirman alta variabilidad (Schreckinger et al., 2010). La regeneración en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) con micorrizas ericoides logra germinación del 20-40%, y las plántulas se distribuyen a mujeres kichwas en Cayambe-Coca para domesticación parcial en chakras. En 2024, 30 accesiones se reintrodujeron en viveros comunitarios, contrarrestando la reducción del 15-20% de hábitats por cambio climático. Las mujeres usan el mortiño en jugos, conservas y rituales como Inti Raymi, fortaleciendo economías locales y restauración ecológica (Sani Warmi, 2024).

El pepino dulce (*Solanum muricatum*), fruto precolombino de los Andes templados (1.500–2.500 msnm, Cotopaxi, Loja), se conserva como semillas (germinación 70–90% a 4°C, viabilidad 3–6 años) y cultivos in vitro, con 200 accesiones de ecotipos morados y amarillos (12–15° Brix) resistentes a fusarium y nematodos (INIAP, 2022). La caracterización incluye análisis de flujo genético con parientes silvestres (*S. caripense*), y la regeneración en campos experimentales asegura semillas certificadas. En 2023, el INIAP distribuyó 80 accesiones a mujeres kichwas en Cotacachi, integrándolas en chakras policultivos para ensaladas, bebidas y usos diuréticos (potasio 200–300 mg/100 g). Esto contrarresta la pérdida del 60% de variedades locales por híbridos comerciales, promoviendo su renacimiento en mercados agroecológicos como La Pachamama Nos Alimenta. Las mujeres lideran la multiplicación en ferias, fortaleciendo la identidad cultural.

1.4. RETOS, OPORTUNIDADES Y ESTRATEGIAS PARA CONSERVACIÓN DE FRUTALES

La conservación de frutales andinos como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*) enfrenta desafíos críticos debido a la erosión genética, la pérdida de conocimientos tradicionales, el cambio climático y la falta de marcos regulatorios. En Ecuador, estos frutales, esenciales para la soberanía alimentaria y la identidad cultural kichwa, han perdido entre el 50–70% de su diversidad genética desde 1980 debido a la introducción de cultivos comerciales y la urbanización. Sin embargo, existen oportunidades para fortalecer la agrobiodiversidad mediante mercados sostenibles, tecnologías modernas y alianzas público-privadas. Las mujeres kichwas, que representan el 70% de la mano de obra agrícola en comunidades como Cotacachi y Cayambe, son clave en estas estrategias, integrando saberes ancestrales en *chakras* andinos. Este apartado propone recomendaciones para políticas públicas que promuevan la sostenibilidad, la resiliencia comunitaria y el desarrollo rural, asegurando la continuidad de este patrimonio vivo.

1.4.1. Retos para la conservación de la agrobiodiversidad de frutales

La conservación de los frutales andinos tuna, mortiño y pepino dulce en Ecuador enfrenta desafíos críticos que amenazan su diversidad y legado cultural, como se detalla en este análisis. La erosión genética, resultado de la preferencia por híbridos y monocultivos, ha reducido significativamente las variedades locales, con pérdidas alarmantes en regiones como Chimborazo, Imbabura, Cotopaxi y Loja. A esto se suma la pérdida de conocimientos tradicionales kichwas, especialmente entre las nuevas generaciones, debilitando prácticas ancestrales esenciales. El cambio climático agrava la situación con alteraciones en los ciclos reproductivos y hábitats, mientras que la falta de marcos regulatorios específicos limita el apoyo a estos cultivos nativos. Estos retos

exigen acciones urgentes para proteger este patrimonio vivo y garantizar la resiliencia de las comunidades andinas (Figura 1.8).

La erosión genética, impulsada por la preferencia por híbridos comerciales y monocultivos, ha reducido la diversidad de frutales andinos. Para la tuna, el 40% de los ecotipos locales han desaparecido por la deforestación y la expansión ganadera en valles interandinos (Chimborazo, Imbabura). El mortiño enfrenta una pérdida del 15-20% de sus poblaciones en páramos debido a la sobreexplotación y la conversión de tierras para agricultura intensiva (Schreckinger et al., 2010). El pepino dulce ha perdido el 60% de sus variedades tradicionales por la adopción de cultivos como tomate en regiones como Cotopaxi y Loja. Esta reducción limita la adaptabilidad de los frutales a condiciones climáticas cambiantes, amenazando la seguridad alimentaria.

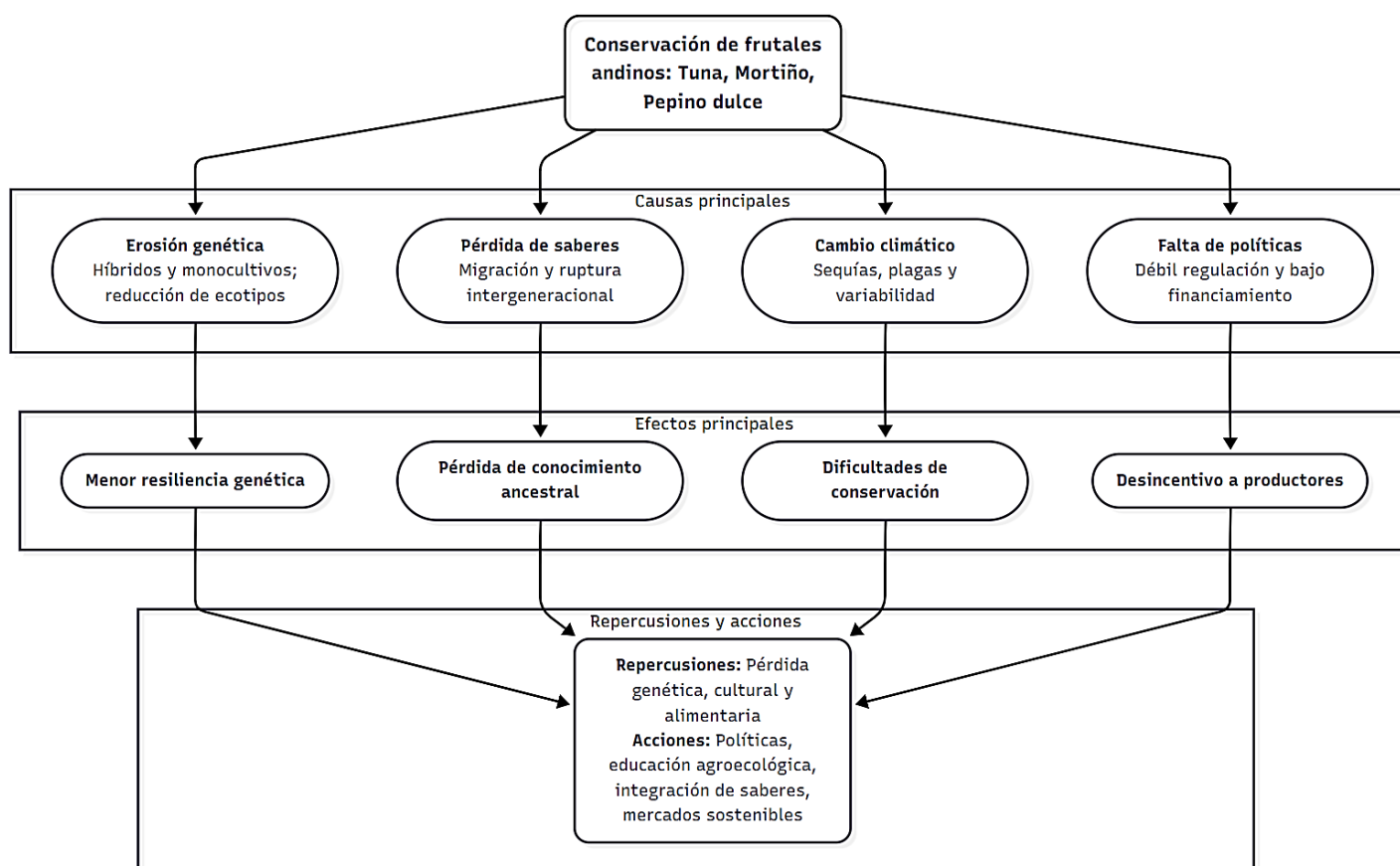


Figura 1.8. Causas, efectos y acciones para la conservación de frutales andinos en Ecuador. El diagrama resume las causas, efectos y acciones clave para la conservación de frutales andinos en Ecuador, destacando la pérdida genética, el conocimiento ancestral y las medidas de manejo y políticas recomendadas.

Los saberes ancestrales kichwas, especialmente los transmitidos por mujeres, están en riesgo debido a la migración rural-urbana y la falta de transferencia intergeneracional. En Cotacachi, solo el 30% de los jóvenes participan en prácticas agrícolas tradicionales, como la selección de semillas de pepino dulce o la recolección sostenible de mortiño (Sani Warmi, 2024). La dependencia de tecnologías modernas sin integración cultural acelera esta pérdida, debilitando la gestión de *chakras* y rituales como Inti Raymi, que vinculan el mortiño a la identidad cultural.

El cambio climático, con incrementos de temperatura de 0.5-1°C en los Andes ecuatorianos desde 2000, afecta los ciclos reproductivos de los frutales. La tuna enfrenta sequías prolongadas que reducen la producción de frutos en un 25% en Chimborazo (Grusak, 2017). El mortiño, adaptado a páramos fríos (2.800-3.800 msnm), ve reducidos sus hábitats por el ascenso de la línea de vegetación, con una pérdida estimada del 15% (Luteyn, 2004). El pepino dulce sufre mayor incidencia de plagas como nematodos debido a lluvias erráticas, afectando el 20% de los cultivos en Cotopaxi (INIAP, 2022). Estos impactos dificultan la conservación *in situ* y *ex situ*.

La ausencia de políticas públicas específicas para frutales andinos limita su conservación. Aunque Ecuador ratificó el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos de la FAO, la implementación local es insuficiente, con solo el 10% del presupuesto agrícola nacional destinado a agrobiodiversidad en 2023. La falta de certificación de semillas nativas y la débil regulación de mercados dificultan la comercialización de tuna, mortiño y pepino dulce, desincentivando a los agricultores kichwas.

1.4.2. Oportunidades para la sostenibilidad de la agrobiodiversidad

La promoción de mercados sostenibles constituye una estrategia clave para la conservación de frutales andinos y el fortalecimiento de economías locales en Ecuador. Iniciativas como los mercados agroecológicos y ferias comunitarias permiten revalorizar especies nativas como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*), al mismo tiempo que generan ingresos significativos para las comunidades, especialmente para las mujeres kichwas. La integración de tecnologías modernas, como la biotecnología, los sistemas de información y los marcadores moleculares, facilita la conservación genética y la selección de ecotipos resilientes. Asimismo, las alianzas público-privadas entre instituciones estatales, organizaciones internacionales, ONGs y cooperativas impulsan la capacitación, certificación y acceso a mercados, creando un modelo donde saberes ancestrales y ciencia contemporánea se combinan para asegurar la sostenibilidad ecológica, social y económica de los territorios andinos (Figura 1.9).

Los mercados agroecológicos, como La Pachamama Nos Alimenta en Cotacachi, representan una oportunidad para revalorizar frutales andinos. En 2024, estos mercados generaron ingresos del 30% para mujeres kichwas mediante la venta de mermeladas de tuna, jugos de mortiño y ensaladas de pepino dulce (Sani Warmi, 2024). La certificación orgánica, apoyada por INIAP, aumenta el valor de mercado en un 20-30%, incentivando la conservación. Ferias como Muyu Raymi, con 500

participantes en 2024, promueven el intercambio de ecotipos raros y la comercialización directa, fortaleciendo economías locales.

La biotecnología y los sistemas de información ofrecen herramientas para la conservación. El cultivo in vitro de plántulas de mortiño y pepino dulce en el banco de germoplasma del INIAP logra tasas de regeneración del 80-90%, permitiendo la reintroducción de accesiones a comunidades. Los marcadores moleculares (AFLP, SSR) identifican alta diversidad genética (índice de Shannon >2.0 para tuna), apoyando la selección de ecotipos resistentes (Brush, 2004). Plataformas como GRIN-Global documentan 10.000 accesiones en el banco del INIAP, facilitando el acceso para investigación y distribución (INIAP, 2022). Las mujeres kichwas, capacitadas por INIAP, integran estas tecnologías en *chakras*, combinando saberes ancestrales con ciencia moderna.

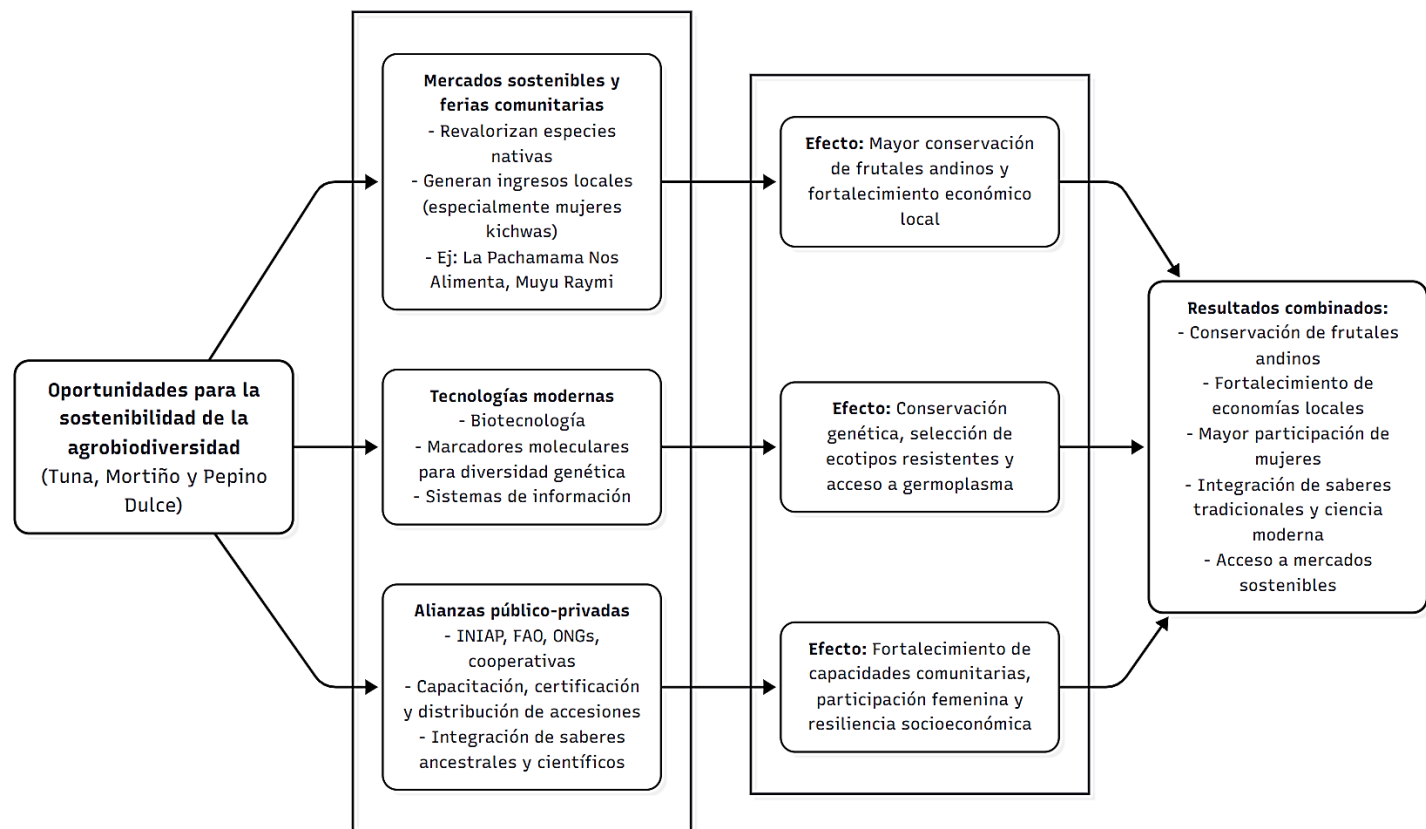


Figura 1.9. Oportunidades y resultados para la sostenibilidad de frutales andinos. El diagrama muestra cómo las oportunidades en mercados, tecnologías y alianzas impulsan la conservación de tuna, mortiño y pepino dulce, fortaleciendo la economía local, la participación comunitaria y la integración de saberes tradicionales y ciencia moderna.

Las alianzas entre INIAP, FAO, ONGs y empresas privadas (como cooperativas agroecológicas) impulsan la conservación. En 2023, el INIAP distribuyó 200 accesiones de frutales a comunidades kichwas en Cotacachi y Cayambe, con un 60% de participación femenina. Proyectos como los de Sani Warmi en Napo combinan conservación con ecoturismo, generando ingresos del 15% para viveros comunitarios (Sani Warmi, 2024). Estas alianzas financian capacitaciones y certificaciones, fortaleciendo la resiliencia comunitaria y el acceso a mercados.

1.4.3. Políticas Públicas y Futuro de la Agrobiodiversidad para la Conservación de Frutales Andinos

La conservación de frutales andinos como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*) es fundamental para la seguridad alimentaria, la resiliencia climática y el desarrollo rural sostenible en Ecuador. La pérdida del 50-70% de la agrobiodiversidad andina desde 1980, debido a monocultivos, cambio climático y urbanización, exige políticas públicas que integren saberes ancestrales kichwas, garanticen acceso equitativo a recursos genéticos y promuevan sostenibilidad. Las mujeres kichwas, que representan el 70% de la mano de obra agrícola en regiones como Cotacachi, Cayambe y la Sierra Central, lideran la gestión de *chakras* andinos y bancos de semillas comunitarios, consolidando la agrobiodiversidad como pilar de desarrollo. Este capítulo fusiona propuestas de políticas públicas y estrategias para el futuro, detallando cinco estrategias clave con ejemplos prácticos y recomendaciones para asegurar que estos frutales perduren como patrimonio vivo.

1.4.4. Estrategias y Recomendaciones para Políticas Públicas en la Conservación de Frutales Andinos

La conservación de frutales andinos como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*) es crucial para la seguridad alimentaria, la resiliencia climática y el desarrollo rural sostenible en Ecuador. La pérdida significativa de agrobiodiversidad andina desde la década de 1980, debido a monocultivos, cambio climático y urbanización, requiere políticas públicas que integren saberes ancestrales kichwas, promuevan mercados sostenibles y adopten tecnologías modernas. Las mujeres kichwas, que lideran la gestión de *chakras* andinos y bancos de semillas comunitarios en regiones como Cotacachi, Cayambe y la Sierra Central, son fundamentales para estas estrategias. Este capítulo detalla cinco estrategias clave con recomendaciones para políticas públicas que aseguren la sostenibilidad de estos frutales como patrimonio vivo, apoyadas por instituciones como INIAP y FAO.

La integración de los conocimientos tradicionales de las mujeres kichwas en políticas nacionales de conservación in situ y ex situ es crucial, valorando su rol como guardianas de la agrobiodiversidad. En Cotacachi, las mujeres de UNORCAC seleccionan semillas de pepino dulce adaptadas a suelos locales y practican la recolección sostenible de mortiño en páramos, guiadas por

prácticas tradicionales basadas en ciclos lunares. En Chimborazo, propagan tuna como barreras vivas en *chakras*, combinándola con cultivos tradicionales para mejorar la fertilidad del suelo (Sani Warmi, 2024). Estas prácticas pueden incorporarse en programas nacionales para preservar variedades adaptadas a diversas altitudes andinas. *Recomendación:* Destinar una porción significativa del presupuesto agrícola nacional a programas de capacitación comunitaria liderados por mujeres kichwas, enfocados en técnicas ancestrales, como la selección de semillas de tuna resistentes a plagas y la propagación de mortiño con métodos tradicionales. Crear consejos consultivos indígenas con fuerte representación femenina para asesorar al Ministerio de Agricultura, asegurando que los saberes ancestrales guíen las políticas de conservación.

El fomento de mercados sostenibles, para promover incentivos fiscales y denominaciones de origen para productos derivados de frutales andinos puede aumentar su valor de mercado y promover su conservación. En Cotacachi, mercados agroecológicos como La Pachamama Nos Alimenta permiten a mujeres kichwas comercializar mermeladas de tuna, jugos de mortiño y ensaladas de pepino dulce, valorados por sus propiedades nutricionales, como vitamina C en tuna, antioxidantes en mortiño y potasio en pepino dulce (Grusak, 2017; Schreckinger et al., 2010). Ferias como Muyu Raymi facilitan el intercambio de variedades nativas, fortaleciendo economías locales y contrarrestando la pérdida de diversidad por cultivos comerciales. *Recomendación:* Implementar exenciones fiscales para productos de frutales andinos y establecer denominaciones de origen para tuna, mortiño y pepino dulce, incentivando su producción y consumo. Financiar infraestructura para ferias y lanzar campañas de marketing que resalten el valor cultural y nutricional de estos frutales, promoviendo su presencia en mercados nacionales e internacionales.

La integración de tecnologías modernas para ampliar el acceso a biotecnología y tecnologías de monitoreo en comunidades kichwas, combinando prácticas ancestrales con métodos científicos, es esencial para la conservación. Los bancos de germoplasma del INIAP utilizan cultivos in vitro para conservar plántulas de mortiño y pepino dulce, mientras que técnicas genéticas identifican ecotipos de tuna con alta adaptabilidad (Brush, 2004). En Cayambe, mujeres kichwas capacitadas por INIAP emplean tecnologías como drones para monitorear *chakras*, optimizando el manejo de tuna frente a condiciones climáticas adversas. En Cotopaxi, la reintroducción de plántulas de pepino dulce desde bancos de germoplasma fortalece la producción local. *Recomendación:* Invertir en programas de biotecnología, como cultivos in vitro y análisis genéticos, y tecnologías de monitoreo, como drones y sensores remotos, para comunidades kichwas, con capacitaciones dirigidas mayoritariamente a mujeres agricultoras. Desarrollar plataformas digitales para facilitar el acceso comunitario a datos de germoplasma, integrando saberes ancestrales en la selección de variedades resistentes al cambio climático (INIAP, 2022).

El fortalecimiento de marcos regulatorios para desarrollar políticas específicas para la conservación de frutales andinos, protegiendo los *chakras* como sistemas patrimoniales y promoviendo certificaciones de semillas nativas, es fundamental. Actualmente, los recursos

destinados a la agrobiodiversidad son limitados, afectando la conservación de frutales como el pepino dulce, que ha perdido variedades debido a híbridos comerciales. La certificación de semillas de tuna y mortiño por el INIAP ha facilitado su distribución a comunidades kichwas, fortaleciendo los *chakras* como sistemas agroecológicos. *Recomendación:* Incrementar el presupuesto agrícola nacional dedicado a la agrobiodiversidad, priorizando frutales andinos. Implementar regulaciones que protejan los *chakras* como Patrimonio Agrícola Mundial y establecer un sistema nacional de certificación de semillas nativas, asegurando que una porción significativa del germoplasma del INIAP se distribuya a comunidades kichwas.

Las alianzas estratégicas, para escalar alianzas público-privadas con instituciones como FAO, Bioversity International y cooperativas locales puede financiar viveros comunitarios y proyectos de reintroducción de germoplasma. En Napo, Sani Warmi ha fortalecido la resiliencia comunitaria mediante viveros que producen plántulas de mortiño y pepino dulce, integrados con ecoturismo (Sani Warmi, 2024). En Cotacachi, el INIAP distribuye variedades de frutales a comunidades kichwas, con un enfoque en mujeres agricultoras, para incrementar la producción local. *Recomendación:* Crear un fondo nacional para alianzas público-privadas, financiando viveros comunitarios y proyectos de reintroducción de germoplasma en regiones andinas. Establecer redes de colaboración con FAO y Bioversity International para capacitar a mujeres kichwas en técnicas de conservación, asegurando que una proporción significativa de los proyectos sea liderada por ellas (Sani Warmi, 2024).

1.4.5. Futuro de la Agrobiodiversidad como Motor de Desarrollo

La agrobiodiversidad andina, representada por frutales como la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el mortiño (*Vaccinium floribundum*) y el pepino dulce (*Solanum muricatum*), es un pilar clave para el desarrollo sostenible en Ecuador. Estos cultivos, profundamente integrados en los sistemas agrícolas kichwas, enfrentan amenazas por el cambio climático, la erosión genética y los monocultivos, pero ofrecen oportunidades para fortalecer la resiliencia comunitaria, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. Las mujeres kichwas, líderes en la gestión de *chakras* y bancos de semillas comunitarios en regiones como Cotacachi, Cayambe y la Sierra Central, son esenciales para este proceso, combinando saberes ancestrales con innovaciones modernas. Con el apoyo de instituciones como el INIAP y la FAO, la agrobiodiversidad andina puede impulsar economías locales, preservar la identidad cultural y mitigar los impactos ambientales, posicionándose como un motor de desarrollo integral.

La resiliencia comunitaria se fortalece mediante la integración de frutales andinos en los *chakras*, sistemas agroecológicos que combinan cultivos, árboles y prácticas tradicionales. En Cayambe, el mortiño actúa como especie pionera para restaurar suelos degradados en páramos, promoviendo la biodiversidad y la recuperación ecológica (Schreckinger et al., 2010). En Chimborazo, la tuna se cultiva en rotación con maíz y frijol, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la erosión. En Cotopaxi, la reintroducción de variedades de pepino dulce resistentes a enfermedades

fortalece la producción frente a condiciones climáticas adversas. Estas prácticas, lideradas por mujeres kichwas, integran conocimientos tradicionales, como la selección de semillas según ciclos lunares, con técnicas modernas, asegurando la adaptabilidad de los cultivos a entornos andinos variables.

La seguridad alimentaria se ve reforzada por las propiedades nutricionales de los frutales andinos, que enriquecen las dietas locales. La tuna aporta vitaminas y antioxidantes, el mortiño ofrece compuestos bioactivos con beneficios para la salud, y el pepino dulce proporciona minerales esenciales (Grusak, 2017; Schreckinger et al., 2010). En Cotacachi, la reincorporación de estos cultivos en *chakras* diversifica la alimentación, reduciendo la dependencia de productos importados. Las mujeres kichwas, a través de bancos de semillas comunitarios apoyados por UNORCAC, preservan y distribuyen variedades nativas, fortaleciendo la soberanía alimentaria y transmitiendo conocimientos sobre usos culinarios y medicinales, como infusiones de mortiño para la salud (Sani Warmi, 2024).

El desarrollo rural sostenible se impulsa mediante mercados agroecológicos y ferias como Muyu Raymi, que conectan a productores kichwas con consumidores. En Cotacachi, mujeres comercializan mermeladas de tuna, jugos de mortiño y ensaladas de pepino dulce, generando ingresos y promoviendo la autonomía económica (Sani Warmi, 2024). En Napo, iniciativas como Sani Warmi combinan la producción de frutales con ecoturismo, atrayendo visitantes interesados en los *chakras* y la cultura kichwa. Estas actividades, respaldadas por alianzas con INIAP y FAO, fomentan certificaciones orgánicas y valorizan los productos andinos, fortaleciendo las economías locales y preservando paisajes culturales.

La integración de tecnologías modernas amplifica el impacto de la agrobiodiversidad. Los bancos de germoplasma del INIAP conservan plántulas de mortiño y pepino dulce mediante cultivos in vitro, mientras que técnicas genéticas identifican variedades de tuna adaptadas a la sequía (Brush, 2004). En Cayambe, mujeres kichwas capacitadas por INIAP usan drones para monitorear *chakras*, optimizando el manejo de cultivos frente al cambio climático. Plataformas digitales facilitan el acceso a datos de germoplasma, permitiendo a las comunidades seleccionar variedades resistentes. Estas innovaciones, combinadas con saberes ancestrales, potencian la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas andinos.

La agrobiodiversidad andina, liderada por mujeres kichwas y apoyada por INIAP y FAO, es un motor de desarrollo que fortalece la resiliencia, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. La integración de saberes tradicionales, mercados sostenibles y tecnologías modernas asegura que frutales como la tuna, el mortiño y el pepino dulce perduren como patrimonio vivo, impulsando un modelo de desarrollo que equilibra tradición e innovación en los Andes ecuatorianos.

1.5. REFLEXIONES FINALES: Futuro de la Agrobiodiversidad como Motor de Desarrollo

La agrobiodiversidad andina, representada por frutales como la tuna, el mortiño y el pepino dulce, es un pilar fundamental para el desarrollo sostenible en Ecuador, integrando resiliencia comunitaria, seguridad alimentaria y desarrollo rural. Estos cultivos, profundamente arraigados en los sistemas agrícolas kichwas, enfrentan amenazas como el cambio climático, la erosión genética y los monocultivos, pero su conservación y promoción ofrecen oportunidades para fortalecer economías locales, preservar la identidad cultural y mitigar impactos ambientales. Las mujeres kichwas, líderes en la gestión de *chakras* y bancos de semillas comunitarios en regiones como Cotacachi, Cayambe y la Sierra Central, son esenciales al combinar saberes ancestrales con innovaciones modernas, con apoyo de instituciones como la FAO.

La resiliencia comunitaria se fortalece mediante la integración de estos frutales en *chakras*, sistemas agroecológicos que combinan cultivos, árboles y prácticas tradicionales. En Cayambe, el mortiño actúa como especie pionera para restaurar suelos degradados en páramos, mientras que, en Chimborazo, la tuna mejora la fertilidad del suelo al reducir la erosión en rotación con cultivos tradicionales. En Cotopaxi, la reintroducción de variedades de pepino dulce resistentes a enfermedades estabiliza la producción frente a condiciones climáticas adversas.

La seguridad alimentaria se ve reforzada por las propiedades nutricionales de los frutales andinos, que enriquecen las dietas locales y reducen la dependencia de alimentos importados. La tuna aporta vitaminas y antioxidantes, el mortiño ofrece compuestos bioactivos con beneficios antiinflamatorios y antidiabéticos, y el pepino dulce proporciona minerales esenciales. En Cotacachi, la reincorporación de estos cultivos en *chakras* diversifica la alimentación, mientras las mujeres kichwas, a través de bancos de semillas comunitarios apoyados por UNORCAC, preservan y distribuyen variedades nativas. Estas acciones, que incluyen el uso de frutos en preparaciones culinarias y medicinales, como infusiones de mortiño, fortalecen la soberanía alimentaria y transmiten conocimientos tradicionales.

El desarrollo rural sostenible se impulsa a través de mercados agroecológicos y ferias como Muyu Raymi, que conectan a productores kichwas con consumidores, generando ingresos y promoviendo la autonomía económica. En Cotacachi, las mujeres comercializan productos derivados como mermeladas de tuna, jugos de mortiño y ensaladas de pepino dulce, mientras que, en Napo, iniciativas como Sani Warmi integran la producción de frutales con ecoturismo, atrayendo visitantes interesados en la cultura kichwa y los *chakras*. Estas actividades, respaldadas por alianzas con INIAP y FAO, fomentan certificaciones orgánicas y valorizan los productos andinos, preservando paisajes culturales y fortaleciendo economías locales.

La integración de tecnologías modernas potencia el impacto de la agrobiodiversidad. Los bancos de germoplasma del INIAP conservan plántulas de mortiño y pepino dulce mediante cultivos

in vitro, mientras que técnicas genéticas identifican variedades de tuna adaptadas a la sequía. En Cayambe, mujeres kichwas capacitadas por INIAP utilizan drones para monitorear *chakras*, optimizando el manejo de cultivos frente al cambio climático. Plataformas digitales facilitan el acceso a datos de germoplasma, permitiendo a las comunidades seleccionar variedades resistentes. Estas innovaciones, combinadas con saberes ancestrales, aumentan la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas andinos.

La agrobiodiversidad andina, liderada por mujeres kichwas y apoyada por INIAP y FAO, es un motor de desarrollo que equilibra tradición e innovación. La integración de saberes tradicionales, mercados sostenibles y tecnologías modernas asegura que frutales como la tuna, el mortiño y el pepino dulce perduren como patrimonio vivo, fortaleciendo la resiliencia comunitaria, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible en los Andes ecuatorianos.

1.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brush, S. B. (2004). *Farmers' bounty: Locating crop diversity in the contemporary world*. New Haven, CT: Yale University Press. ISBN 978-0300100495.
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R. I., Halloy, S., Salgado, S., Ortiz, E., y Becerra, M. T. (Eds.). (2012). *Biodiversidad y cambio climático en los Andes tropicales: conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación*. Red Gloria-Andes / Lima-Quito. (180 p.). https://redgloria.condesan.org/recursos/biodiversidad-cambio-climatico-los-andes-tropicales-conformacion-una-red-investigacion-monitorear-impactos-delinear-acciones-adaptacion/?utm_source=.com
- De la Torre, L., Navarrete, H. P., Muriel, P., Macía, M. J., y Balslev, H. (Eds.). (2008). *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*. Herbario QCA, Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Herbario AAU, Universidad de Aarhus. Quito y Aarhus. https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/16016-enciclopedia-de-las-plantas-utiles-del-ecuador?utm_source=.com
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). *The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture* (Second Report). Rome: FAO. https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/seeds-pgr/sow/en/?utm_source=.com
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). *The Third Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (resumen y publicación). Rome: FAO. (Disponible en línea). https://www.fao.org/cgrfa/topics/plant-genetic-resources/the-third-report-on-the-state-of-the-world-s-plant-genetic-resources-for-food-and-agriculture/en?utm_source=.com

- Garcés Acosta, J. E. (2023). *Patrimonio biocultural y agrobiodiversidad en los Andes ecuatorianos*. Quito: Editorial Abya-Yala. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9381/1/T4122-MDSCC-Garces-Conocimiento.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2022). *Informe técnico: Conservación de recursos fitogenéticos en Ecuador*. Repositorio INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/72814486-b8ac-4542-ad0e-217607e60e22>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2024). *Informe de avances: Banco Nacional de Germoplasma*. Repositorio INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/37f0ecb5-bf34-41b0-b28e-36c780c55060>
- Luteyn, J. L. (2019). Typification in and contributions to a revision of psammisia (Ericaceae: Vaccinieae). *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 13(2), 397–449. <https://www.jstor.org/stable/26844040>
- Sani Warmi Cooperativa. (2024). *Informe de actividades: Viveros comunitarios en Napo*. Sani Warmi Cooperativa. <https://confeniae.net/emprendimiento/sani-warmi/>
- Schreckinger, M. E., Wang, J., Yousef, G., Lila, M. A., y de Mejia, E. G. (2010). Antioxidant capacity and *in vitro* inhibition of adipogenesis and inflammation by phenolic extracts of *Vaccinium floribundum* and *Aristotelia chilensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 8966–8976. <https://doi.org/10.1021/jf100975m>

CAPÍTULO 2

DIVERSIDAD VEGETAL Y SOSTENIBILIDAD EN LOS BOSQUES ANDINOS DEL NORTE DEL ECUADOR

DIVERSIDAD VEGETAL Y SOSTENIBILIDAD EN LOS BOSQUES ANDINOS DEL NORTE DEL ECUADOR

Galo Pabón-Garcés¹

¹Universidad Técnica del Norte (UTN), Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA)

RESUMEN

Los bosques andinos del norte de Ecuador, específicamente los bosques de las estribaciones interiores de la cordillera de los Andes en las provincias de Carchi e Imbabura son ecosistemas de alto valor ecológico, social y cultural, cuya conservación resulta esencial para garantizar la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la identidad de las comunidades locales. Estos bosques albergan especies endémicas de flora y fauna, regulan el ciclo hídrico, moderan el clima, protegen los suelos y contribuyen a la captura de carbono, desempeñando un papel clave en la resiliencia ambiental de la región. Además, están profundamente vinculados a la vida social y cultural de los pueblos indígenas y campesinos, quienes los consideran espacios sagrados y fuentes de conocimientos ancestrales sobre plantas medicinales, agricultura y prácticas comunitarias. Proveen recursos directos como agua, alimentos, leña y fibras, y servicios indirectos como regulación de riesgos naturales, conectividad ecológica y oportunidades económicas a través del turismo sostenible. Sin embargo, enfrentan amenazas crecientes que incluyen la deforestación, la expansión agrícola y urbana, la extracción de recursos, y los efectos del cambio climático, las cuales actúan de manera sinérgica y comprometen su integridad. La necesidad de su conservación es una obligación ética, social y ambiental, que requiere acciones integrales como la restauración ecológica, el manejo sostenible, la educación ambiental, la participación comunitaria y el establecimiento de políticas públicas efectivas. Proteger estos bosques asegura la continuidad de sus funciones ecológicas, culturales y económicas, fortalece la resiliencia frente a desastres y cambio climático, y garantiza que las generaciones presentes y futuras puedan beneficiarse de estos ecosistemas estratégicos, reafirmando que la vida humana y natural están intrínsecamente interconectadas.

2.1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador se caracteriza a nivel mundial por una inmensa riqueza florística, la misma que es poco conocida y que además se encuentra amenazada. Se estima que es el país que tiene más especies de plantas vasculares por unidad de superficie que cualquier otro país del mundo (20 mil especies en alrededor de 256 000 Km²). La mayor diversidad florística del país parece estar en la región andina, con 9 865 especies o el 64 % del total (Jorgensen y León, 1999). Esta riqueza florística está compuesta por especies ornamentales, alimenticias, medicinales, forestales y frutales que presentan un alto potencial comercial, a la cual no se le ha dado la importancia necesaria hasta la actualidad, razón fundamental por lo que han sido dejadas de lado y hoy se ven amenazados por el proceso de extinción (Neill, 1999).

El 80% de la población ecuatoriana depende de la medicina tradicional y por consiguiente de las plantas o productos naturales que son utilizados en su salud y bienestar. Un caso típico que ilustra esta situación son las especies nativas, las cuales contienen, en alguno de sus órganos, principios medicinales, que, administrados en dosis suficientes, producen efectos curativos en las enfermedades del ser humano y de los animales en general. Se cree que de 260 mil especies de plantas que se conocen en la actualidad, el 10 % de estas pueden considerarse medicinales, es decir, se encuentran recogidas en los tratados médicos de fitoterapia, actuales y antiguos, por presentar algún uso. Evidentemente, sobre todo en las regiones ecuatoriales, la proporción de especies medicinales puede variar sensiblemente de este porcentaje, ya que ni siquiera se conoce la totalidad de la flora.

Existen áreas geográficas que aún mantienen su vegetación y fauna inalterada, como es el caso de los remanente boscosos de las estribaciones interiores de la Cordillera de los Andes en las provincias de Imbabura y Carchi, pero estas son cada vez más escasas, siendo el principal problema en la actualidad el aumento de la frontera agrícola, por lo que, la gradual transformación de estos bosques en nuevas áreas de cultivos, genera un desequilibrio ecológico del ecosistema y pérdida de su biodiversidad. La falta de conocimientos del ser humano acerca de los recursos florísticos y las bondades que presentan los bosques que las protegen, han permitido su sistemática destrucción (Jorgensen y León, 1999).

En este contexto, los bosques andinos de las provincias del Carchi e Imbabura constituyen uno de los patrimonios naturales más valiosos del norte del Ecuador. Estos ecosistemas, localizados en pisos altitudinales que van aproximadamente desde los 1 800 hasta los 3 800 metros sobre el nivel del mar, se caracterizan por su alta biodiversidad, sus singulares paisajes y, sobre todo, por los servicios ecosistémicos que proveen a las comunidades locales y a la región en general (Franco, 2016). La importancia de estos bosques trasciende lo puramente ambiental, pues están estrechamente vinculados con la cultura, la economía y el bienestar social de la población.

En primer lugar, los bosques andinos son reservorios de biodiversidad. Se estima que albergan un número elevado de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas o en peligro

de extinción. En estas zonas se encuentran especies faunísticas emblemáticas como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) o el tapir andino (*Tapirus pinchaque*), o florísticas como el mortiño (*Vaccinium floribundum*) (Figura 2.1) y árbol de papel (*Polylepis incana*), así como gran variedad de aves que han convertido a Imbabura y Carchi en destinos relevantes para la observación de aves y el turismo científico. Esta riqueza biológica no solo es un indicador del buen estado de los ecosistemas, sino también un recurso potencial para investigaciones científicas, educación ambiental y desarrollo de prácticas de manejo sostenible (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).



Figura 2.1. Especies emblemáticas del bosque andino. A la izquierda, el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), el único oso nativo de Sudamérica y un importante dispersor de semillas, cuya presencia indica la buena salud del ecosistema andino. A la derecha, el mortiño (*Vaccinium floribundum*), un arbusto nativo de los páramos y bosques montanos andinos, conocido por sus frutos comestibles ricos en antioxidantes y por su papel en la alimentación de diversas especies de fauna silvestre.

En segundo lugar, los bosques andinos cumplen un papel estratégico en la regulación hídrica. Funcionan como esponjas naturales que capturan, almacenan y liberan agua de manera gradual, garantizando la disponibilidad de este recurso a lo largo del año. Esta función es crucial en territorios donde gran parte de la población depende del agua para consumo doméstico, riego agrícola y generación de energía hidroeléctrica. En un contexto de cambio climático, la conservación de los bosques se vuelve aún más relevante, ya que su degradación implicaría una disminución en la calidad y cantidad de agua, con impactos directos en la seguridad hídrica y alimentaria de las comunidades.

Además, estos ecosistemas contribuyen a la estabilidad del suelo y la reducción de riesgos naturales. La cobertura vegetal protege las laderas de la erosión y mitiga los efectos de deslizamientos e inundaciones, fenómenos frecuentes en zonas montañosas (Cleef, 2013). De igual forma, los bosques andinos actúan como sumideros de carbono, lo que los convierte en aliados fundamentales en la lucha contra el cambio climático. No menos importante es el valor cultural y social que tienen estos bosques para comunidades indígenas y campesinas, donde estos espacios representan territorios de identidad, memoria y prácticas tradicionales. Es conocido que muchos

rituales, saberes ancestrales y formas de organización comunitaria se encuentran estrechamente relacionados con el cuidado de la naturaleza, lo cual refuerza el vínculo espiritual y simbólico entre las personas y el entorno.

Frente a este panorama, la pregunta no es únicamente por qué son importantes los bosques andinos, sino también qué significa para todos, como sociedad, asumir el compromiso de cuidarlos. Su conservación no puede entenderse como una tarea exclusiva del Estado o de organizaciones ambientales, sino como una responsabilidad compartida que involucra a comunidades locales, instituciones educativas, gobiernos locales y ciudadanía en general. Cuidar estos bosques implica reconocer que el bienestar humano está íntimamente ligado a la salud de los ecosistemas, y que su degradación no solo afecta a la biodiversidad, sino también a la economía, la seguridad alimentaria, la cultura y la calidad de vida (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).

Por todas estas razones, cuidar de los bosques andinos es un deber ético y colectivo. Su deterioro no solo significaría la pérdida de biodiversidad, sino también la disminución de servicios vitales para el bienestar humano. La deforestación, el avance de la frontera agrícola y la expansión urbana representan amenazas crecientes que requieren respuestas urgentes. Protegerlos implica implementar políticas públicas efectivas, fortalecer la educación ambiental, promover alternativas productivas sostenibles y reconocer el rol de las comunidades locales como guardianas de estos territorios.

Es por esto que, el presente capítulo analiza la importancia ecológica de los bosques andinos, destacando el rol de la diversidad vegetal en la regulación de distintos procesos naturales; se aborda también su relevancia social y cultural, considerando la relación histórica de las comunidades con estos territorios; se explica los principales servicios ecosistémicos que proveen, así como las amenazas que enfrentan; y finalmente, se plantearán argumentos y estrategias sobre por qué es nuestro deber conservarlos. Así, el objetivo central es ofrecer una mirada integral que no solo muestre la importancia científica y técnica de los bosques andinos de Carchi e Imbabura, sino que también ponga en evidencia el compromiso ético que tenemos frente a ellos. La conservación de estos ecosistemas no es un lujo ni una opción secundaria, sino una condición indispensable para garantizar el futuro de la región y, en un sentido más amplio, para asegurar la continuidad de la vida en condiciones de equilibrio.

2.2. IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LOS BOSQUES ANDINOS

Los bosques andinos, en general, y en particular aquellos que se ubican en las provincias de Imbabura y Carchi, representan ecosistemas estratégicos dentro de la cordillera norte del Ecuador. Su relevancia ecológica no se limita a la belleza paisajística que ofrecen, sino que se manifiesta en múltiples procesos y funciones que sostienen la vida de especies animales, vegetales y, en última instancia, de las comunidades humanas que dependen de ellos. Es por esto por lo que, en esta sección

se explora el valor ecológico de estos bosques a través de tres ejes principales: 1. la biodiversidad y el endemismo, 2. la regulación hídrica y climática, y 3. la protección del suelo junto con su papel en la mitigación del cambio climático.

2.2.1. Biodiversidad y endemismo

La región andina del norte de Ecuador es reconocida como un “punto caliente” (*hot spot*) de biodiversidad. Esto significa que concentra un número muy elevado de especies en un territorio relativamente reducido, muchas de ellas endémicas, es decir, que no existen en ninguna otra parte del mundo. En estos bosques o sus remanentes se pueden encontrar aves como el tucán andino (*Andigena hypoglauca*), el gallito de la peña (*Rupicola peruviana*) y numerosas especies de colibríes, así como mamíferos emblemáticos como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y el puma (*Puma concolor*). A nivel de flora, destacan especies de árboles como el yagual (*Polylepis* spp) (Figura 2.2), o aliso (*Alnus acuminata*) adaptado a condiciones extremas de altura, además de orquídeas y bromelias que prosperan en ambientes de neblina constante.

La riqueza biológica no solo es importante en términos de conservación de especies, sino que también genera beneficios indirectos para los seres humanos (Cleef, 2013). La presencia de una fauna diversa mantiene el equilibrio de las cadenas tróficas, ayuda a controlar plagas de manera natural y favorece la polinización, proceso vital para la reproducción de plantas cultivadas y silvestres. Por su parte, la vegetación contribuye a la purificación del aire y al mantenimiento de microclimas que hacen posible la vida agrícola en los valles interandinos (Jorgensen y León, 1999).

Desde un enfoque científico integral, la biodiversidad también constituye la base de múltiples procesos biofísicos que sostienen la funcionalidad de los ecosistemas y su capacidad de provisión de recursos a largo plazo. La diversidad genética presente en poblaciones vegetales y animales incrementa la variabilidad adaptativa frente a cambios ambientales, lo que resulta clave en escenarios de variabilidad climática y eventos extremos cada vez más frecuentes. Asimismo, la interacción entre organismos de distintos niveles tróficos regula la dinámica de poblaciones y previene desequilibrios ecológicos que podrían derivar en degradación del suelo, pérdida de productividad y mayor dependencia de insumos externos. La estructura compleja de los ecosistemas naturales favorece la captura y el almacenamiento de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a la regulación térmica local.

De manera complementaria, los paisajes biológicamente diversos actúan como reservorios de recursos genéticos con potencial alimentario, medicinal y biotecnológico, cuyo valor estratégico aún no ha sido completamente explorado. En contextos andinos, estos sistemas también cumplen una función clave en la protección de cuencas hidrográficas, asegurando la disponibilidad y calidad del agua para usos agrícolas y humanos. En conjunto, la riqueza biológica sostiene procesos ecológicos esenciales que trascienden la conservación per se, posicionándose como un componente estructural del desarrollo sostenible y de la resiliencia socioambiental de las comunidades rurales.



Figura 2.2. Árbol del género *Polylepis*, conocido vulgarmente como “árbol de papel” o “yagual”. Este género comprende varias especies nativas de los Andes, adaptadas a altitudes extremas, desde los 3 000 hasta cerca de los 5 000 metros sobre el nivel del mar. Su corteza delgada y escamosa, que se desprende en capas como papel, le otorga su nombre común. Estos árboles cumplen un papel crucial en la conservación del agua, la regulación del clima local y el mantenimiento de la biodiversidad altoandina, al ser hábitat de numerosas especies endémicas y amenazadas.

2.2.2. Regulación hídrica y climática

Una de las funciones ecológicas más críticas de los bosques andinos (Figura 2.3) es la regulación del ciclo del agua. Gracias a la cobertura vegetal y al alto contenido de materia orgánica

en los suelos, estos ecosistemas actúan como esponjas naturales que capturan agua de la lluvia y la neblina, almacenándola en el suelo y liberándola de manera gradual hacia ríos, quebradas y acuíferos. Este proceso asegura que las comunidades cuenten con agua limpia y constante durante todo el año, incluso en épocas secas (Neill, 1999).



Figura 2.3. Los bosques andinos como reservas de agua. Estos ecosistemas captan y almacenan agua de lluvia y neblina, liberándola de forma gradual hacia ríos y acuíferos. Su conservación es clave para el abastecimiento hídrico y la regulación climática en zonas andinas. La imagen muestra un remanente boscoso asociado a un curso de agua en la zona del “Corazón de mundo Nuevo” parroquia El Goaltal, ubicada en el cantón Espejo de la provincia del Carchi.

En la zona norte andina de Ecuador, donde gran parte de la población depende del agua para consumo humano y riego agrícola, la función hídrica de los bosques es insustituible. Sin ellos, se incrementarían los periodos de sequía y se acentuarían las inundaciones en épocas de lluvia, afectando directamente a la seguridad alimentaria y energética de la región. Al mismo tiempo, estas formaciones vegetales contribuyen a la regulación climática a distintas escalas. A nivel local, moderan la temperatura, reducen la intensidad de vientos y mantienen condiciones de humedad que favorecen la agricultura (Curipoma Heredia, 2015). A nivel global, participan en la captura de dióxido

de carbono (CO_2), uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del cambio climático. Su capacidad para almacenar carbono en la biomasa y en los suelos los convierte en aliados estratégicos en la mitigación del calentamiento global.

2.2.3. Protección del suelo y mitigación de riesgos

Los suelos andinos son particularmente frágiles debido a las pendientes pronunciadas y a la alta pluviosidad (vertical y horizontal) de la región (Franco, 2016). La cobertura vegetal de los bosques actúa como un escudo que protege al suelo de la erosión provocada por la lluvia, al tiempo que estabiliza las laderas y reduce la probabilidad de deslizamientos. Allí donde los bosques han sido talados, el suelo queda expuesto y vulnerable, lo que no solo disminuye su fertilidad, sino que también pone en riesgo la vida de las comunidades asentadas en zonas de pendiente (Figura 2.4).



Figura 2.4. Zonas vulnerables a erosión y deslizamientos debido a la pérdida de cobertura vegetal natural. Izquierda: en el sector Yuracucito (cantón Ibarra), los bosques nativos han sido reemplazados por cultivos. Derecha: cultivos de papa en laderas de fuerte pendiente en el cantón Huaca, provincia del Carchi.

Además, la materia orgánica que los bosques aportan al suelo mejora su capacidad de retención de agua y nutrientes, creando condiciones propicias para la agricultura y para el mantenimiento de la biodiversidad subterránea, como hongos, insectos y microorganismos. Estos organismos, aunque invisibles a simple vista, son fundamentales para los ciclos de nutrientes y para la regeneración natural de los ecosistemas (Beltrán *et al.*, 2009).

2.2.4. Una red de vida interdependiente

La importancia ecológica de los bosques en los espacios geográficos andinos no puede comprenderse de manera aislada. Cada una de sus funciones se interrelaciona con las demás: la biodiversidad mantiene el equilibrio del ecosistema, la cobertura vegetal asegura la regulación hídrica y climática, y los suelos saludables sostienen la vida tanto silvestre como agrícola; por lo que, en conjunto, conforman una red de vida interdependiente de la cual los seres humanos forman parte inseparable (Figura 2.5). Por estas razones deben ser considerados no solo como patrimonio natural, sino también como sistemas vivos cuya conservación es imprescindible para el bienestar de toda la región. Ignorar su importancia ecológica sería poner en riesgo no solo la naturaleza, sino también las bases mismas de nuestra supervivencia (Franco, 2016; Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).



Figura 2.5. Helechos del género *Hymenophyllum* y hepáticas del género *Herbertus* creciendo sobre troncos en descomposición en el bosque andino. Estas especies epífitas prosperan en ambientes húmedos y sombreados, aprovechando la materia orgánica de los árboles muertos como sustrato. Su presencia refleja la compleja red de interdependencias ecológicas del bosque andino, donde incluso la descomposición contribuye a mantener la biodiversidad, el reciclaje de nutrientes y el equilibrio del ecosistema.

2.3. RELEVANCIA SOCIAL Y CULTURAL

Los bosques ubicados a lo largo del callejón andino no solo son espacios naturales de gran valor ecológico, sino también escenarios profundamente ligados a la historia, la identidad y el modo

de vida de las comunidades que habitan en la región, alcanzando su nivel superlativo en espacios donde habitan pueblos ancestrales como Otavalos y Caranquis, poblaciones que existían antes de la llegada de los incas y que se ubicaban en el territorio que hoy corresponde principalmente a la provincia de Imbabura. Su importancia social y cultural se refleja en múltiples dimensiones: en la cosmovisión de los pueblos originarios, en las prácticas agrícolas y de subsistencia de campesinos e indígenas, en los usos medicinales y rituales de la biodiversidad, y en el papel que cumplen como base para actividades económicas emergentes como el turismo comunitario. En este sentido, hablar de su conservación no es únicamente una cuestión ambiental, sino también una tarea de salvaguarda de la memoria colectiva, de los conocimientos tradicionales y del bienestar humano.

2.3.1. Territorio e identidad cultural

Para los pueblos precolombinos de Imbabura, así como para comunidades indígenas y campesinas de Carchi, la naturaleza es más que un recurso: es un ser vivo con el que se mantiene una relación de respeto y reciprocidad. Los bosques, junto con los cerros y las lagunas, forman parte de un universo sagrado en el que las montañas son “*Apus*” o protectores. El *Apu* es un espíritu ancestral de las montañas o cerros sagrados, considerado como un guardián protector que influye en la vida de la comunidad andina (la palabra *apu* proviene del quechua y significa señor o jefe). Estos espíritus eran venerados con ofrendas provenientes de sus cosechas, principalmente el maíz (*Zea mays*) y la papa (*Solanum tuberosum*), y donde cada planta o animal tiene un sentido espiritual y utilitario (Figura 2.6). Esta cosmovisión implica que cuidar el bosque es también cuidar la vida en todas sus formas. De hecho, muchas celebraciones tradicionales, como los rituales de agradecimiento a la *Pachamama*, incluyen ofrendas a la tierra y al agua, reconociendo la interdependencia entre humanos y ecosistemas.

Este vínculo cultural ha permitido la transmisión de conocimientos ancestrales sobre el uso de plantas alimenticias o medicinales: los calendarios agrícolas tradicionales, por ejemplo, conocidos de forma genérica como calendarios agrofestivos, agroecológicos o lunarios, se basan en los ciclos naturales, astronómicos y culturales, marcando las actividades agrícolas y rituales de cada comunidad. Estos calendarios integran saberes ancestrales para planificar las siembras y cosechas, conectando las prácticas agrícolas con festividades y el conocimiento del territorio. En las comunidades de Imbabura, se muestra, todavía, el uso de especies nativas para tratar dolencias comunes, lo cual refleja la integración del bosque en la vida cotidiana. Sin embargo, la pérdida de cobertura forestal amenaza también esta dimensión cultural, pues al desaparecer las especies vegetales y los ecosistemas, se debilita la transmisión de saberes entre generaciones.

Los sistemas de conocimiento tradicional fortalecen la identidad colectiva y el sentido de pertenencia territorial, al articular prácticas productivas con valores simbólicos y normas comunitarias. En este sentido, la educación intercultural y la documentación participativa emergen

como herramientas clave para salvaguardar este patrimonio inmaterial. Su reconocimiento e integración en políticas de gestión territorial contribuyen a una conservación biocultural más efectiva.



Figura 2.6. Especies alimenticias originarias de los Andes que hoy forman parte del patrimonio alimentario mundial. Izquierda: maíz negro (*Zea mays*), conocido en kichwa como *sara yana*, una variedad andina rica en antioxidantes y de alto valor cultural. Derecha: papa (*Solanum tuberosum*), cultivada en cientos de variedades nativas, base de la alimentación andina desde hace milenios. Ambas especies reflejan la profunda relación entre los pueblos andinos y la agrobiodiversidad de su territorio.

2.3.2. Sustento y modos de vida

Los bosques andinos son fuente directa de recursos para las comunidades locales. De ellos se obtiene leña para cocinar, fibras vegetales para artesanías, frutos silvestres y plantas medicinales que complementan la dieta y la salud. Además, la presencia de bosques saludables asegura la disponibilidad de agua para riego, lo que a su vez garantiza la producción agrícola de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y otros cultivos tradicionales de la región.

En los últimos años, las comunidades han comenzado a reconocer el valor del bosque más allá de la extracción de recursos. Iniciativas de turismo comunitario (Chuquimaco, 2017), especialmente los sectores de La Esperanza, San Clemente, Zuleta y Angochagua (pertenecientes al cantón Ibarra), Pucará, Apuela, Peñaherrera (del cantón Cotacachi) en Imbabura (Figura 2.7), muestran cómo la biodiversidad se convierte en atractivo para visitantes nacionales e internacionales interesados en la observación de aves, caminatas ecológicas y experiencias culturales. El turismo comunitario en Cotacachi, auspiciado por la UNORCAC (Unión de Organizaciones Campesinas e Indígenas del Cantón Cotacachi), se concentra en Santa Bárbara, donde se vive un estilo tradicional

auténtico con familias anfitrionas, talleres artesanales, expresiones culturales y la *Chakra* Andina. Todas estas experiencias buscan fortalecer la economía local y preservar la cultura indígena a través de alojamiento, alimentos, visitas a lugares sagrados y actividades agro-culinarias, con guías locales capacitados y el compromiso de gestionar los residuos. Estos proyectos generan ingresos adicionales, fortalecen el sentido de identidad local y refuerzan la necesidad de mantener los ecosistemas en buen estado de conservación.



Figura 2.7. Bosques y remanentes andinos en la provincia de Imbabura. Izquierda: bosques conservados en las zonas altas del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, sector Intag, cantón Cotacachi. Derecha: fragmentos de bosque andino en la localidad de Zuleta, parroquia La Esperanza, cantón Ibarra. Estas áreas representan importantes refugios de biodiversidad en un paisaje cada vez más transformado por actividades humanas.

2.3.3. Educación y cohesión social

El bosque andino también cumple un papel educativo. Escuelas y organizaciones comunitarias de la comunidad Naranjito de la parroquia rural La Esperanza (cantón Ibarra) han impulsado proyectos de reforestación y educación ambiental, involucrando a niños y jóvenes en actividades prácticas que refuerzan el respeto por la naturaleza. A través del rescate de una especie emblemática como el “naranjito” (*Styloceras laurifolium*) se logró que estas experiencias fomenten una conciencia ambiental que trasciende lo inmediato y se proyecta hacia la construcción de sociedades más sostenibles (Figura 2.8).

Con el desarrollo de un programa educativo orientado a la conservación y difusión del conocimiento ecológico de *Styloceras laurifolium* en esta comunidad (Pupiales, 2024), se dio un paso significativo hacia la protección del entorno natural y cultural local, promoviendo una mayor

conciencia ambiental entre los habitantes de la comunidad *kichwa* Naranjito. Asimismo, la educación ambiental se consolidó como una herramienta efectiva para abordar problemáticas ambientales y culturales tanto a nivel comunitario como global. El éxito de esta iniciativa dependerá del compromiso continuo de la comunidad de Naranjito.



Figura 2.8. El árbol de naranjito (*Styloceras laurifolium*), una especie en riesgo. Esta planta nativa está desapareciendo debido al cambio de uso de suelo y a su sobreexplotación para la fabricación artesanal de utensilios de cocina. Actualmente, en la comunidad de Naranjito, parroquia La Esperanza (cantón Ibarra), se desarrollan programas de educación ambiental orientados a su conservación y uso sostenible (Pupiales, 2024).

Asimismo, el cuidado colectivo del bosque fortalece los lazos comunitarios. Tradicionalmente, actividades como la “minga” —trabajo comunitario en beneficio común— han estado asociadas a la siembra de árboles, la limpieza de acequias o la protección de fuentes de agua. Estas prácticas no solo generan beneficios ambientales, sino que también consolidan valores como la solidaridad, la cooperación y el sentido de pertenencia.

2.3.4. Cultura y futuro compartido

La dimensión social y cultural de los bosques andinos nos recuerda que la conservación no puede reducirse a una lógica técnica o científica. Proteger estos ecosistemas significa también

preservar la diversidad cultural, los modos de vida rurales y el derecho de las comunidades a mantener su relación histórica con la naturaleza (Franco, 2016). En comunidades indígenas y campesinas, con un fuerte arraigo y sentido de pertenencia hacia la naturaleza, donde el proceso de globalización y las transformaciones económicas presionan sobre los territorios, el bosque se convierte en un símbolo de resistencia y de esperanza hacia un futuro más equilibrado.

Es necesario tener en claro que los bosques andinos son espacios donde convergen naturaleza y cultura. Su desaparición no solo implicaría la pérdida de especies y servicios ecosistémicos, sino también el debilitamiento de la identidad de los pueblos, la pérdida de saberes ancestrales y la erosión de la cohesión social. Por ello, reconocer y valorar su importancia social y cultural es tan esencial como comprender su relevancia ecológica: sin los bosques, no solo se degrada el ambiente, sino también las bases mismas de la vida comunitaria.

2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ESTRATÉGICOS

Los bosques andinos no son únicamente espacios de biodiversidad o patrimonio cultural; constituyen verdaderos proveedores de servicios ecosistémicos estratégicos, cuya función trasciende los límites locales y tiene implicaciones para la región, el país y el planeta. Comprender estos servicios es fundamental para valorar la magnitud de los beneficios que nos brindan y, al mismo tiempo, para reconocer la urgencia de su conservación. En términos generales, los servicios ecosistémicos se clasifican en cinco categorías: provisión, regulación, soporte, culturales e interdependencia de servicios. Cada una de ellas representa funciones esenciales que sostienen la vida y el bienestar humano. En este contexto, los bosques andinos desempeñan un papel determinante al contribuir de manera directa e indirecta en todas estas categorías, garantizando el equilibrio ecológico, la estabilidad climática y la disponibilidad de recursos naturales indispensables para las comunidades locales y regionales (Jorgensen y León, 1999).

2.4.1. Servicios de provisión

Entre los servicios de provisión, destacan los recursos que los bosques ofrecen directamente a las comunidades y a la economía local (Franco, 2016). Entre estos se incluyen agua, madera, frutos silvestres, plantas medicinales, fibras y recursos genéticos. El agua es quizá el recurso más crítico; los bosques funcionan como esponjas naturales, capturando la lluvia y la niebla, infiltrando el agua en los suelos y liberándola de manera gradual hacia ríos y quebradas que abastecen a comunidades rurales y urbanas. Sin estos bosques, muchas comunidades sufrirían sequías prolongadas en temporadas secas y escasez de agua para actividades agrícolas y domésticas.

La madera y otros productos forestales no maderables (PFnM), también son relevantes, aunque su explotación debe realizarse de manera sostenible. La leña sigue siendo fuente de energía

para cocinas rurales, mientras que las fibras vegetales se utilizan para artesanías y tejidos tradicionales. La recolección de frutos, hongos y plantas medicinales, por su parte, sostiene prácticas culturales ancestrales y contribuye a la alimentación y la salud de las familias locales. Incluso a nivel científico, los recursos genéticos de la flora andina tienen un valor potencial para investigaciones biomédicas y desarrollo de productos farmacológicos (Figura 2.9).



Figura 2.9. Servicios ecosistémicos del bosque andino. Izquierda: provisión y regulación del agua en los páramos de El Ángel, provincia de Carchi, fundamentales para el abastecimiento y mantenimiento de cuencas hidrográficas. Derecha: uso tradicional de plantas medicinales silvestres por las comunidades locales, como el higuilán (*Monnina crassifolia*), empleado en la medicina ancestral como expectorante, estimulante y diurético.

2.4.2. Servicios de regulación

Los servicios de regulación son quizá los más estratégicos, pues aseguran el equilibrio de procesos naturales que benefician tanto a la biodiversidad como a las personas. Entre ellos, se destacan la regulación hídrica, climática y de riesgos naturales.

Los bosques andinos actúan como verdaderos reguladores hídricos. Su vegetación y los suelos ricos en materia orgánica permiten la infiltración y almacenamiento de agua de lluvia, evitando que se produzcan escorrentías excesivas que causen erosión o inundaciones (Figura 2.10). Este proceso garantiza el suministro constante de agua limpia a ríos, quebradas y acuíferos, incluso durante los periodos secos, asegurando la disponibilidad para consumo humano, riego agrícola e industria hidroeléctrica (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017). La pérdida de cobertura forestal altera este equilibrio, provocando sequías más prolongadas y disminución de la calidad del agua, con impactos directos en la seguridad hídrica y alimentaria.



Figura 2.10. Extensas áreas de bosque andino en la parroquia Mariano Acosta, cantón Pimampiro. La densa cobertura vegetal de estos bosques juega un papel fundamental en la estabilización de suelos, previniendo deslizamientos y erosión en las zonas de alta pendiente. Además, contribuyen a la regulación hídrica y al mantenimiento de la biodiversidad local, siendo clave para la protección ambiental y el bienestar de las comunidades rurales.

Los bosques andinos también regulan el clima a nivel local y global. A nivel local, su presencia modera las temperaturas, mantiene la humedad y crea microclimas favorables para la agricultura,

especialmente en los valles interandinos donde se cultivan papas (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y hortalizas (Franco *et al.*, 2016). A nivel global, los bosques actúan como sumideros de carbono, almacenando grandes cantidades de CO₂ en la biomasa de árboles y en el suelo, lo que contribuye a mitigar el cambio climático. La pérdida de bosques implica no solo la liberación de carbono almacenado, sino también la reducción de la capacidad de estos ecosistemas para absorber nuevos gases de efecto invernadero (Neill, 1999).

Los bosques andinos cumplen un papel fundamental de protección frente a riesgos naturales, estabilizando laderas y reduciendo la erosión del suelo, lo que contribuye a disminuir la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones. Esta función resulta especialmente relevante en las zonas montañosas de la provincia del Carchi, donde la combinación de fuertes pendientes y alta pluviosidad incrementa la vulnerabilidad frente a eventos naturales extremos. En particular, las áreas cercanas a los cultivos —principalmente de papa— se ven afectadas por prácticas agrícolas inadecuadas, como la labranza en dirección a la pendiente natural. Estas prácticas dejan el suelo expuesto a las precipitaciones y a la escorrentía, lo que no solo provoca la pérdida de nutrientes, sino que también puede generar deslaves con graves repercusiones para la economía local.

Los bosques de altura desempeñan un papel esencial en la mejora de la estructura del suelo, ya que sus raíces contribuyen a la formación de una red porosa que facilita la infiltración y retención del agua. Esta estructura estable permite conservar la humedad y los nutrientes, evitando su pérdida por escorrentía o erosión (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017). La hojarasca y la materia orgánica en descomposición enriquecen el suelo, aumentando su fertilidad y promoviendo la actividad biológica de microorganismos que regeneran continuamente su calidad. Gracias a estos procesos, los bosques andinos crean un entorno autosostenible que no solo favorece la regeneración natural de las plantas, sino que también optimiza el ciclo del agua dentro del ecosistema.

Asimismo, esta capacidad del bosque andino para conservar recursos esenciales fortalece la resiliencia de los ecosistemas frente a fenómenos climáticos extremos, como sequías prolongadas o variaciones abruptas de temperatura. Los suelos bien estructurados y ricos en materia orgánica actúan como reservorios de humedad que sostienen la vida vegetal durante los periodos secos, mientras que la cobertura vegetal reduce el impacto del calor y mitiga las fluctuaciones térmicas. A largo plazo, esta función ecológica resulta clave para la estabilidad de las cuencas hidrográficas, la prevención de la desertificación y la adaptación al cambio climático. Por ello, la conservación y restauración de los bosques andinos representa una estrategia prioritaria para mantener la salud ambiental y el equilibrio de los ecosistemas locales.

2.4.3. Servicios de soporte

Los servicios de soporte son aquellos que sustentan los procesos ecológicos esenciales que hacen posible la vida y garantizan el funcionamiento de los demás servicios ecosistémicos. Entre ellos destacan la formación de suelos, el ciclo de nutrientes, la producción primaria y la polinización,

procesos en los que los bosques andinos desempeñan un papel crucial. Estos ecosistemas actúan como verdaderos laboratorios biológicos donde la materia orgánica se descompone, liberando nutrientes que son reincorporados al suelo y reutilizados por las plantas. Los microorganismos del suelo, los hongos micorrízicos y la diversidad vegetal conforman una red simbiótica que mantiene la fertilidad y estabilidad del sistema, favoreciendo tanto el crecimiento de la vegetación natural como el rendimiento de los cultivos agrícolas. Gracias a esta dinámica, los bosques andinos no solo sostienen la productividad local, sino que también contribuyen al equilibrio global de los ciclos biogeoquímicos.

Además, este tipo particular de formación vegetal desempeña un papel estratégico en la conectividad ecológica, al actuar como corredor biológico que enlaza distintos hábitats y zonas de vida. Esta conectividad permite el movimiento de especies animales y vegetales, facilitando procesos vitales como la migración, la dispersión de semillas y el flujo genético entre poblaciones. La presencia de estos corredores garantiza la resiliencia de los ecosistemas frente a perturbaciones naturales o antrópicas, al ofrecer refugio y rutas de recolonización. Sin embargo, la fragmentación del hábitat, causada por la deforestación y la expansión agrícola, amenaza con interrumpir estas interacciones ecológicas. Si esta desconexión persiste, muchas especies endémicas podrían enfrentar aislamiento, pérdida de diversidad genética y, finalmente, riesgo de extinción. Por ello, la conservación de los bosques andinos es esencial para mantener la integridad ecológica y asegurar la continuidad de los servicios de soporte que sostienen la vida.

2.4.4. Servicios culturales

Los servicios culturales son menos tangibles que los de provisión o regulación, pero resultan igualmente esenciales para el bienestar humano, ya que fortalecen los vínculos emocionales, simbólicos y espirituales entre las personas y la naturaleza. Estos servicios incluyen actividades recreativas, educativas, estéticas y espirituales que fomentan el aprecio y la valoración del entorno natural (Franco *et al.*, 2016; Chuquimaco, 2017). En las provincias de Imbabura y Carchi, los bosques andinos se han convertido en escenarios privilegiados para el desarrollo de caminatas ecológicas, observación de aves, fotografía de naturaleza y turismo comunitario, actividades que no solo generan beneficios económicos sostenibles, sino que también promueven la educación ambiental y la conservación. Además, estos espacios naturales sirven como aulas vivas para escuelas, universidades y organizaciones locales, que los utilizan como entornos de aprendizaje y sensibilización ambiental, fortaleciendo la relación entre conocimiento científico, tradición y conservación.

Desde una perspectiva cultural y espiritual, los bosques andinos son pilares de identidad para las comunidades locales, en especial para los pueblos *kichwas* y mestizos que habitan la región. En ellos se realizan rituales de agradecimiento a la Pachamama, celebraciones agrícolas y prácticas tradicionales que reflejan un profundo respeto por la tierra y sus ciclos naturales. Los conocimientos

ancestrales sobre plantas medicinales, el manejo de los recursos naturales y la transmisión oral de mitos y leyendas forman parte de un patrimonio inmaterial que se mantiene vivo gracias a la interacción cotidiana con el bosque. Este vínculo espiritual y cultural demuestra que la conservación de los ecosistemas no solo protege la biodiversidad, sino también la memoria colectiva y la identidad cultural de las comunidades. Así, los servicios culturales de los bosques en la zona norte andina del Ecuador representan un puente entre naturaleza y sociedad, recordando que el bienestar humano depende de mantener una relación armoniosa y respetuosa con el entorno natural (Figura 2.11).



Figura 2.11. Feria de conservación de especies nativas andinas en el cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. Izquierda: mujeres kichwas exhiben productos agrícolas locales para la venta e intercambio, reforzando su papel fundamental en la transmisión de saberes ancestrales y en la conservación de la agrobiodiversidad. Derecha: variedades de semillas nativas andinas, valoradas por sus propiedades nutricionales. Estas ferias fortalecen la soberanía alimentaria de las comunidades y contribuyen a su resiliencia frente al cambio climático, al promover sistemas agrícolas diversos, sostenibles y culturalmente significativos.

2.4.5. Interdependencia de servicios

Una característica fundamental de los servicios ecosistémicos de los bosques andinos es su interdependencia. La regulación hídrica depende de la cobertura vegetal y de la biodiversidad del suelo; la protección frente a deslizamientos y erosión se relaciona con la estabilidad de la vegetación y la fertilidad del suelo; y la disponibilidad de recursos para el consumo humano está ligada a la conservación de los ciclos naturales y a la salud de los ecosistemas (Franco *et al.*, 2016). Esta interconexión demuestra que los beneficios no son aislados, sino que forman una red integral que sostiene tanto la naturaleza como la sociedad.

Comprender la magnitud de los servicios ecosistémicos estratégicos es clave para generar conciencia sobre la necesidad de conservar los bosques. Cada árbol, cada ladera cubierta de vegetación y cada arroyo que fluye gracias al bosque tiene un papel en mantener la estabilidad ambiental y social. Ignorar estos servicios equivale a subestimar la base de la vida humana en la región. La protección de los bosques andinos no solo asegura la biodiversidad y la belleza del paisaje, sino que también garantiza agua, alimento, estabilidad climática, seguridad frente a desastres naturales y la continuidad de prácticas culturales y espirituales que definen la identidad local.



Figura 2.12. Especies andinas con potenciales usos artesanales o industriales. Las plantas del género *Gunnera*, por ejemplo, albergan microorganismos fijadores de nitrógeno, concretamente cianobacterias del género *Nostoc*. Los huicundos (género *Guzmania*) son plantas que almacenan agua, por lo que son esenciales en el ciclo hidrológico, además de tener importancia desde el punto de vista ornamental.

Es incuestionable que los bosques andinos, con su excepcional diversidad biológica y complejidad ecológica, son actores estratégicos en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad regional. Su conservación trasciende el ámbito ambiental y debe entenderse como una inversión prioritaria en la seguridad hídrica, alimentaria, climática y cultural de las comunidades. Proteger estos ecosistemas significa garantizar el bienestar y la resiliencia

de la población, así como la continuidad de los recursos naturales que sustentan la vida y la economía local. Reconocer su valor es asumir el compromiso de gestionar responsablemente el territorio, entendiendo que la salud de los bosques y el bienestar humano son inseparables, y que su degradación tendría impactos profundos en el desarrollo sostenible de la región (Figura 2.12).

2.5. EL PATRIMONIO VEGETAL DE LOS BOSQUES ANDINOS

Los bosques andinos del Ecuador representan un patrimonio ecológico y cultural de incalculable valor, siendo uno de los ecosistemas más diversos y funcionales del país. Su riqueza florística constituye la base estructural y funcional de estos bosques, asegurando la estabilidad de los ciclos biogeoquímicos, la conservación del suelo y del agua, y la regulación climática (Chuquimaco, 2017). La diversidad de especies vegetales, que incluye árboles, arbustos, epífitas, lianas y plantas asociadas a humedales, no solo sostiene la vida de la fauna local, sino que también provee recursos esenciales para las comunidades que dependen de ellos, generando servicios ecosistémicos de carácter económico, social y cultural. La variabilidad altitudinal, la topografía compleja y la heterogeneidad de microhábitats generan un mosaico de comunidades vegetales altamente especializadas (Neill, 1999), muchas de ellas endémicas, lo que resalta la importancia estratégica de su conservación.

El conocimiento del componente florístico de los bosques andinos es un recurso crítico para la planificación y gestión ambiental. Identificar la composición, distribución y funciones ecológicas de las especies permite priorizar áreas para conservación, orientar programas de restauración ecológica y diseñar estrategias de manejo sostenible frente a amenazas como la deforestación, la fragmentación de hábitats y el cambio climático. Asimismo, reconocer el valor cultural, medicinal y productivo de estas especies fortalece la integración de la biodiversidad en el desarrollo local y en la construcción de políticas ambientales efectivas (Jorgensen y León, 1999).

En este contexto, el análisis del componente florístico no solo aporta información científica sobre la biodiversidad vegetal, sino que constituye una herramienta estratégica para garantizar la resiliencia de los ecosistemas, la continuidad de los servicios que proporcionan y la preservación del patrimonio natural y cultural de la región andina. La gestión responsable de esta riqueza vegetal se presenta, por tanto, como una prioridad institucional para promover la sostenibilidad, la seguridad ecológica y el bienestar de las comunidades del norte del Ecuador (Beltrán *et al.*, 2009).

2.5.1. Etnobotánica e importancia de las plantas útiles

Los bosques andinos de las provincias de Imbabura y Carchi constituyen un ecosistema altamente diverso, con una riqueza florística que incluye cientos de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, muchas de ellas endémicas o de distribución restringida. Este componente vegetal no solo cumple funciones ecológicas fundamentales, sino que constituye una base para el conocimiento etnobotánico, es decir, el estudio sistemático de las relaciones entre las comunidades humanas y las

plantas. La etnobotánica en los Andes del norte del Ecuador se centra en cómo las poblaciones locales, incluyendo comunidades indígenas y campesinas, han identificado, clasificado y utilizado las especies vegetales para satisfacer necesidades alimenticias, medicinales, utilitarias y rituales.

Desde el punto de vista de su historia y relevancia, el conocimiento tradicional sobre plantas útiles se ha desarrollado a lo largo de siglos de interacción con el entorno montañoso, caracterizado por fuertes pendientes, variabilidad climática y suelos heterogéneos. Las comunidades locales han clasificado las plantas según criterios funcionales, morfológicos y ecológicos, desarrollando categorías específicas para plantas medicinales, alimenticias, ornamentales y utilitarias. Este conocimiento es transmitido principalmente de manera oral, complementado por la observación directa y la práctica cotidiana, y constituye un componente integral de la cultura y la identidad local. Estudios etnobotánicos en la región han documentado que más del 60 % (Jorgensen y León, 1999), de las especies presentes en los bosques andinos tienen algún uso tradicional registrado. Este elevado porcentaje subraya la importancia de la biodiversidad vegetal como recurso directo para la subsistencia humana y como base para la conservación cultural y ecológica.

A lo largo de generaciones, los habitantes de estas áreas han desarrollado un profundo conocimiento sobre las propiedades y usos de las plantas que los rodean, integrando prácticas de salud, alimentación, artesanía y espiritualidad que reflejan la interconexión entre cultura y naturaleza (Curipoma Heredia, 2015). Este saber tradicional evidencia que la flora andina es mucho más que un componente del paisaje; es un recurso estratégico para la subsistencia, el bienestar y la identidad cultural de las poblaciones locales.

Con el objetivo de sistematizar y comprender mejor esta riqueza, las plantas útiles de los bosques andinos pueden clasificarse en cuatro grandes categorías. Las plantas medicinales se emplean para prevenir, aliviar o tratar diversas enfermedades, demostrando la estrecha relación entre la flora y la salud comunitaria. Las plantas alimenticias y nutracéuticas aportan nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que fortalecen la nutrición y el bienestar. Las plantas utilitarias y de uso cotidiano se aprovechan en la elaboración de herramientas, objetos domésticos, construcciones y vestimenta. Por último, las plantas ceremoniales y rituales cumplen un papel central en las prácticas espirituales y culturales, conectando a las comunidades con su entorno y tradiciones (Franco *et al.*, 2016). Esta clasificación permite analizar la flora desde una perspectiva integral, reconociendo su valor ecológico, cultural y económico, así como la importancia de su conservación y manejo sostenible.

Las plantas medicinales y su aplicación: El uso de plantas medicinales es uno de los aspectos más desarrollados de la etnobotánica en los Andes norteños. Especies, especies comunes introducidas como *Matricaria chamomilla* (manzanilla), *Lippia citrodora* (cedrón), *Cymbopogon citratus* (hierba luisa), *Plantago major* (llantén), entre otras, y especies nativas como *Clinopodium nubigenum* (sunfo), se emplean en infusiones y cataplasmas para tratar afecciones gastrointestinales, respiratorias, dolorosas o inflamatorias. Además, especies nativas como

Baccharis latifolia (chilca negra) y *Hypericum laricifolium* (romerillo) se utilizan en preparados para aliviar fiebre y trastornos hepáticos (Figura 2.13). Los conocimientos asociados incluyen la identificación de órganos vegetativos específicos, dosis, métodos de extracción (infusión, decocción, maceración) y tiempos óptimos de recolección, lo que evidencia un manejo detallado y sostenible de los recursos naturales.

La importancia de estas especies trasciende el ámbito medicinal, pues su uso está ligado a prácticas preventivas, rituales de bienestar y educación en salud comunitaria. La documentación de estas especies mediante estudios etnobotánicos permite conservar información crucial antes de que desaparezca debido a la urbanización, deforestación y cambios culturales.



Figura 2.13. Especies nativas andinas de interés medicinal. Izquierda: Romerillo (*Hypericum laricifolium*), planta utilizada tradicionalmente por sus propiedades antiinflamatorias y cicatrizantes. Derecha: Sunfo (*Clinopodium nubigenum*), hierba aromática empleada en infusiones para tratar afecciones respiratorias y digestivas. Ambas especies forman parte del saber ancestral de las comunidades andinas y representan una valiosa fuente de recursos fitoterapéuticos, cuya conservación y uso sostenible son fundamentales para la salud comunitaria y la biodiversidad local.

Plantas alimenticias y nutraceuticas: Los bosques andinos son también fuente de plantas alimenticias que complementan la dieta local, proporcionando nutrientes esenciales y compuestos bioactivos. Frutas como el mortiño (*Vaccinium floribundum*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), naranjilla (*Solanum quitoense*) y uvilla (*Physalis peruviana*) son consumidas frescas o procesadas en jugos, mermeladas y conservas. Estas especies poseen un alto valor nutraceutico: los frutos de mortiño, por ejemplo, son ricos en antocianinas con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias,

mientras que la oca (*Oxalis tuberosa*) (Figura 2.14) es un tubérculo andino que aporta vitamina C y compuestos fenólicos que refuerzan la salud cardiovascular y metabólica.

Además de frutos, hojas y raíces de especies herbáceas y arbustivas, como *Rumex acetosella* (lengua de pájaro) y *Chenopodium quinoa* (quinua), son utilizadas como verduras y complementos nutricionales, demostrando que la etnobotánica no solo proporciona conocimiento sobre alimentos, sino también sobre la composición química y funcional de los recursos vegetales.



Figura 2.14. La oca (*Oxalis tuberosa*), planta andina de alto valor alimenticio. Izquierda: detalle de las hojas compuestas, características de la planta. Derecha: tubérculos comestibles, ricos en carbohidratos, utilizados tradicionalmente en la alimentación de comunidades andinas. La oca forma parte del grupo de raíces y tubérculos andinos domesticados hace miles de años, adaptados a condiciones de altura y suelos pobres. Su cultivo contribuye a la soberanía alimentaria y a la conservación de la agrobiodiversidad en los Andes.

Plantas utilitarias y materiales de uso cotidiano: Otro componente importante de la etnobotánica andina es la utilización de plantas para fines utilitarios y artesanales. Fibras y tallos de bambú nativo (*Chusquea scandens*) y hojas de palmas se emplean para la elaboración de cestería, techos, esteras y utensilios domésticos. Helechos arborescentes y ciertas epífitas se utilizan en prácticas agrícolas tradicionales, como la cobertura de suelos para conservar humedad y nutrientes. El uso de plantas en construcción y artesanía refleja un enfoque sostenible: las especies se recolectan de manera selectiva y controlada, permitiendo su regeneración natural. Este manejo demuestra que la etnobotánica no solo documenta usos tradicionales, sino que también aporta modelos de sostenibilidad aplicables en programas de conservación y desarrollo local.

La totora (*Schoenoplectus californicus*) (Figura 2.15) constituye una especie de extraordinaria importancia para la región andina del Ecuador, tanto por su valor cultural como por su relevancia

socioeconómica. Esta planta acuática emergente y perenne prospera en lagunas y humedales de la provincia de Imbabura, a altitudes superiores a los 2.000 metros sobre el nivel del mar, y se ha integrado profundamente en las prácticas tradicionales de las comunidades locales. Sus tallos se utilizan en la elaboración de esteras, cestas, sombreros, colchones, sillas y techos, productos que no solo abastecen los mercados locales, sino que también generan exportaciones hacia Colombia, Perú, Estados Unidos y varios países europeos, representando un recurso económico estratégico para la región.

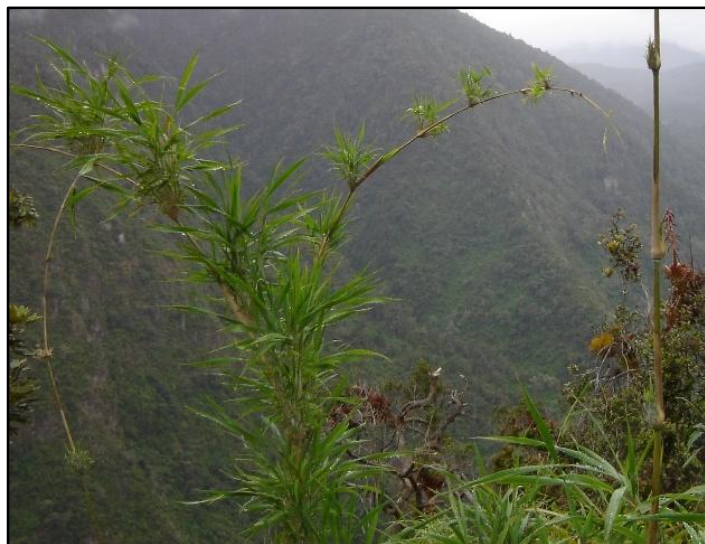


Figura 2.15. Plantas nativas de uso cotidiano en comunidades andinas. Izquierda: Totorá (*Schoenoplectus californicus*), planta acuática que crece en las orillas del lago Yahuarcocha, utilizada tradicionalmente para la elaboración de esteras, canastos y techos, además de tener un rol importante en la filtración natural del agua. Derecha: Suro (*Chusquea scandens*), especie de bambú nativo presente en remanentes de bosque andino en la parroquia Mariano Acosta, cantón Pimampiro (Imbabura), empleada en la construcción de cercas, techados y artesanías. Ambas especies son parte del conocimiento ancestral sobre el aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales locales.

A pesar de su importancia, la totora enfrenta amenazas crecientes debido a la expansión de la agricultura, la urbanización y otras actividades humanas que fragmentan y degradan sus hábitats naturales. La pérdida de estos ecosistemas comprometería no solo la biodiversidad local, sino también la seguridad económica, cultural y ambiental de las comunidades que dependen de esta especie. Por ello, resulta imperativo implementar estrategias de manejo sostenible y conservación que garanticen la regeneración de los humedales, respeten los ciclos de crecimiento y promuevan el uso responsable de la totora. La protección y manejo efectivo de esta especie no solo asegura su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras, sino que también fortalece la identidad cultural, la resiliencia ecológica y el desarrollo económico regional (Franco *et al.*, 2016). La totora

debe ser, por tanto, reconocida como un recurso estratégico cuya conservación es prioridad institucional para el desarrollo sostenible de la sierra norte del Ecuador.

Plantas ceremoniales y rituales: En el contexto cultural, numerosas plantas desempeñan roles ceremoniales y espirituales. Comunidades indígenas *kichwa* utilizan hojas, flores y raíces específicas en rituales en festividades agrícolas y curaciones tradicionales. Por ejemplo, ciertas especies de los géneros *Polylepis* (árbol de papel o yagual) y *Baccharis* (conocidas como chilcas) (Figura 2.16) son empleadas en rituales para proteger cultivos y armonizar espacios sagrados. Este componente ritual destaca la interrelación entre flora y cosmovisión, mostrando que la conservación de especies vegetales también es crucial para preservar prácticas culturales y conocimiento ancestral.



Figura 2.16. Especies nativas andinas de interés ritual y cultural. Izquierda: Chilca (*Baccharis* spp.), planta ampliamente utilizada en rituales de purificación, limpieza energética y medicina tradicional andina, debido a sus propiedades aromáticas y simbólicas. Derecha: Marco (*Tagetes zypaquirensis*), especie empleada en celebraciones ancestrales,

ofrendas y prácticas curativas, asociada a la protección espiritual y al equilibrio del cuerpo y el entorno. Ambas plantas forman parte del conocimiento etnobotánico de los pueblos andinos, donde la naturaleza es entendida como un componente integral de la salud física, espiritual y comunitaria.

La etnobotánica subraya que la conservación de los bosques andinos debe ir de la mano con la preservación del conocimiento tradicional. La pérdida de cobertura vegetal implica también la desaparición de información sobre usos medicinales, alimenticios y utilitarios, afectando la resiliencia y la identidad cultural de las comunidades. Estrategias como la educación ambiental, talleres participativos y proyectos de investigación colaborativa han demostrado ser eficaces para documentar especies útiles, enseñar técnicas de manejo sostenible y promover la reforestación con plantas nativas. La etnobotánica también abre oportunidades económicas sostenibles. La producción y comercialización de plantas medicinales, ornamentales y frutales nativas permite generar ingresos sin comprometer la integridad del bosque. Productos con valor agregado, como infusiones, cosméticos naturales y mermeladas, vinculan la riqueza florística con emprendimientos comunitarios, fomentando la conservación activa. La valorización de plantas nativas frente a introducidas promueve la biodiversidad y fortalece la relación entre comunidades y ecosistemas.

2.5.2. La diversidad vegetal y su relación con el ecoturismo

La riqueza florística de los bosques norte andinos del Ecuador constituye un recurso estratégico para el desarrollo del ecoturismo, entendido como un modelo de turismo sostenible que promueve la conservación de la biodiversidad, la educación ambiental y la generación de beneficios económicos para las comunidades locales (Beltrán *et al.*, 2009). La diversidad de especies vegetales, tanto endémicas como ampliamente distribuidas en la región andina norte, no solo ofrece atractivos estéticos, sino que cumple funciones ecológicas fundamentales que enriquecen la experiencia educativa y científica de los visitantes.

Los bosques montanos andinos presentan una compleja diversidad y estructuras vegetales (García *et al.*, 2021), donde el estrato arbóreo está dominado por géneros como *Weinmannia* (encinos), *Podocarpus* (olivos), *Ocotea* (aguacatillos) y *Alnus* (aliso) (Figura 2.17). Estas especies no solo forman la estructura principal del bosque, sino que regulan el microclima, estabilizan suelos y facilitan la regeneración de plantas menores mediante la protección de plántulas y la creación de microhábitats húmedos. Entre los arbustos se destacan especies de *Escallonia* (chachacomo) y *Hesperomeles ferruginea* (cerote), que proporcionan floración estacional y frutos consumidos por fauna local, incrementando el valor educativo del ecoturismo al permitir la observación de interacciones planta-animal (Pinto *et al.*, 2018).

El estrato herbáceo y epifítico es igualmente relevante. Helechos arborescentes del género *Cyathea*, bromelias y musgos recubren troncos y rocas, generando microhábitats para invertebrados, anfibios y pequeños vertebrados. Bromelias como *Guzmania* y *Aechmea* (conocidos como huicundos)

retienen agua y nutrientes, constituyendo auténticos “mini-ecosistemas” que permiten a los visitantes observar la dinámica funcional de las especies. La presencia de orquídeas epífitas y terrestres, incluyendo géneros como *Epidendrum*, *Maxillaria* y *Pleurothallis*, agrega valor estético y científico, siendo un recurso clave para programas de educación ambiental y talleres de identificación botánica.



Figura 2.17. Especies representativas del estrato arbóreo en los bosques andinos del norte de Ecuador. Izquierda: Encino (*Weinmannia* spp.), árbol nativo dominante en ecosistemas montañosos, reconocido por su valor ecológico como proveedor de hábitat y estabilizador de suelos. Derecha: Aliso (*Alnus acuminata*), especie pionera asociada a suelos húmedos, que contribuye a la fertilidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno, y es frecuentemente utilizada en procesos de restauración ecológica.

Los bosques andinos además poseen funciones ecológicas y valor educativo, por lo que, el ecoturismo botánico en los bosques andinos no se limita a la observación de la belleza floral; integra el aprendizaje sobre la función ecológica de las especies (Figura 2.18). Los visitantes pueden comprender cómo los árboles emergentes regulan el microclima y protegen suelos, cómo las epífitas retienen agua y nutrientes, y cómo los arbustos y herbáceas facilitan la regeneración natural de las plantas y sostienen redes tróficas complejas (Neill, 1999).

El uso de especies indicadoras, como *Polylepis* (árbol de papel) en relictos nativos, permite mostrar el impacto de la fragmentación y la presión humana, mientras que la presencia de especies invasoras sirve para explicar los efectos de la perturbación ambiental. Este enfoque educativo

fortalece la comprensión de los servicios ecosistémicos (Beltrán *et al.*, 2009), incluyendo la regulación hídrica, la conservación de suelos y la captura de carbono, vinculando la experiencia estética con aprendizajes científicos aplicables a la gestión sostenible del bosque.



Figura 2.18. Especies vegetales nativas con valor en actividades ecoturísticas. Izquierda: Flor de mayo (*Andesanthus lepidotus*), árbol emblemático por su vistosa floración color violeta, que embellece los paisajes andinos y atrae visitantes durante su época de floración. Derecha: Orquídeas del género *Cyrtorchilum* (*C. pardinum*), apreciadas por su belleza y diversidad, son especies altamente valoradas en rutas ecoturísticas y programas de conservación, por su papel en la polinización y su sensibilidad a cambios ambientales. Ambas especies fortalecen el vínculo entre biodiversidad y turismo sostenible en los Andes.

Varias especies vegetales andinas son consideradas Especies emblemáticas y atractivos turísticos ya que funcionan como “banderas” para el ecoturismo. Por ejemplo, *Puya hamata* (achupalla) (Figura 2.19), con su inflorescencia grande y colorida, atrae polinizadores especializados y visitantes interesados en botánica y fotografía, además de ser el alimento predilecto del oso de anteojos. Las orquídeas epífitas y terrestres son objeto de observación y coleccionismo responsable, mientras que los helechos arborescentes y musgos generan paisajes característicos de bosque nublado, apreciados por turistas nacionales e internacionales. La diversidad de especies permite desarrollar rutas temáticas de ecoturismo, enfocadas en flores, frutos, epífitas, árboles relictos o plantas endémicas, aumentando la complejidad y el valor educativo de la visita (Pinto *et al.*, 2018).

El ecoturismo proporciona oportunidades económicas directas e indirectas para las comunidades por lo que integra la economía local y la sostenibilidad. Guías locales, hospedajes rurales, restaurantes y talleres de educación ambiental se benefician de la visita de turistas interesados en la flora. La comercialización de material educativo, semillas nativas, artesanías y

plantas ornamentales permite generar ingresos sin comprometer la integridad del bosque (Chuquimaco, 2017; Pinto *et al.*, 2018). Programas de ecoturismo basados en plantas fomentan la revalorización de especies nativas frente a introducidas, promoviendo la conservación activa y la ética de recolección responsable. Los senderos interpretativos y jardines botánicos comunitarios permiten a los visitantes interactuar con la flora sin perturbarla, mostrando que es posible combinar educación, recreación y sostenibilidad económica.



Figura 2.19. Especies vegetales nativas que constituyen atractivos para el ecoturismo andino. Izquierda: Achupalla (*Puya hamata*), planta perteneciente a la familia de las bromelias, conocida por su forma llamativa y su adaptación a zonas de alta montaña. Su floración es un evento que atrae la atención de visitantes y fotógrafos de naturaleza. Derecha: Aretitos (*Brachyotum ledifolium*), arbusto de flores vistosas, típico de los matorrales andinos, que aporta valor paisajístico a senderos y áreas naturales visitadas por turistas.

Garantizar la sostenibilidad representa un desafío clave en el manejo del ecoturismo botánico, especialmente en lo relacionado con la mitigación de impactos sobre ecosistemas sensibles. La acumulación excesiva de visitantes puede generar compactación del suelo, daño a raíces superficiales y alteraciones en microhábitats esenciales para especies epífitas y plantas raras. Para minimizar estos efectos, es fundamental implementar senderos bien delimitados, establecer puntos específicos de observación y desarrollar programas de capacitación dirigidos a guías locales. Estas medidas permiten que el ecoturismo sea una actividad de bajo impacto ambiental, al tiempo que ofrece experiencias educativas significativas para los visitantes (Beltrán *et al.*, 2009).



Figura 2.20. Vegetación nativa característica de los Andes ecuatorianos. Izquierda: helechos afines del género *Huperzia* creciendo sobre formaciones de vegetación tipo almohadilla, típicas de zonas altoandinas, donde cumplen funciones importantes en la retención de humedad y la protección del suelo. Derecha: ecosistemas boscosos ricos en epífitas, como bromelias, orquídeas y musgos, que aportan complejidad estructural y diversidad biológica al bosque. Estos paisajes de alta riqueza florística constituyen un importante atractivo ecoturístico, generando oportunidades de ingreso económico para las comunidades locales a través de actividades sostenibles y educación ambiental.

La educación ambiental es crucial: informar a los turistas sobre la ecología funcional de las especies, los riesgos de recolección indiscriminada y la importancia de la conservación permite que las visitas generen conciencia y fomenten prácticas sostenibles (Chuquimaco, 2017). De esta manera, el ecoturismo botánico se convierte en una herramienta de conservación activa y un modelo replicable en otras regiones andinas (Figura 2.20).

2.5.3. Las plantas y las alternativas económicas para las comunidades

Los ecosistemas boscosos andinos representan no solo un reservorio de biodiversidad, sino también un conjunto valioso de recursos naturales vegetales con un potencial significativo para impulsar el desarrollo económico local y regional. La riqueza florística de estos bosques incluye especies utilizadas para alimentación, medicina, construcción, artesanía y prácticas culturales, muchas de las cuales poseen además propiedades nutraceuticas y medicinales que pueden potenciar emprendimientos locales y cadenas productivas sostenibles. La correcta identificación, manejo y aprovechamiento de estas especies permite a las comunidades generar ingresos económicos y mejorar su calidad de vida, sin comprometer la integridad ecológica del ecosistema ni la continuidad

de los servicios ecosistémicos que los bosques proporcionan, como la regulación hídrica, la conservación del suelo y la mitigación climática (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).

La integración de la diversidad vegetal con estrategias de aprovechamiento sostenible fomenta la resiliencia de los ecosistemas frente a presiones antrópicas, como la expansión agrícola, la urbanización y la deforestación, garantizando la disponibilidad de recursos para generaciones presentes y futuras. Este enfoque promueve un desarrollo territorial equilibrado, donde la conservación y el uso racional de la flora andina se combinan con actividades económicas responsables, fortaleciendo la identidad cultural de las comunidades y creando oportunidades para el turismo ecológico, la educación ambiental y proyectos de innovación basados en los recursos vegetales locales. De esta manera, los bosques andinos no solo cumplen funciones ecológicas críticas, sino que se consolidan como motores de desarrollo sostenible y bienestar comunitario.

Plantas ornamentales y horticultura nativa: La producción de plantas ornamentales constituye otra alternativa económica de alto potencial. Orquídeas, bromelias y helechos epífitos pueden ser cultivados en viveros comunitarios, siguiendo protocolos de propagación asexual y germinación controlada para garantizar la conservación de poblaciones silvestres.



Figura 2.21. Especies nativas andinas con potencial ornamental. Izquierda: Ashpacoral (*Bomarea multiflora*), planta trepadora de flores vistosas y coloridas, valorada por su belleza. Derecha: Aretes (*Fuchsia* sp.), arbusto nativo de flores colgantes intensamente pigmentadas, muy apreciado en el paisajismo por su atractivo visual y su capacidad para atraer polinizadores como colibríes. Ambas especies representan una oportunidad para promover la jardinería sostenible con flora nativa y fomentar el uso responsable de la biodiversidad andina.

La venta de estas especies, tanto a coleccionistas como a centros de jardinería, genera ingresos directos y promueve la valoración de la flora nativa como la ashpacoral (*Bomarea multiflora*) planta trepadora de flores vistosas y aretes (*Fuchsia* sp.) que son arbustos nativos de flores coloridas (Figura 2.21). La horticultura nativa también incluye la propagación de especies frutales tradicionales, como mortiño (*Vaccinium floribundum*), gualicones (*Macleania cordifolia* y *Macleania rupestris*) y variedades de moras no tradicionales (*Rubus* spp), cuyo cultivo bajo prácticas agroforestales permite combinar producción con conservación de cobertura vegetal, asegurando servicios ecosistémicos como retención hídrica y protección del suelo.

Aprovechamiento de frutos, semillas y fibras: El uso sostenible de frutos silvestres y semillas representa una fuente adicional de ingresos. Frutos de mortiño y uvillas (*Physalis peruviana*) pueden ser comercializados frescos o transformados en jugos, mermeladas y conservas, agregando valor económico y nutricional. Las semillas de especies nativas pueden ser vendidas para propagación en viveros o proyectos de restauración, promoviendo la conservación y generación de ingresos simultáneamente.



Figura 2.22. Frutos silvestres andinos de valor alimenticio. Izquierda: Chigualcán (*Vasconcellea pubescens*), también conocido como papayuela, fruto silvestre comestible con alto contenido de vitamina C y enzimas digestivas, utilizado en la elaboración de dulces y remedios tradicionales. Derecha: Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), fruta cultivada en zonas andinas por su valor nutricional y versatilidad culinaria. Ambas especies forman parte del patrimonio alimentario local y tienen potencial para fortalecer la soberanía alimentaria y la economía de comunidades rurales.

Fibras vegetales, hojas y tallos flexibles, como los de *Gynerium sagittatum* (yuyo), helechos arborescentes y ciertos bambús nativos, se utilizan en cestería, artesanía y construcción de elementos menores. La recolección controlada y la capacitación en técnicas artesanales permiten a las comunidades aprovechar estos recursos sin comprometer la regeneración natural. La integración de productos artesanales con turismo comunitario, ferias locales y mercados regionales amplifica el impacto económico y social de estas actividades.

El establecimiento de sistemas agroforestales basados en especies nativas constituye una estrategia de diversificación económica y conservación. Plantar árboles frutales como Chigualcán (*Vasconcellea pubescens*), tomates de árbol (*Solanum betaceum*) (Figura 2.22), o arbustos medicinales y especies forestales en combinación con cultivos tradicionales permite a las comunidades obtener múltiples productos simultáneamente, manteniendo la cobertura vegetal y la fertilidad del suelo. Estos sistemas también ofrecen oportunidades educativas y de investigación, ya que permiten estudiar interacciones ecológicas, efectos de la altitud sobre la productividad de especies nativas y prácticas de manejo sostenible. La integración de conocimiento tradicional con métodos científicos potencia la eficiencia productiva y la conservación simultánea.

Investigación y biotecnología aplicada: La investigación científica y el uso de técnicas biotecnológicas abren nuevas oportunidades económicas. La propagación *in vitro* de orquídeas y bromelias, la selección de plantas con mayor contenido de compuestos bioactivos y la caracterización química de especies medicinales permiten generar productos de alto valor agregado y reducir la presión sobre poblaciones silvestres. Además, estos proyectos pueden involucrar a estudiantes y comunidades locales, promoviendo transferencia de conocimientos y fortaleciendo la educación ambiental (Cleef, 2013). A pesar del potencial económico, la explotación de plantas nativas debe gestionarse cuidadosamente ya que la falta de planificación y la introducción de especies exóticas pueden afectar la biodiversidad y comprometer los servicios ecosistémicos, por lo que la implementación de planes de manejo sostenible, la capacitación en propagación y recolección responsable, y la certificación de productos nativos son estrategias necesarias para garantizar que el aprovechamiento económico sea compatible con la conservación de los bosques.

Además, es fundamental integrar políticas públicas que respalden emprendimientos comunitarios, promoviendo el acceso a mercados locales, nacionales e internacionales, así como incentivos para la conservación de especies nativas como el shanshi (*Coriaria ruscifolia*) y la hierba mora (*Solanum interandinum*) (Figura 2.23). La combinación de gestión científica, participación comunitaria y educación ambiental asegura que los beneficios económicos contribuyan a la sostenibilidad ecológica y social.



Figura 2.23. Especies nativas andinas con potencial para investigación biotecnológica. Izquierda: Shanshi (*Coriaria ruscifolia*), arbusto que contiene compuestos bioactivos de interés farmacológico y toxicológico. Derecha: Hierba mora (*Solanum interandinum*), planta silvestre con propiedades medicinales tradicionales y compuestos con potencial antioxidante y antiinflamatorio. Ambas especies representan recursos genéticos valiosos cuya investigación puede contribuir al desarrollo de productos innovadores y sostenibles.

2.5.4. Importancia económica y ambiental de las orquídeas nativas

Las orquídeas constituyen uno de los grupos florísticos más emblemáticos y representativos del Ecuador, país que, a pesar de su reducida extensión territorial, alberga una extraordinaria diversidad biológica. Se estima que en el territorio ecuatoriano existen más de 4.000 especies de orquídeas, cifra que lo posiciona como el país con mayor número de especies de este grupo a nivel mundial. Esta asombrosa riqueza se debe, en gran medida, a la variedad de ecosistemas presentes,

a los contrastes altitudinales y climáticos, así como a la compleja geografía que caracteriza a la región andina (García *et al.*, 2021).

En este contexto, los bosques andinos de las provincias de Imbabura y Carchi destacan como refugios de una notable diversidad de orquídeas (Figura 2.24), muchas de ellas endémicas o de distribución restringida. Estas zonas, que combinan una alta humedad, temperaturas moderadas y abundante cobertura vegetal, ofrecen condiciones ideales para el desarrollo de estas especies epífitas y terrestres. Además de su valor ecológico, las orquídeas poseen una enorme importancia cultural, estética y económica, pues forman parte del patrimonio natural del país y son objeto de interés científico y turístico (Delgado y Suárez-Duque, 2009).



Figura 2.24. Orquídeas nativas del bosque andino. Izquierda: orquídea del género *Pleurothallis*, registrada en remanentes de bosque nativo en la parroquia Mariscal Sucre, cantón Huaca. Derecha: ejemplar del género *Caucaea*, encontrado en fragmentos de bosque andino de la parroquia El Carmelo, cantón Tulcán. Ambas especies reflejan la riqueza florística de los ecosistemas altoandinos y destacan por su valor ecológico, estético y potencial para la conservación y el ecoturismo científico.

La conservación de las orquídeas en estas provincias resulta, por tanto, fundamental no solo para preservar la biodiversidad local, sino también para mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas andinos y fortalecer la identidad natural del Ecuador como nación megadiversa.

La familia Orchidaceae, reconocida a nivel mundial por su extraordinaria complejidad morfológica, amplia distribución y riqueza de especies, constituye uno de los grupos botánicos más diversos y fascinantes dentro del reino vegetal. Su notable capacidad de adaptación a distintos tipos de hábitats (desde los páramos andinos hasta las selvas tropicales húmedas) refleja una larga historia evolutiva marcada por procesos de especialización y coevolución con sus polinizadores. Esta

diversidad no solo se manifiesta en la variedad de formas, colores y estrategias reproductivas, sino también en su papel ecológico como indicadores de la salud ambiental y la calidad de los ecosistemas.

En el contexto local, las orquídeas representan un componente esencial de la biodiversidad, ya que contribuyen al equilibrio ecológico mediante sus interacciones con insectos, aves y microorganismos del suelo. Su presencia suele asociarse a ecosistemas bien conservados, lo que las convierte en bioindicadores útiles para programas de monitoreo ambiental. Además, el atractivo estético y el valor científico de las orquídeas las posicionan como un recurso estratégico para el desarrollo de iniciativas de conservación, educación ambiental y turismo sostenible.



Figura 2.25. Orquídeas nativas comunes de los bosques andinos. Izquierda: *Epidendrum jamiesonis*, especie de amplia distribución en los Andes, reconocida por sus flores pequeñas y vistosas, que suele encontrarse en bordes de senderos y claros del bosque. Derecha: ejemplar del género *Stelis* (*Stelis* sp.), caracterizado por inflorescencias densas y diminutas, comunes en ambientes húmedos y sombríos de bosque montano.

En este sentido, la protección de las especies de Orchidaceae (Figura 2.25) no solo promueve la preservación de la diversidad biológica, sino que también impulsa alternativas de desarrollo sostenible que benefician a las comunidades locales. El cultivo responsable, la investigación científica y el ecoturismo constituyen oportunidades para generar ingresos y fomentar una conciencia ambiental orientada a la valorización del patrimonio natural. Así, la familia Orchidaceae se erige como un símbolo de la interconexión entre naturaleza, ciencia y sociedad, y como un eje fundamental en las estrategias de conservación de los ecosistemas del Ecuador (Delgado y Suárez-Duque, 2009).

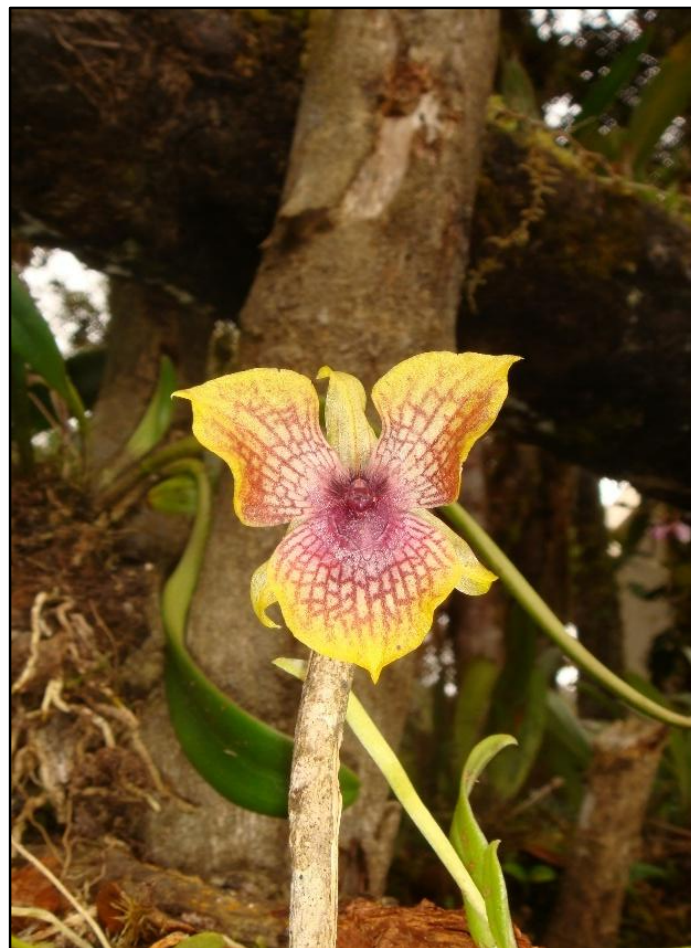


Figura 2.26. Orquídeas nativas que representan la diversidad florística del bosque andino. Izquierda: Orquídea mariposa (*Prosthechea* sp.), registrada en la parte alta de la vía Cuicocha–Intag, provincia de Imbabura, reconocida por la forma llamativa de sus flores y su adaptabilidad a distintos niveles altitudinales. Derecha: Orquídea epífita del género *Telipogon*, observada en la Reserva Ecológica Guandera, provincia del Carchi, notable por sus delicadas flores y su asociación con el ecosistema andino.

En los bosques andinos del norte ecuatoriano se han registrado más de 250 especies de orquídeas, distribuidas en géneros como *Epidendrum*, *Maxillaria*, *Pleurothallis*, *Oncidium*, *Masdevallia* y *Cattleya*. Las especies epífitas predominan en el estrato arbóreo, creciendo sobre troncos y ramas de árboles como *Podocarpus* (olivos) y *Weinmannia* (encinos), mientras que las terrestres ocupan suelos húmedos y áreas parcialmente sombreadas (Figura 2.26). Esta estratificación permite un aprovechamiento ecológico diferenciado, ya que cada especie contribuye a la complejidad estructural

del bosque y proporciona microhábitats para polinizadores especializados, como abejas, colibríes y pequeños insectos (García *et al.*, 2021).

La altitud y la exposición a factores microclimáticos, como humedad relativa y temperatura, determinan la distribución de las orquídeas (Cleef, 2013). Por ejemplo, *Masdevallia coccinea* se encuentra predominantemente entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m., mientras que *Epidendrum radicans* se distribuye desde 1.800 hasta 2.500 m. Esta variabilidad permite que los bosques de estribaciones de estas dos provincias funcionen como refugios biológicos y corredores ecológicos, facilitando la conectividad entre especies y la dispersión genética (Neill, 1999).

Las orquídeas cumplen funciones ecológicas clave. Actúan como bioindicadoras de la salud del ecosistema, ya que su presencia y abundancia reflejan la calidad del hábitat, la humedad y la estabilidad del microclima. Además, participan en redes tróficas complejas, proporcionando néctar y polen a polinizadores específicos, que a su vez aseguran la reproducción de otras especies vegetales del bosque. Algunas especies de géneros como *Masdevallia* y *Pleurothallis*, desarrollan relaciones estrechas con hongos micorrízicos, indispensables para la germinación de sus semillas y la absorción de nutrientes, evidenciando la interdependencia ecológica dentro del bosque. Desde el punto de vista ecosistémico, la presencia de orquídeas contribuye a la resiliencia del bosque frente a perturbaciones. Al ocupar microhábitats específicos, ayudan a mantener la heterogeneidad estructural y funcional del ecosistema, lo que favorece la retención de humedad, la protección del suelo y la regulación del microclima.

Las orquídeas poseen un alto valor ornamental y comercial, lo que ha impulsado programas de cultivo en viveros y proyectos comunitarios de producción sostenible. La propagación mediante semilla y cultivo in vitro permite generar plantas para comercialización sin afectar las poblaciones silvestres, garantizando la conservación de especies endémicas y reduciendo la presión sobre los bosques naturales.

Los viveros comunitarios han demostrado ser una fuente de ingresos significativa para las familias rurales. La venta de orquídeas a coleccionistas, viveros urbanos y exportación nacional e internacional se combina con la educación ambiental y el turismo botánico. Los visitantes pueden participar en actividades de identificación, cuidado y propagación, integrando experiencia económica, educativa y conservacionista (Delgado y Suárez-Duque, 2009; García *et al.*, 2021).

Un aspecto clave para tener en cuenta se resume en la siguiente interrogante: ¿cómo puede la diversidad de orquídeas de la zona integrarse con el ecoturismo y la educación ambiental? La respuesta se encuentra en las iniciativas comunitarias que promueven un modelo de ecoturismo sostenible, basado en la observación y valoración de la diversidad de orquídeas nativas. Estas especies, por su belleza y singularidad, atraen a visitantes interesados en la fotografía, la observación y el estudio de la flora, generando así un flujo constante de turismo especializado.

Los senderos interpretativos, jardines botánicos comunitarios y rutas de observación de orquídeas constituyen espacios donde se combina la recreación con el aprendizaje y la generación

de ingresos para las comunidades locales. Paralelamente, los talleres de identificación botánica y propagación de orquídeas ofrecen oportunidades de capacitación en técnicas de cultivo sostenible, fortaleciendo la ética de conservación y la valoración de las especies endémicas (Delgado y Suárez-Duque, 2009). De esta manera, la diversidad de orquídeas no solo representa un patrimonio natural de alto valor ecológico, sino también una herramienta educativa y económica que impulsa la conservación participativa y el desarrollo sostenible en la región.

La presencia de orquídeas en contextos turísticos también incrementa la sensibilización sobre la importancia de los bosques andinos, mostrando cómo la conservación de hábitats específicos es esencial para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. La educación ambiental basada en especies emblemáticas como las orquídeas refuerza la conexión entre visitantes y ecosistemas, promoviendo comportamientos responsables y apoyo a políticas de conservación.

Asimismo, la extraordinaria diversidad de orquídeas presentes en los bosques andinos plantea enormes retos para su conservación y manejo sostenible, pues su aprovechamiento económico exige una gestión responsable y técnicamente planificada (Cleef, 2013). La recolección indiscriminada de ejemplares silvestres puede ocasionar declives poblacionales, pérdida de diversidad genética y degradación del hábitat natural, afectando de manera directa la estabilidad de los ecosistemas. Ante esta situación, resulta fundamental promover la implementación de protocolos de propagación *in vitro*, el cultivo controlado en viveros y la certificación de productos, como estrategias que permitan satisfacer la demanda comercial sin poner en riesgo la integridad ecológica. Estas acciones, además de reducir la presión sobre las poblaciones naturales, contribuyen al fortalecimiento de prácticas sostenibles y al desarrollo de alternativas económicas compatibles con la conservación de la biodiversidad (Pinto *et al.*, 2018).

Al integrar ecología, biotecnología y participación comunitaria, se promueve un modelo de desarrollo sostenible que refuerza la resiliencia de los ecosistemas, la economía local y la transmisión de saberes tradicionales. De esta manera, las orquídeas no solo constituyen un recurso económico, sino también un símbolo de la interdependencia entre biodiversidad, cultura y bienestar humano en los bosques andinos del norte ecuatoriano (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).

2.6. PRINCIPALES AMENAZAS A LOS BOSQUES ANDINOS

Los bosques andinos en las laderas interiores de los Andes, en las provincias de Imbabura y Carchi, a pesar de su valor ecológico, social y cultural, enfrentan amenazas crecientes que ponen en riesgo su integridad y la continuidad de los servicios ecosistémicos que proporcionan. Comprender estas presiones es fundamental para diseñar estrategias de conservación efectivas y asumir la responsabilidad colectiva de proteger estos ecosistemas. Las principales amenazas pueden agruparse en cuatro categorías: deforestación y cambio de uso de suelo, expansión urbana e infraestructura, actividades extractivas y degradación ambiental por cambio climático.

2.6.1. Deforestación y cambio de uso de suelo

La tala de árboles y la conversión de bosques a tierras agrícolas o pastizales constituyen una de las amenazas más directas y visibles. La presión sobre los bosques ha aumentado debido a la expansión de la frontera agrícola y a la necesidad de generar ingresos a través de la producción de cultivos comerciales y de subsistencia (Jorgensen y León, 1999; Bussmann, 2005). La creación de parcelas agrícolas en zonas de pendiente pronunciada, sin prácticas adecuadas de conservación de suelos, no solo elimina la cobertura forestal, sino que incrementa la erosión (Villalba Alemán, 2020) y reduce la capacidad del terreno para retener agua (Figura 2.27).



Figura 2.27. Cambio de uso de suelo y expansión de la frontera agrícola en zonas andinas. Izquierda: infraestructura para piscicultura en áreas de páramo, en El Ángel, provincia del Carchi, lo que representa una transformación del ecosistema natural. Derecha: zonas de cultivo establecidas en la cima de montañas en la comunidad de Añaspamba, provincia de Imbabura, evidenciando la presión agrícola sobre áreas ecológicamente frágiles. Estas actividades reflejan los desafíos del manejo sostenible del territorio y sus impactos sobre la biodiversidad, los suelos y los recursos hídricos.

La ganadería extensiva, especialmente en zonas montañosas, también contribuye a la degradación. El pastoreo constante impide la regeneración natural de árboles y arbustos, compacta los suelos y altera la composición de especies vegetales. Este tipo de cambio de uso de suelo fragmenta los ecosistemas, disminuye la conectividad ecológica y pone en riesgo la supervivencia de especies endémicas que dependen de hábitats continuos (Delgado y Suárez-Duque, 2009).

2.6.2. Expansión urbana e infraestructura

El crecimiento de ciudades como Ibarra y Tulcán, capitales provinciales de Imbabura y Carchi, respetivamente, junto con las cabeceras cantonales, han generado la necesidad de una red vial creciente, así como otras infraestructuras, que han incrementado la presión sobre los bosques y remanentes boscosos. La urbanización implica la eliminación de áreas verdes, el drenaje de humedales y la modificación de cursos de agua, lo que impacta directamente sobre los procesos ecológicos (Curipoma Heredia, 2015). Además, la expansión urbana facilita el acceso a zonas previamente aisladas, aumentando la tala ilegal y la caza furtiva, y generando un efecto de borde que altera la microfauna y microflora de los bosques adyacentes.



Figura 2.28. Presiones antrópicas sobre los bosques andinos. Izquierda: establecimiento de un complejo recreativo en remanentes de bosque andino del cantón Otavalo, que podría implicar la fragmentación del hábitat y alteración del paisaje natural. Derecha: expansión urbana de la ciudad de Ibarra hacia las faldas del volcán Imbabura, aumentando la presión sobre ecosistemas naturales y generando riesgos para la sostenibilidad ambiental y la planificación territorial.

La construcción de carreteras y caminos secundarios, si bien es una necesidad para impulsar el desarrollo económico y mejorar la conectividad entre comunidades, representa uno de los principales factores de fragmentación del paisaje natural (García *et al.*, 2021). Estas infraestructuras generan corredores lineales que dividen los bosques andinos en parches aislados, lo que afecta la continuidad ecológica y limita el movimiento de la fauna silvestre. Como consecuencia, muchas especies ven interrumpidas sus rutas de migración, reproducción y búsqueda de alimento, lo que

puede provocar disminución de poblaciones y pérdida de diversidad genética a largo plazo (Figura 2.28).

Además, la fragmentación del hábitat reduce la capacidad de dispersión de semillas y el intercambio genético entre poblaciones vegetales, comprometiendo la regeneración natural del bosque. Las áreas abiertas creadas por caminos facilitan, a su vez, la entrada de especies exóticas o invasoras, alterando los equilibrios ecológicos y desplazando a especies nativas. Esta situación se agrava con el aumento de actividades humanas asociadas a las vías, como la deforestación, la cacería y la expansión agrícola no planificada. Por ello, es fundamental que la planificación y ejecución de proyectos viales incorporen criterios de sostenibilidad ambiental, tales como la implementación de pasos de fauna, la revegetación de taludes y la conservación de corredores biológicos, con el fin de armonizar el desarrollo económico con la protección de los ecosistemas andinos.

2.6.3. Actividades extractivas

La minería artesanal y a pequeña escala, así como la extracción de piedra, arena y otros materiales, representan amenazas significativas en algunas zonas de estas provincias. Estas actividades implican remoción de suelos, contaminación de cursos de agua y pérdida de vegetación. En paralelo, la tala comercial de especies valiosas de madera, aunque regulada, se realiza muchas veces sin controles estrictos, lo que provoca sobreexplotación y pérdida de ejemplares maduros que cumplen funciones esenciales de sombra, protección del suelo y reproducción de especies. Los impactos de la extracción no se limitan al sitio mismo, sino que se extienden a ecosistemas circundantes (Curipoma Heredia, 2015). La acumulación de sedimentos en ríos y quebradas, la interrupción de flujos de agua y la alteración de microhábitats afectan tanto a especies acuáticas como terrestres, y disminuyen la capacidad del bosque para mantener sus servicios ecosistémicos estratégicos, como la regulación hídrica y climática (Guamantaqui y Castillo, 2021).

2.6.4. Cambio climático y degradación ambiental

El cambio climático actúa como un amplificador de las amenazas existentes. Los bosques andinos se ven afectados por variaciones en la temperatura, cambios en los patrones de precipitación, sequías prolongadas y lluvias más intensas que provocan deslizamientos. La alteración de los ciclos naturales afecta la fenología de plantas y animales, altera la disponibilidad de recursos y dificulta la regeneración natural de los bosques.

En las provincias de Imbabura y Carchi, diversos estudios han evidenciado cambios significativos en la cobertura vegetal y desplazamientos altitudinales de especies como resultado del calentamiento progresivo asociado al cambio climático. Este fenómeno se refleja en la modificación de los pisos ecológicos, donde especies propias de zonas templadas ascienden hacia mayores altitudes en busca de condiciones ambientales más favorables, mientras que aquellas adaptadas a

climas fríos y húmedos, como muchas orquídeas altoandinas o el emblemático frailejón (*Espeletia pycnophylla*), ven restringido su hábitat natural.

La reducción de hábitats óptimos y la fragmentación de los bosques montanos generan una presión considerable sobre especies endémicas y de distribución limitada (Neill, 1999), tales como las orquídeas del género *Epidendrum* y *Masdevallia*, que dependen de microclimas muy específicos para su desarrollo. Al mismo tiempo, el aumento de la temperatura y la alteración del régimen de lluvias favorecen la proliferación de plagas, hongos y enfermedades que afectan tanto a las plantas silvestres como a los cultivos locales. Esta situación altera los equilibrios ecológicos y amenaza la estabilidad de los ecosistemas andinos.

Los efectos del cambio climático no se limitan a la flora. Fauna característica como el tapir andino (*Tapirus pinchaque*), el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y diversas especies de aves nectarívoras, esenciales para la polinización de las orquídeas, también se ven afectadas por la pérdida de corredores biológicos y la reducción de fuentes de alimento. La disminución de estas interacciones ecológicas impacta directamente la regeneración natural de los bosques y la continuidad de los ciclos biológicos.

En el plano social, estas transformaciones ambientales incrementan la vulnerabilidad de las comunidades rurales que dependen de los bosques andinos para la provisión de agua, alimentos, leña y protección frente a desastres naturales (Bussmann, 2005). La degradación de los ecosistemas reduce la disponibilidad de recursos hídricos, compromete la agricultura de subsistencia y pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población.

Ante este panorama, se hace indispensable fortalecer las estrategias locales de conservación y adaptación climática, integrando el conocimiento científico con los saberes tradicionales. La restauración ecológica, el manejo sostenible de los recursos naturales y la educación ambiental constituyen herramientas fundamentales para mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la resiliencia de los ecosistemas andinos y sus comunidades.

2.6.5. Amenazas combinadas y efecto sinérgico

Una característica preocupante de estas amenazas es su interdependencia y efecto sinérgico. Por ejemplo, la deforestación combinada con la ganadería extensiva no solo reduce la cobertura arbórea, sino que también incrementa la erosión y disminuye la capacidad del bosque para regular el agua. La expansión urbana, cuando se suma a la minería y al cambio climático, puede generar degradación irreversible de ecosistemas frágiles, provocando pérdida de biodiversidad y disminución de servicios ecosistémicos críticos (Beltrán *et al.*, 2009).

Otro efecto sinérgico se observa en la fragmentación de hábitats. Cuando la tala, la construcción de caminos y la expansión agrícola ocurren simultáneamente, se crean parches de bosque aislados que limitan la movilidad de fauna, reducen la polinización y dispersión de semillas,

y aumentan la exposición a especies invasoras. Esta combinación de factores hace que los bosques sean más vulnerables a perturbaciones naturales y antropogénicas.

La pérdida de los bosques andinos no afecta únicamente al medio ambiente; tiene consecuencias directas para la vida humana (Curipoma Heredia, 2015). La disminución de la cobertura forestal reduce la disponibilidad de agua para consumo y riego, aumenta la exposición a desastres naturales, debilita la agricultura de subsistencia y comercial, y limita los ingresos provenientes de turismo y productos forestales. A nivel social, también se ve afectada la transmisión de conocimientos ancestrales, la cohesión comunitaria y la relación cultural con la naturaleza. En un contexto más amplio, la degradación de estos ecosistemas afecta la resiliencia de la región frente al cambio climático (Murcia *et al.*, 2017). La capacidad de amortiguar sequías, regular temperaturas, almacenar carbono y proteger suelos se ve disminuida, con impactos que pueden extenderse a provincias vecinas y al equilibrio ambiental del norte de los Andes ecuatorianos (Figura 2.29).



Figura 2.29. Amenazas y efectos sinérgicos que afectan a los bosques andinos. Izquierda: incendio forestal en las laderas del volcán Imbabura (octubre de 2023), evento que contribuye a la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y aumento del riesgo de erosión. Derecha: remanente de vegetación riparia a lo largo del río Tahuando, en el cantón Ibarra, donde se observa la presencia de especies introducidas como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), que altera la composición florística nativa y afecta el equilibrio ecológico de los ecosistemas ribereños.

Es así como, comprender las amenazas que enfrentan los bosques andinos es crucial para valorar su importancia y planificar acciones de conservación efectivas. La presión combinada de actividades humanas y fenómenos climáticos demuestra que estos ecosistemas son frágiles y que

su protección no puede posponerse. Cada árbol perdido, cada ladera degradada y cada fragmento de bosque aislado representa un riesgo para la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.

2.7. LA NECESIDAD DE SU CONSERVACIÓN

La conservación de los bosques andinos de Carchi e Imbabura no es un tema meramente ambiental, sino un imperativo ético, social, económico y cultural. La magnitud de los beneficios que estos ecosistemas proporcionan, junto con las amenazas que enfrentan, hace evidente que protegerlos no es opcional, sino una responsabilidad colectiva de toda la sociedad (Murcia *et al.*, 2017). Esta sección aborda las razones fundamentales por las que debemos cuidar estos bosques y las estrategias que pueden garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

2.7.1. Conservación como deber ético

Desde una perspectiva ética, los bosques andinos representan un patrimonio común de la humanidad y, en particular, de las comunidades locales. Cuidarlos implica reconocer que no tenemos derecho a degradar un recurso que sustenta la vida, la cultura y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. La ética ambiental sostiene que los seres humanos somos parte de la naturaleza, no sus dueños absolutos, y que nuestra acción tiene consecuencias directas sobre otros seres vivos y sobre nosotros mismos. La deforestación, la contaminación y la fragmentación de hábitats representan una violación a este principio, pues comprometen la posibilidad de que futuras generaciones disfruten de los mismos beneficios que hoy nos brindan estos ecosistemas.

La ética también se extiende a la protección de la biodiversidad. Cada especie de flora y fauna cumple funciones esenciales en el equilibrio de los ecosistemas. La pérdida de un árbol, un ave o un mamífero no solo disminuye la riqueza natural, sino que altera procesos vitales como la polinización, la dispersión de semillas, la regulación hídrica y la fertilidad del suelo. La conservación es, por lo tanto, un acto de responsabilidad hacia la vida en todas sus formas (Delgado y Suárez-Duque, 2009).

2.7.2. Protección de los servicios ecosistémicos

La conservación de los bosques andinos es crucial para garantizar los servicios ecosistémicos estratégicos que sostienen la vida humana y la economía local. La regulación hídrica, por ejemplo, depende directamente de la cobertura forestal. Los ríos y quebradas que abastecen de agua a las comunidades urbanas y rurales mantienen su caudal gracias a la infiltración de agua en suelos forestales y a la retención de humedad en la vegetación. Sin bosques, las fuentes de agua se vuelven intermitentes, la calidad del agua disminuye y aumenta la vulnerabilidad frente a sequías e inundaciones (Jorgensen y León, 1999; Tejedor Garavito, 2012).

Asimismo, la captura de carbono y la regulación climática dependen de la salud de estos ecosistemas. La deforestación libera grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global y alterando patrones climáticos que afectan la agricultura y la vida cotidiana. Mantener los bosques en buen estado asegura que sigan cumpliendo su función como sumideros de carbono, mitigando los efectos del cambio climático y fortaleciendo la resiliencia de las comunidades.

Los bosques también protegen los suelos de la erosión y la degradación (Cleef, 2013). En un territorio montañoso como Carchi e Imbabura, la pérdida de cobertura vegetal incrementa la probabilidad de deslizamientos, pérdida de fertilidad y sedimentación de ríos, lo que afecta la producción agrícola, la infraestructura y la seguridad de las personas. La conservación del bosque no solo mantiene la integridad del paisaje, sino que protege la vida y los medios de subsistencia de quienes habitan estas zonas (Murcia *et al.*, 2017).

2.7.3. Conservación y bienestar social

El vínculo entre conservación y bienestar social es innegable. Los bosques andinos sustentan prácticas agrícolas tradicionales, provisión de alimentos, plantas medicinales y recursos para artesanías. Su desaparición pondría en riesgo la seguridad alimentaria, el acceso a medicinas naturales y las economías locales basadas en productos forestales y turismo comunitario. Además, la conservación refuerza la cohesión social. Las prácticas colectivas de cuidado del bosque, como la reforestación y las mingas comunitarias, fortalecen los lazos entre vecinos, fomentan la cooperación y consolidan la identidad cultural. Estos espacios también funcionan como aulas naturales, donde jóvenes y niños aprenden sobre biodiversidad, manejo sostenible y valores ambientales, promoviendo una cultura de respeto hacia la naturaleza que perdurará en el tiempo.

La relación entre cultura y conservación es profunda. Los bosques andinos son lugares de memoria, espiritualidad y saberes ancestrales. Para las comunidades *kichwas*, las montañas y bosques son sagrados, y los rituales de agradecimiento a la Pachamama refuerzan la conexión entre los seres humanos y la naturaleza. La pérdida de estos ecosistemas significaría la erosión de prácticas culturales, conocimientos medicinales y tradiciones que han sido transmitidas por generaciones (Bussmann, 2005; Murcia *et al.*, 2017). Conservar los bosques es, por tanto, preservar la identidad y la historia de las comunidades locales.

2.7.4. Estrategias de conservación

La conservación efectiva de los bosques andinos requiere un enfoque integral que articule políticas públicas, participación comunitaria, educación ambiental y manejo sostenible de los recursos naturales. Estos ecosistemas, caracterizados por su alta diversidad biológica y endemismo, albergan especies únicas como orquídeas, frailejones (*Espeletia pycnophylla*) (Figura 2.30), tapir andino y aves nativas y endémicas, cuya supervivencia depende de la integridad de los hábitats.

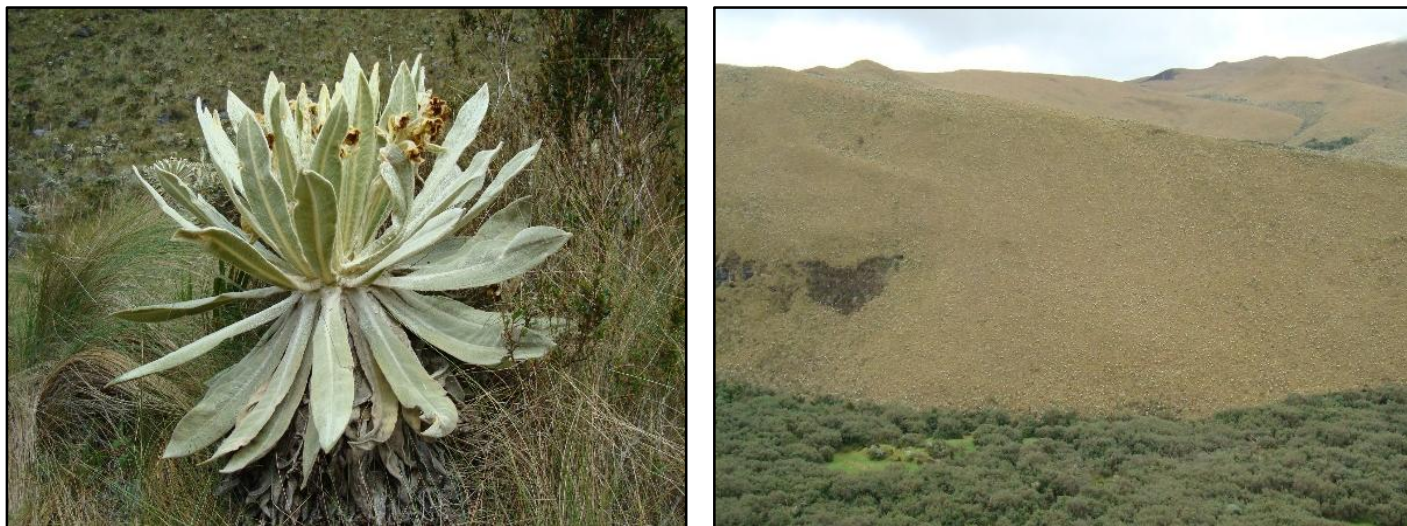


Figura 2.30. Frailejón (*Espeletia pycnophylla*) en su hábitat natural. A la derecha, se observa una panorámica del ecosistema de páramo en la Reserva Ecológica El Ángel, provincia del Carchi, donde esta especie actúa como componente dominante de la vegetación. El frailejón cumple un papel clave en la regulación hídrica y en la adaptación a condiciones climáticas extremas, siendo representativo de los páramos andinos del norte del Ecuador.

La pérdida de cobertura forestal y los desplazamientos altitudinales de especies, documentados en estudios recientes en Imbabura y Carchi, evidencian la vulnerabilidad de estos ecosistemas frente al cambio climático, con efectos que incluyen la disminución de microhábitats, la reducción de servicios ecosistémicos y la exposición a plagas y enfermedades emergentes.

La protección legal y las políticas públicas constituyen la primera línea de defensa para garantizar la conservación. La creación y fortalecimiento de áreas protegidas, reservas ecológicas y corredores biológicos es fundamental para asegurar la conectividad de los ecosistemas y la protección de especies endémicas. Sin embargo, la eficacia de estas medidas depende de una fiscalización rigurosa, del diseño de incentivos económicos que promuevan el uso sostenible de los recursos y de la articulación entre entidades gubernamentales, organizaciones ambientales y comunidades locales (Delgado y Suárez-Duque, 2009). Programas de pago por servicios ecosistémicos y certificaciones de productos forestales sostenibles son ejemplos de mecanismos que pueden reducir la presión sobre los bosques, mientras fomentan la conservación participativa.

La restauración ecológica juega un papel estratégico en la recuperación de áreas degradadas, que en los Andes ecuatorianos representan entre el 20 y 30 % de la cobertura forestal original en algunas provincias. La reforestación con especies nativas, como *Polylepis* en páramos altoandinos, así como con *Cedrela montana* (cedros), *Alnus acuminata* (alisos), *Vallea stipularis* (palo de rosa), *Buddleja incana* (qushuar), entre otras, permite recuperar la estructura vegetal, los suelos degradados y las funciones de las cuencas hidrográficas (Figura 2.31). Además, la restauración

ecológica contribuye a la mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono y al mantenimiento de corredores para especies faunísticas emblemática, como los ya mencionados tapires andino y osos de anteojos, esenciales para la dispersión de semillas y la regeneración natural de los bosques (Tejedor Garavito, 2012).



Figura 2.31. Especies arbóreas representativas de los bosques andinos del norte de Ecuador. Izquierda: Palo de rosa (*Vallea stipularis*), árbol nativo de follaje denso y floración llamativa, que cumple funciones ecológicas clave en la conservación del suelo y el equilibrio del ecosistema. Derecha: Cedro andino (*Cedrela montana*), especie de gran valor ecológico y maderable, actualmente en declive por la sobreexplotación, pero fundamental para los procesos de sucesión forestal y restauración ecológica.

La educación y sensibilización ambiental constituye otro pilar fundamental. Involucrar a comunidades, escuelas y universidades en programas educativos, talleres de identificación botánica, propagación de especies nativas y ecoturismo ambiental permite fortalecer la conciencia sobre la importancia de los bosques andinos. La formación ambiental promueve actitudes responsables, incentiva la participación en actividades de conservación y facilita la transferencia de conocimientos tradicionales, que a menudo incluyen prácticas sostenibles de manejo del suelo, agua y recursos forestales (Murcia *et al.*, 2017).

El manejo sostenible de los recursos naturales representa una estrategia clave para conciliar conservación y desarrollo socioeconómico. La promoción de sistemas agroforestales, la diversificación de cultivos y el uso de técnicas agrícolas de baja presión sobre los bosques contribuyen a reducir la deforestación. La integración de conocimientos ancestrales y tecnología moderna, como el uso de viveros comunitarios para la propagación de especies nativas y sistemas de riego eficientes, permite aumentar la productividad sin comprometer la integridad de los ecosistemas. Además, la certificación de productos forestales y agrícolas bajo criterios sostenibles garantiza la trazabilidad y agrega valor económico a las prácticas responsables.

Definitivamente, la participación comunitaria es esencial para el éxito de cualquier estrategia de conservación. Reconocer a las comunidades locales como guardianes del bosque y otorgarles protagonismo en la planificación, ejecución y monitoreo de proyectos asegura un compromiso genuino con la preservación del patrimonio natural. Iniciativas de conservación lideradas por comunidades han demostrado ser efectivas en la protección de especies endémicas y en la recuperación de áreas degradadas, al tiempo que generan beneficios socioeconómicos y fortalecen la identidad cultural (Cleef, 2013).

En conjunto, la integración de protección legal, restauración ecológica, educación ambiental, manejo sostenible y participación comunitaria permite enfrentar los desafíos que amenazan a los bosques andinos. Solo mediante un enfoque holístico y participativo será posible garantizar que estos ecosistemas continúen ofreciendo servicios ecosistémicos esenciales, refugio para especies emblemáticas y oportunidades de desarrollo sostenible para las comunidades locales, asegurando su resiliencia frente a las presiones del cambio climático y la actividad humana.

2.7.5. Beneficios de la conservación

La protección de los bosques andinos es esencial para garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos que sostienen la vida de las comunidades locales y la estabilidad de los ecosistemas (Bussmann, 2005; Murcia *et al.*, 2017). Estos bosques desempeñan un papel fundamental en la regulación hídrica, almacenando y filtrando agua que alimenta ríos y quebradas, y asegurando el suministro para consumo humano, riego agrícola y generación de energía hidroeléctrica. Además, la cobertura vegetal reduce la erosión de suelos y ayuda a estabilizar laderas, disminuyendo el riesgo de deslizamientos e inundaciones, especialmente en zonas de alta pendiente. Mantener la integridad

de los bosques permite que estas especies cumplan funciones ecológicas clave, como la polinización, dispersión de semillas y control de insectos, fortaleciendo la resiliencia de todo el ecosistema frente a cambios ambientales y alteraciones humanas.

La conservación forestal también protege la cultura y los medios de vida locales. Comunidades rurales e indígenas recurren a los bosques para recolectar plantas medicinales, frutos nativos, madera de uso doméstico y fibras vegetales para artesanías. La preservación de estos recursos asegura que las generaciones futuras puedan mantener sus prácticas culturales tradicionales, disfrutar de paisajes andinos y mantener un vínculo directo con la naturaleza que forma parte de su identidad (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).

Desde el punto de vista económico, la inversión en conservación genera beneficios tangibles y sostenibles. El ecoturismo comunitario, enfocado en la observación de aves como el colibrí coronigualdo (*Heliodoxa rubinoides*), la fotografía de flora y fauna endémica, y la participación en rutas interpretativas de bosques y páramos, constituye una fuente de ingresos directa para las comunidades locales. La promoción de agricultura orgánica, cultivos integrados y sistemas agroforestales permite producir alimentos de alta calidad de manera sostenible, mientras que el aprovechamiento responsable de recursos forestales, como la recolección de frutos nativos o plantas ornamentales bajo certificación, garantiza ingresos sin comprometer la biodiversidad.

En conjunto, la protección de los bosques andinos asegura la resiliencia frente al cambio climático, mitigando los efectos de sequías, inundaciones y deslizamientos, al mismo tiempo que garantiza agua, alimentos, paisajes y experiencias culturales de alta calidad para las generaciones presentes y futuras. La integración de conservación, desarrollo sostenible y participación comunitaria permite un equilibrio entre bienestar social, beneficios económicos y preservación ecológica, demostrando que la protección ambiental no solo es una necesidad ecológica, sino también una inversión estratégica en desarrollo humano y resiliencia frente a desafíos climáticos.

2.8. REFLEXIONES FINALES

Los bosques andinos de las provincias del norte de los Andes ecuatorianos, Carchi e Imbabura, representan sistemas integrales donde los valores ecológicos, culturales y sociales se entrelazan de manera inseparable. Su conservación no solo asegura la continuidad de los ecosistemas y la protección de la biodiversidad, sino que también mantiene los servicios ambientales esenciales para las comunidades locales. Esto demuestra que preservar la naturaleza implica, al mismo tiempo, salvaguardar el bienestar humano y fortalecer la resiliencia frente a desafíos ambientales crecientes.

La riqueza biológica y el alto grado de endemismo de estos bosques subrayan la necesidad de proteger especies únicas, desde plantas medicinales y orquídeas nativas hasta aves y mamíferos característicos de la región. Garantizar la presencia de estas especies es fundamental para mantener los procesos ecológicos vitales, como la polinización, la dispersión de semillas, la regulación hídrica

y la estabilidad del suelo, todos ellos esenciales para la funcionalidad y sostenibilidad de los ecosistemas andinos.

Los bosques andinos también constituyen un patrimonio cultural y social que sustenta conocimientos ancestrales, prácticas agrícolas tradicionales y modos de vida comunitarios. La participación de las comunidades en la gestión y conservación fortalece la identidad cultural, promueve la transferencia de saberes y asegura que los recursos naturales continúen beneficiando a las generaciones presentes y futuras.

Asimismo, la conservación ofrece oportunidades para el desarrollo económico sostenible. Actividades como el ecoturismo, la agricultura orgánica y el aprovechamiento responsable de recursos forestales permiten generar ingresos y mejorar la calidad de vida local sin comprometer la integridad ecológica, demostrando que la protección ambiental y el progreso económico pueden coexistir, pese a las amenazas derivadas de la deforestación, la expansión agrícola y urbana y el cambio climático.

Alcanzar una conservación efectiva y garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos de los bosques andinos requiere un enfoque que combine coherencia normativa, educación ambiental y participación comunitaria. Las políticas públicas deben ofrecer marcos legales claros, incentivos que promuevan el uso sostenible de los recursos y mecanismos de supervisión eficientes, mientras que la educación ambiental fortalece la conciencia sobre la importancia de la biodiversidad y fomenta prácticas responsables que se traduzcan en acciones concretas de cuidado.

De igual manera, la participación de las comunidades locales, reconocidas como guardianes del bosque, resulta indispensable para integrar sus conocimientos ancestrales y experiencias prácticas en la planificación, ejecución y seguimiento de los proyectos de conservación. Solo mediante la armonización de estos elementos en un enfoque holístico y multidimensional se puede reforzar la resiliencia de estos ecosistemas milenarios, frágiles y únicos, asegurando que continúen ofreciendo los servicios vitales que sostienen la vida, preservan la cultura y mantienen los equilibrios ecológicos de las provincias andinas.

2.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Mendoza, Z., Aguirre Mendoza, N., y Muñoz Ch, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 523-542.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., ... y Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador.
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista peruana de Biología*, 12(2), 203-216.
- Chuquimaco, I. H. (2017). Diversidad y Biomasa Arbórea en los Bosques Andinos del Santuario Nacional del Ampay, Apurímac-Perú. *Q'EUÑA*, 8(1), 7-26.

- Cleef, A. M. (2013). Origen, evolución, estructura y diversidad biológica de la alta montaña colombiana. Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: Memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos, 3-21.
- Curipoma Heredia, S. G. (2015). Ecología forestal de dos remanentes de Bosque Andino Montano Alto en el Volcán Ilaló, Pichincha, Ecuador (*Bachelor's thesis*, Pontificia Universidad Católica del Ecuador-PUCE).
- Delgado, T., y Suárez-Duque, D. (2009). Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria reserva ecológica El Ángel-Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología aplicada*, 8(1-2), 27-36.
- Franco, W., Peñafiel, M., Cerón, C., y Freire, E. (2016). Biodiversidad productiva y asociada en el Valle Interandino Norte del Ecuador. *Bioagro*, 28(3), 181-192.
- Franco, W. (2016). Propuestas para la innovación en los sistemas agroproductivos y el desarrollo sostenible del Valle Interandino en Carchi, Ecuador. *Tierra Infinita*, 2(1), 49-87.
- García, M. T. E., Mendoza, Z. A., y Tamayo, J. P. (2021). Diversidad florística, endemismo y estado de conservación de los componentes arbustivo y herbáceo de un bosque andino en el sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 83-96.
- Guamantaqui, D. A. V., y Castillo, D. D. E. (2021). Estructura y Diversidad de Especies Arbóreas del Bosque Siempreverde Montano Alto del Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Dominio de las ciencias*, 7(6), 1406-1430.
- Jørgensen, PM y León-Yáñez, S. (eds.). 1999. Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador. Monogr. Sistema. Bot. Bot de Misuri. Gard. 75: i-viii, 1-1182.
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Peralvo, M., y Gálmez, V. (2017). La restauración de bosques andinos tropicales. *Documentos Ocasionales*, 170(4).
- Neill, DA. 1999. Geografía, pp. 2-5. En: PM Jørgensen y León-Yáñez, S. (eds.). Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador. Monogr. Sistema. Bot. Bot de Misuri. Gard. 75.
- Pinto, E., Pérez, Á. J., Ulloa, C. U., y Cuesta, F. (2018). Árboles representativos de los bosques montanos del noroccidente de Pichincha, Ecuador. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina--CONDESAN.
- Pupiales, P. (2024). Educación ambiental para el manejo de la especie *Styloceras laurifolium* ("Naranja") en la comunidad de Naranjito, Imbabura. Tesis de Maestría en Educación con mención en Educación Ambiental. UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16025>
- Tejedor Garavito, N. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales.
- Villalba Alemán, J. A. (2020). Comparación de la diversidad funcional de las comunidades vegetales y la calidad del suelo entre un bosque conservado y uno sucesional en ecosistemas secos interandinos, Pichincha, Ecuador.

CAPÍTULO 3

EXPERIENCIAS EN EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS SUELO Y AGUA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria vesca*) Y PEPINILLO (*Cucumis sativus*)

EXPERIENCIAS EN EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS SUELO Y AGUA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria vesca*) Y PEPINILLO (*Cucumis sativus*)

Juan Pablo Aragón Suarez¹

¹Universidad Técnica del Norte (UTN), Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA)

Resumen

El presente capítulo analiza experiencias en el manejo sostenible de los recursos suelo y agua en sistemas productivos de fresa (*Fragaria vesca*) y pepinillo (*Cucumis sativus*) en la parroquia Imantag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, Ecuador. El estudio se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2, 6 y 12) y busca generar criterios técnicos para fortalecer la sostenibilidad agroecológica en agroecosistemas andinos. Se empleó un Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad con metodologías participativas, encuestas a productores, observación de campo y análisis de indicadores del marco complementado con la matriz de Leopold para evaluar impactos ambientales. Los resultados evidencian una marcada presión sobre los recursos hídricos por uso intensivo de agroquímicos y prácticas de riego poco eficientes, especialmente en el cultivo de pepinillo, mientras que los sistemas de fresa presentan avances en manejo de coberturas y aprovechamiento de residuos orgánicos. Se identificaron debilidades en la rotación de cultivos y fertilización racional, así como limitaciones en la asistencia técnica. La evaluación integral permitió priorizar prácticas sostenibles con alta viabilidad económica y ambiental, tales como el compostaje, biofertilizantes y tecnologías de riego por goteo. Se concluye que la articulación entre productores, Gobiernos Autónomos Descentralizados locales, Ministerio de Agricultura y la Universidad Técnica del Norte es esencial para escalar las buenas prácticas y generar modelos replicables en otros territorios andinos, reforzando la resiliencia agroecológica y la seguridad alimentaria local.

3.1. INTRODUCCIÓN

El manejo sostenible de los recursos suelo y agua constituye un eje fundamental para garantizar la productividad agrícola y la conservación ambiental. En sistemas de producción el uso intensivo de agroquímicos, la demanda hídrica elevada y la degradación del suelo representan desafíos críticos que comprometen la sostenibilidad. La implementación de prácticas agroecológicas, tecnologías de riego eficiente y estrategias de conservación del suelo permiten equilibrar el rendimiento económico con la protección de los recursos naturales. Estas experiencias aportan evidencia sobre la necesidad de modelos productivos resilientes, capaces de responder a la creciente demanda alimentaria y a las presiones ambientales.

El suelo y el agua constituyen pilares estratégicos de la producción de alimentos y del equilibrio ecológico; sin embargo, la intensificación agrícola, el uso inadecuado de agroquímicos, la expansión de la frontera agrícola y la intervención en ecosistemas altoandinos han acelerado procesos de degradación que comprometen la sostenibilidad de los agroecosistemas. En la parroquia de González Suárez (cantón Otavalo), los diagnósticos locales advierten un deterioro progresivo del suelo y contaminación del recurso hídrico asociada a prácticas agrícolas y a presiones sobre los páramos que regulan el ciclo hidrológico (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia González Suárez, 2015, pp. 9, 12). A esta situación se suma la ausencia de sistemas de riego y la afectación de vertientes por fumigaciones, lo que acentúa la escasez de agua para la producción. La problemática es consistente con alertas globales: la UNESCO (2024) estima que hasta el 90 % de las tierras emergidas podrían degradarse hacia 2050; la FAO (2025), en su informe *Tracking progress on food and agriculture-related SDG indicators 2025*, advierte que el sector agrícola continúa utilizando cerca del 70 % del agua dulce disponible a nivel mundial y que la gestión ineficiente de los recursos hídricos y del suelo compromete directamente el cumplimiento de los ODS 2, 6 y 12. Asimismo, el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos subraya que una gestión deficiente amenaza tanto la seguridad alimentaria como los ecosistemas (ONU, 2021). En Ecuador, CONDESAN (2024) señala que alrededor del 47 % del territorio presenta degradación de suelos por deforestación, cambio de uso y prácticas agropecuarias inadecuadas.

El estudio de caso en González Suárez focaliza a los agricultores de fresa (*Fragaria vesca*), como el tercer cultivo en importancia en el cantón Otavalo (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT] Gobierno Autónomo Descentralizado Otavalo, 2014), cuyas dinámicas productivas reflejan tensiones entre productividad y conservación. Complementariamente, en la parroquia Imantag (cantón Cotacachi), con marcada vocación agrícola y alta participación de la población en actividades agropecuarias, el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus*) destaca por su relevancia económica; sin embargo, la presión sobre suelo y agua por intensificación, cambio climático y baja adopción de prácticas sustentables genera degradación del suelo y disminución de calidad y disponibilidad hídrica (Aragón *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2024). A escala global, la erosión provoca pérdidas

cercanas a 36 mil millones de toneladas de suelo por año (Borrelli et al., 2017), y la alta demanda hídrica de la agricultura exige estrategias robustas de eficiencia y conservación (FAO, 2021).

La degradación del suelo se ha convertido en un problema estructural con consecuencias directas sobre la seguridad alimentaria, el ciclo del agua y la regulación climática. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) advierte que el 33% de los suelos del planeta están moderada o altamente degradados, lo que amenaza la capacidad de sostener la producción agrícola y la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático. Este deterioro es impulsado principalmente por la deforestación, el uso intensivo de agroquímicos, la expansión urbana y la sobreexplotación agrícola. Además, los suelos actúan como sumideros de carbono y reservorios de agua; su pérdida compromete el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vinculados a hambre cero, agua limpia y acción climática (UNESCO, 2023).

El Estado Mundial del Recurso Suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015) refuerza esta alarma, señalando que los suelos cumplen funciones vitales: proveer nutrientes a los cultivos, almacenar y filtrar agua, albergar biodiversidad y regular gases de efecto invernadero. Sin embargo, identifica amenazas críticas como la erosión, el desequilibrio de nutrientes, la compactación, la acidificación, la salinización y la contaminación química. La pérdida de carbono orgánico del suelo (COS) y de biodiversidad edáfica son particularmente graves, pues reducen la capacidad de los ecosistemas para sostener servicios esenciales.

El manejo sostenible del suelo exige integrar prácticas tradicionales y modernas que mantengan la fertilidad y reduzcan la degradación. En su revisión sistemática, Carranza *et al.* (2024) destacan técnicas como la rotación de cultivos, labranza mínima, uso de abonos orgánicos, coberturas vegetales y terrazas. Estas estrategias mejoran la estructura del suelo, aumentan la retención de nutrientes y agua, reducen la erosión y promueven la biodiversidad edáfica.

El enfoque integral combina conocimientos ancestrales como chacras hundidas o riego tradicional en terrazas con tecnologías modernas, incluyendo riego por goteo y bioinsumos, lo cual fortalece la resiliencia de los agroecosistemas. Estas prácticas no solo mantienen la productividad, sino que contribuyen a la mitigación del cambio climático al conservar carbono en el suelo y evitar emisiones por degradación.

Un punto crítico es la interdisciplinariedad: la conservación requiere articular biología, química del suelo, hidrología y ciencias sociales, ya que los factores de degradación responden tanto a dinámicas biofísicas como a presiones socioeconómicas. Carranza *et al.* (2024) subrayan que aproximadamente el 40% de las tierras agrícolas ya están afectadas por erosión y pérdida de nutrientes, lo que obliga a reforzar las políticas de restauración y a fomentar la capacitación comunitaria.

El Global Resources Outlook 2024 (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP], 2024) aporta la perspectiva macro: el consumo de recursos materiales se ha triplicado desde 1970 y continúa en aumento. Este uso intensivo impacta directamente al suelo y al agua, pues la expansión agrícola, la extracción minera y la urbanización son responsables de gran parte de la degradación ambiental. El informe enfatiza que los actuales patrones de producción y consumo son insostenibles y demandan un “cambio de tendencia” hacia economías circulares y bioeconomías regenerativas.

El documento introduce el concepto de “desacoplamiento absoluto”, es decir, lograr que el bienestar económico crezca mientras disminuye el uso de recursos naturales. Para ello, propone medidas como la eficiencia en el uso de materiales, la reducción del desperdicio alimentario y la promoción de sistemas agroalimentarios sostenibles. Además, destaca la necesidad de transiciones justas, que aseguren equidad social al implementar cambios estructurales en el manejo de recursos.

La presión sobre los suelos se vincula con la demanda global de biomasa y minerales, donde América Latina y África presentan una extracción creciente para exportación, con altos costos ambientales. En este sentido, la sostenibilidad del suelo debe entenderse como parte de un sistema más amplio de gestión integrada de recursos naturales, que incluya agua, biodiversidad y energía.

La evidencia recogida en estos informes converge en tres puntos esenciales:

- Crisis del suelo como amenaza global: Tanto UNESCO como FAO advierten que la degradación del suelo compromete la seguridad alimentaria y la estabilidad climática.
- Soluciones basadas en manejo sostenible: Las prácticas de conservación identificadas por Carranza *et al.* (2024) son fundamentales para detener la degradación, pero requieren adaptación a cada contexto edafoclimático.
- Necesidad de un cambio estructural: El Global Resources Outlook 2024 señala que el problema no se resolverá solo con prácticas agrícolas; se necesita transformar los patrones de consumo y producción globales para aliviar la presión sobre los recursos.

De este modo, el manejo sostenible del suelo y del agua no debe considerarse únicamente una estrategia agronómica, sino un componente central de la gobernanza ambiental global. Las políticas públicas deben integrar incentivos económicos, educación ambiental y cooperación internacional para fomentar un uso equitativo y sostenible de los recursos.

La rápida degradación del suelo representa una de las amenazas más serias para la sustentabilidad planetaria. Los informes analizados coinciden en que la degradación es resultado de presiones combinadas agricultura intensiva, deforestación, expansión urbana y cambio climático que deterioran la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios esenciales. Frente a ello, las soluciones deben ser integrales: prácticas de conservación de suelos adaptadas localmente, cambios estructurales en la economía global y una gobernanza participativa que incorpore a comunidades, gobiernos e instituciones internacionales.

Avanzar hacia una agricultura regenerativa, con apoyo de la ciencia y los saberes locales, será clave para restaurar la fertilidad, proteger el agua y reducir emisiones. Solo así se podrá garantizar la seguridad alimentaria, la resiliencia climática y la sostenibilidad de los recursos naturales en las próximas décadas.

El propósito de este capítulo es analizar cómo los agricultores gestionan los recursos suelo y agua, determinar las actividades de mayor incidencia, valorar los impactos generados y plantear prácticas de manejo alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente los ODS 2, 6 y 12 (FAO, 2017; ONU, 2021; UNESCO, 2024).

Basado en el contexto global de degradación ambiental y cambio climático, a continuación, se aborda la situación local en los agroecosistemas del norte del Ecuador, destacando los desafíos específicos vinculados al manejo del suelo y del agua. Se plantea un análisis del sistema de producción en cultivos de fresa y pepinillo en dos comunidades de la provincia de Imbabura en Ecuador y su impacto en el manejo de recursos.

3.2. DESARROLLO

El manejo sustentable de los recursos naturales se entiende como un proceso coordinado entre actores públicos, privados y comunitarios, que combina conocimiento ecológico y prácticas de gestión orientadas a conservar la base biofísica y garantizar el bienestar social y económico (Lifeder, 2022; Environmental Waikato Regional Council, s.f.). Este enfoque se enmarca en el concepto de desarrollo sostenible, cuyo principio fundamental es satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de generaciones futuras, integrando dimensiones ambientales, sociales y económicas (Brundtland, 1987; Sullivan, 2003; Mondal y Palit, 2022).

En relación con el recurso hídrico, la agricultura constituye el principal usuario a nivel global, con un consumo aproximado del 70 % del agua dulce disponible (FAO, 2017; FAO, 2021; CONAGUA, 2018). En Ecuador, a pesar de la elevada disponibilidad per cápita, las variaciones espacio-temporales, la presión sobre los páramos y la ineficiencia en los sistemas de riego generan escenarios recurrentes de escasez (Ministerio de Agricultura y Ganadería, s.f.; Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia González Suárez, 2015). Adicionalmente, la intensificación agrícola provoca mayor carga de sedimentos en cuencas y favorece la eutrofización por escorrentía de nutrientes y plaguicidas Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], s.f.; Shepherd et al., 2016).

El suelo, componente esencial de los ecosistemas terrestres, constituye soporte de la vegetación y reservorio de nutrientes (Jiao *et al.*, 2014). Las prácticas inadecuadas lo convierten en sumidero de contaminantes y aceleran procesos de erosión, compactación y pérdida de materia orgánica (Martínez-Mera *et al.*, 2019; FAO, 2018). En Ecuador, más del 27 % del territorio presenta desertificación, lo que evidencia su alta vulnerabilidad (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG],

s.f.). A nivel global, el cambio de uso del suelo y la intensificación productiva han agravado la erosión (Borrelli *et al.*, 2017).

Las actividades agrícolas impactan directamente sobre los ecosistemas. La sustitución de cobertura vegetal y la intensificación productiva conllevan degradación, pérdida de servicios ecosistémicos y, en casos extremos, cambios irreversibles (Bifani, 1999; Peña, 1999; Oesterheld, 2008). A escala local se observan deslizamientos, erosión de la capa arable, pérdida de humus y lixiviación de nutrientes, que derivan en eutrofización aguas abajo (Sandia et al., 1999; Seoáñez, 1998; Turk *et al.*, 1976). En la parroquia González Suárez, el monocultivo de fresa y el uso intensivo de insumos han generado deterioro del suelo y contaminación de fuentes hídricas (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales [FLACSO] Andes, 2020; González *et al.*, 2022). En Imantag, la intensificación del pepinillo plantea desafíos relacionados con la eficiencia hídrica y la fertilización (Aragón *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2024).

La transición hacia una agricultura sustentable implica articular interacciones entre suelo, agua, biodiversidad, clima y sociedad, con criterios de viabilidad ambiental, equidad social y rentabilidad económica (Brundtland, 1987; Sullivan, 2003). La agroecología se plantea como un marco para disminuir la dependencia de agroquímicos, fortalecer procesos ecológicos y conservar la biodiversidad (Scherber, 2022). De manera complementaria, la innovación en gestión hídrica eficiencia de riego, drenaje funcional y manejo de nitrógeno resulta clave para aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas (Hashemi et al., 2024; Shepherd et al., 2016). A nivel regional y global, la evidencia destaca la importancia de estrategias de conservación de suelos, como rotaciones, coberturas vegetales, labranza de conservación, terrazas y barreras vivas (Cornish y Pratley, 2019; Gómez-Calderón *et al.*, 2018).

Tabla 3.1. Escala de evaluación de sostenibilidad en los sistemas de manejo de recursos naturales en el cultivo de *Fragaria vesca* y *Cucumis sativus*. Imbabura-Ecuador, diciembre 2024.

Porcentaje de cumplimiento	Grado	Eficiencia del sistema	Definición
Valores de 81 a 100	5	Estable	Sustentable
Valores de 61 a 80	4	Pertinente	Moderadamente sustentable
Valores de 41 a 60	3	Sensible	Medianamente sustentable
Valores de 21 a 40	2	Débil	Escasamente sustentable
Valores de 0 a 20	1	En peligro	No sustentable

Fuente: Albarracín, Fonseca y López (2019). Escala valorativa de sostenibilidad en el proceso, 5 representa un manejo sustentable y 1 no sustentable. La tabla clasifica la sostenibilidad del manejo de recursos naturales mediante grados de eficiencia del sistema, relacionando porcentajes de cumplimiento con niveles desde sustentable hasta no sustentable.

Las herramientas de evaluación ambiental permiten medir la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. La matriz de Leopold constituye un método clásico para relacionar actividades con factores ambientales y valorar su magnitud e importancia (Leopold et al., 1971; Salvador et al., 2005; Islam et

al., 2023; Josimovic et al., 2014; Valizadeh y Hakimian, 2019). En paralelo, el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) facilita el diagnóstico integral mediante indicadores ambientales, sociales y económicos en un proceso cíclico y participativo (Masera *et al.*, 1999; Carreño, 2021). El uso complementario de ambas metodologías permite identificar impactos críticos y definir indicadores que orienten la gestión sustentable, tabla 3.1. De igual manera se presenta un diagrama general del procedimiento MESMIS, tabla 3.2., como una delineación general de metodología MESMIS implementada en esta investigación.

Tabla 3.2. Procedimiento para desarrollar la técnica Mesmis en los cultivos analizados en Imantag y González Suárez.
Inicio → Evaluación → Mejora continua → Retroalimentación

Nº	Etapas del Proceso MESMIS	Componentes principales	Resultados esperados
1	Delimitación del sistema y contexto	- Ámbito: unidades productivas de fresa y pepinillo (Imbabura). - Límites: parcela, junta de riego, entorno biofísico y mercado local. - Objetivo: mantener productividad con menor presión sobre suelo y agua (ODS 2, 6, 12).	Sistema definido con límites, actores y metas sostenibles.
2	Identificación de puntos críticos (Presión → Estado → Respuesta)	- Suelo: erosión, compactación, baja MO. - Agua: uso ineficiente, contaminación, mantenimiento irregular del riego. - Insumos: dependencia de agroquímicos. - Gestión: baja capacitación y gobernanza.	Puntos de vulnerabilidad priorizados y documentados.
3	Atributos de sustentabilidad y criterios de diagnóstico	- Productividad. - Estabilidad/Resiliencia. - Adaptabilidad. - Autodependencia. - Equidad.	Marco de evaluación integral ambiental, económica y social.
4	Selección de indicadores (con método y escala)	- Ambientales: E1 erosión, E2 MO, E3 riego, E4 lixiviación. - Económicos: EC1 rentabilidad, EC2 productividad. - Sociales: S1 organización, S2 capacitación.	Indicadores cuantificables y adaptados a la realidad local.
5	Normalización y valoración	- Conversión de cada indicador a escala 1-5. - Escala valorativa: 1=no sustentable, 5=sustentable.	Base para la comparación homogénea entre sistemas.
6	Integración y análisis	- Promedio por dimensión (ambiental/económica/social). - Comparativo fresa vs. pepinillo. - Identificación de trade-offs.	Evaluación integral de sustentabilidad del sistema.
7	Recomendaciones y retroalimentación	- Suelo: labranza mínima, coberturas, terrazas. - Agua: goteo eficiente, biofiltros, franjas riparias. - Insumos: MIP, bioinsumos. - Gestión: reglas claras, capacitación.	Plan de acción con prácticas sostenibles aplicables.
8	Plan de monitoreo (mínimo viable)	- Frecuencia: MO y agua (1x/año); riego y MIP por ciclo. - Responsables: productores, junta, UTN/GAD/MAG. - Productos: fichas, actas, dashboard.	Sistema de seguimiento operativo y verificable.
9	Cierre del ciclo (ajuste adaptativo)	- Recalcular indicadores. - Comparar con línea base. - Ajustar metas y priorizar brechas.	Mejora continua y sustentabilidad del sistema.

La tabla 3.2 describe el procedimiento MESMIS aplicado a sistemas agrícolas, destacando diagnóstico, selección de indicadores, valoración, análisis y retroalimentación para evaluar sostenibilidad ambiental, económica y social en fresa y pepinillo.

La información y datos obtenidos se obtuvo mediante metodologías para determinar impactos y propuestas de la mitigación de contaminación por las malas prácticas agrícolas en los cultivos analizados.

El estudio adoptó un diseño mixto (cuali-cuantitativo) para analizar dos casos en Imbabura: la parroquia González Suárez, con énfasis en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*), y la parroquia Imantag, centrada en el pepinillo (*Cucumis sativus*). González Suárez presenta una superficie de 50,18 km² y 7.434 habitantes (PDOT GAD Otavalo, 2014). Imantag abarca 22.765 ha con población predominantemente indígena, condiciones climáticas entre 4–16 °C, precipitaciones de 500–1500 mm y un 20 % de su territorio destinado a cultivos (INEC, 2022; Ilustre Municipio de Santa Ana de Cotacachi, 2014).

El levantamiento de información en González Suárez incluyó encuestas estructuradas de 15 preguntas y observación directa. En Imantag, se aplicaron 12 preguntas a diez productores de pepinillo, abordando uso de insumos, técnicas de cultivo y percepciones sobre suelo y agua (Fontela, 2017). La muestra se seleccionó considerando que el 44,61 % de la población depende de la agricultura y que el pepinillo es clave para la economía local (Aragón *et al.*, 2018).

La evaluación de impactos ambientales se efectuó mediante la matriz de Leopold, organizando componentes bióticos, abióticos y antrópicos. La ponderación de importancia se basó en extensión, duración y reversibilidad, y la magnitud en el alcance y gravedad. Esto permitió clasificar los impactos en categorías de baja, media y alta significancia (Orea, 2013; Islam *et al.*, 2023; Valizadeh y Hakimian, 2019; Josimovic *et al.*, 2014).

Para evaluar la sustentabilidad, se aplicó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) con seis etapas: definición del sistema, identificación de puntos críticos, selección de indicadores, monitoreo, integración y formulación de recomendaciones. Se priorizaron ocho indicadores: cuatro ecológicos (cobertura vegetal, erosión, eficiencia de riego y manejo de nutrientes), dos sociales (organización y capacitación) y dos económicos (costos y rentabilidad) (Maserá *et al.*, 1999; Carreño, 2021; Albarracín *et al.*, 2019).

La metodología se alineó con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular ODS 2, ODS 6 y ODS 12, e incorporó medidas como conservación de suelos, coberturas vegetales, labranza de conservación, barreras vivas, manejo integrado de plagas y prácticas de eficiencia hídrica (FAO, 2017; Shepherd *et al.*, 2016; Cornish y Pratley, 2019; Gómez-Calderón *et al.*, 2018). A nivel local, se identificó presión sobre páramos y vertientes en González Suárez (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia González Suárez, 2015) y dependencia del riego en Imantag (Ilustre Municipio de Santa Ana de Cotacachi, 2014).

Finalmente, se destacó la necesidad de marcos de gobernanza efectivos que promuevan normas, incentivos y la participación de actores locales, como gobiernos, productores y academia, para reducir brechas de conocimiento y fortalecer la gestión sustentable de los recursos suelo y agua (Chen *et al.*, 2023; Lifeder, 2022; Environmental Waikato Regional Council, s.f.).

Se presentan resultados del manejo de los cultivos de fresa y pepinillo analizados desde la sustentabilidad y perspectiva de los agricultores y evaluados con investigaciones de diferentes autores en otras latitudes.

El estudio presenta limitaciones inherentes a su alcance y diseño. La muestra considerada diez productores en la parroquia Imantag permite un análisis exploratorio detallado, pero no contempla la heterogeneidad completa de las condiciones agroecológicas de la región andina. Factores como la variabilidad en prácticas de manejo, disponibilidad hídrica y fertilidad del suelo pueden influir en la respuesta de los cultivos evaluados. Por ello, los resultados deben interpretarse como una referencia técnica contextual que aporta lineamientos útiles para investigaciones futuras con mayor cobertura espacial y temporal, orientadas a validar tendencias observadas y fortalecer la base empírica.

3.2.1. En el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*)

El cultivo de fresa en Imbabura, Ecuador, es estratégico para la economía rural por su alta rentabilidad, rápida rotación y demanda sostenida en mercados locales y nacionales. Genera empleo familiar, impulsa encadenamientos productivos y permite aprovechar microclimas andinos. Además, fomenta la innovación tecnológica, el uso eficiente del agua y prácticas sostenibles que fortalecen la seguridad alimentaria y los ingresos de pequeños productores de la provincia andina.

3.2.1.1. Actividades identificadas

El cultivo de fresa involucra actividades esenciales que abarcan preparación del suelo o sustrato, selección de variedades, establecimiento de sistemas de riego, manejo de fertilización y control fitosanitario. Además, incluye labores de poda, deshoje, cosecha y poscosecha, orientadas a garantizar productividad, calidad del fruto y sostenibilidad del sistema productivo.

En la parroquia de González Suárez, la mitad de los agricultores encuestados lleva más de diez años dedicados a la producción de *Fragaria vesca*, considerándola una alternativa relevante de empleo. Todos los participantes fueron de género masculino y trabajan en superficies menores a una hectárea, generalmente en terrenos de propiedad propia (Figura 3.1). Una limitación importante es el desconocimiento sobre los efectos de la maquinaria pesada en la salud del suelo. Aunque su uso mejora la eficiencia, también genera impactos negativos significativos que comprometen la estructura y fertilidad a largo plazo.



Figura 3.1. Establecimiento de cultivo de un cultivo semitecnificado de fresa en la parroquia Gonzáles Suárez.
Fuente: Flores, (2024).

De acuerdo con Corteva Agriscience (2023), la compactación es una de las principales consecuencias del uso intensivo de maquinaria, dificultando el crecimiento radicular y reduciendo la capacidad de absorción de agua. Estos procesos afectan directamente la productividad de los cultivos y, en consecuencia, la economía de los productores de *Fragaria vesca*. En cuanto al manejo de insumos, los agricultores aplican fertilizantes químicos en la etapa de siembra, considerándolos indispensables para el establecimiento del cultivo. Asimismo, emplean pesticidas con frecuencia quincenal o semanal, dependiendo de la evolución de las plantas. Los pesticidas utilizados incluyen productos de etiqueta azul (moderadamente tóxicos), verde (ligeramente tóxicos) y amarilla (altamente tóxicos). En el estudio *Análisis de la problemática de los pesticidas en el cultivo de frutilla*

(*Fragaria vesca*) en el norte de Pichincha (2012), se estimó el uso anual de 8.053 litros y 7.166 kilogramos de pesticidas. También se registró la aplicación de productos de etiqueta roja, extremadamente tóxicos y prohibidos, alcanzando 4.045 litros por año en 68 hectáreas de producción.

Respecto a prácticas sostenibles, los agricultores realizan rotación de cultivos con maíz, habas y fréjol, lo que contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, disminuir plagas y aumentar la retención de agua.

Las leguminosas son especialmente recomendadas en rotaciones, debido a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis radicular. Además, la avena constituye una alternativa eficaz para el control de enfermedades cuando se incorpora al suelo dos o tres meses antes de la siembra.

En cuanto al recurso hídrico, los agricultores disponen de sistemas de riego por goteo. Álvarez (2019) reporta que este método alcanza eficiencias cercanas al 90 %, con aplicaciones de aproximadamente ocho minutos, tres veces por semana. Sin embargo, requiere mantenimiento periódico, ya que fallas técnicas pueden provocar pérdidas significativas de agua.

3.2.1.2. Impactos ambientales

Los impactos ambientales derivados de las labores culturales del cultivo de fresa reflejan la interacción entre prácticas agrícolas intensivas y la vulnerabilidad del ecosistema local. El análisis cuantitativo evidencia una ligera predominancia de efectos negativos sobre los positivos, lo que destaca la necesidad de fortalecer estrategias de manejo sostenible y control de insumos, tabla 3.3.

Tabla 3.3. Impactos positivos y negativos de acuerdo al número de agricultores de las labores culturales en el cultivo de fresa.

Porcentaje		
Impactos negativos	12	52.17%
Impactos positivos	11	47.83
Total	23	100%

Fuente: Flores, (2024). La tabla muestra que los impactos negativos en el cultivo de fresa superan ligeramente a los positivos, evidenciando desafíos en las labores culturales que afectan la sostenibilidad y productividad agrícola.

Los resultados muestran una ligera predominancia de los impactos negativos, lo que refleja la presión ejercida por prácticas agrícolas intensivas sobre el ecosistema. La FAO (2013) advierte que la agricultura es uno de los principales factores de degradación del suelo y contaminación del agua a escala global, asociada al uso inadecuado de insumos.

Los efectos negativos sobre agua y suelo alcanzan niveles altos. Según León Peláez y Correa Metrio (2011), este tipo de impacto requiere medidas correctoras y largos períodos de recuperación. González *et al.* (2022) confirman que la contaminación de estos recursos limita el desarrollo agrícola, siendo los fertilizantes y pesticidas las principales fuentes de deterioro del suelo, tabla 3.4.

Tabla 3.4. Impactos negativos sobre los componentes ambientales en el cultivo de fresa.

	Condiciones afectadas	Agregación impactos
Agua	6	-118
Suelo	6	-130
Total	12	-248

Fuente: Flores, (2024). La tabla evidencia mayores impactos negativos sobre el suelo que sobre el agua en el cultivo de fresa, reflejando deterioro ambiental por prácticas agrícolas intensivas y manejo inadecuado.

Los impactos positivos son moderados, principalmente vinculados a la generación de empleo y a la contribución económica de la producción de *Fragaria vesca* (León Peláez y Correa Metrio, 2011). Prácticas sostenibles en el manejo de suelo y agua potencian estos beneficios, además de mejorar la competitividad en mercados que valoran productos ambientalmente responsables (Gómez *et al.*, 2020), tabla 3.5.

Tabla 3.5. Impactos positivos sobre los componentes ambientales en el cultivo de fresa.

	Condiciones afectadas	Agregación impactos
Humano	3	92
Economía	5	66
Total	10	158

Fuente: Flores, (2024). La tabla muestra efectos positivos del cultivo de fresa, destacando mayor beneficio humano que económico, lo que refleja aportes sociales y laborales moderados dentro del sistema productivo local.

La suma de impactos negativos alcanza un nivel muy alto, generando pérdidas irreversibles de calidad ambiental (León Peláez y Correa Metrio, 2011), tabla 3.6

Tabla 3.6. Acciones negativas en las actividades agrícolas en el cultivo de fresa.

	Condiciones afectadas	Agregación impactos
Preparación del terreno (maquinaria)	2	-24
Fertilización	2	-30
Riego	1	-1
Control de plagas y enfermedades	2	-15
Lixiviados	2	-39
Manejo de residuos	2	-25
Total	11	-134

Fuente: Flores, (2024). La tabla evidencia impactos negativos en el cultivo de fresa, principalmente por fertilización y lixiviados, reflejando contaminación y degradación del suelo asociados a un manejo agrícola poco sostenible.

Las acciones positivas alcanzan impactos moderados. La aplicación de abonos orgánicos mejora la fertilidad del suelo y reduce la dependencia de fertilizantes químicos (García *et al.*, 2020).

La siembra directa contribuye a la conservación del suelo (Hernández *et al.*, 2021), mientras que la clasificación y almacenamiento reducen pérdidas poscosecha (FAO, 2021), tabla 3.7.

Tabla 3.7. Acciones positivas desarrolladas por los agricultores en el cultivo de fresa.

	Condiciones afectadas	Agregación impactos
Aplicación de materia orgánica	2	3
Siembra	2	11
Cosecha	4	6
Clasificación y almacenamiento	2	24
Total	13	44

Fuente: Flores, (2024). La tabla evidencia acciones positivas en el cultivo de fresa, destacando la clasificación, almacenamiento y siembra como actividades con mayor impacto favorable, promoviendo prácticas sostenibles, mejor manejo poscosecha y mayor valor agregado a la producción agrícola local.

El análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el cultivo de fresa permite identificar factores críticos que orientan estrategias sostenibles, integrando manejo del suelo, apoyo institucional y mitigación de riesgos ambientales.

El análisis FODA identifica elementos clave que influyen en la agricultura, tabla 3.8.

Tabla 3.8. Análisis de las Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas en las actividades agrícolas del cultivo de fresa.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Uso de materia orgánica	Mejora en el manejo del suelo	Dependencia de fertilizantes y pesticidas químicos	Degradación del suelo
Prácticas de rotación de cultivos	Apoyo institucional y fundaciones	Problemas de salinidad en el suelo	Cambios climáticos
Disposición por parte de los agricultores para mejorar las prácticas actuales	Alta demanda en épocas específicas del año	Lixiviación	Contaminación del agua

Fuente: Flores, (2024). La tabla muestra un análisis FODA del cultivo de fresa, destacando fortalezas en manejo orgánico y rotación, oportunidades de apoyo institucional, pero también debilidades por dependencia química y amenazas ambientales como degradación del suelo y cambio climático.

3.2.1.3. MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad).

La aplicación del marco MESMIS permitió evaluar integralmente la sustentabilidad del cultivo de fresa, considerando dimensiones ambientales, económicas y sociales, cuyos indicadores medidos evidencian fortalezas y limitaciones para mejorar la gestión agrícola, tabla 3.9.

Tabla 3.9. *Indicadores para evaluar la sustentabilidad en las actividades del cultivo de fresa.*

Área de evaluación	Indicadores	Medición
Ambientales	Preparación del suelo	2
	Uso de fertilizantes y pesticidas	1
	Rotación de cultivos	3
	Lixiviados	2
Económica	Rentabilidad en épocas específicas	4
	Productividad de cultivos	3
Social	Ámbito labor	4
	Beneficiarios de la agricultura	5

Fuente: Flores, (2024). La tabla presenta indicadores ambientales, económicos y sociales para evaluar la sustentabilidad del cultivo de fresa, destacando alta valoración social y económica, pero con debilidades ambientales relacionadas al uso de agroquímicos y lixiviados.

El análisis evidencia fortalezas en las dimensiones social y económica, pero también vulnerabilidades ambientales relacionadas con lixiviación, uso de pesticidas y manejo de suelos, figura 3.2.

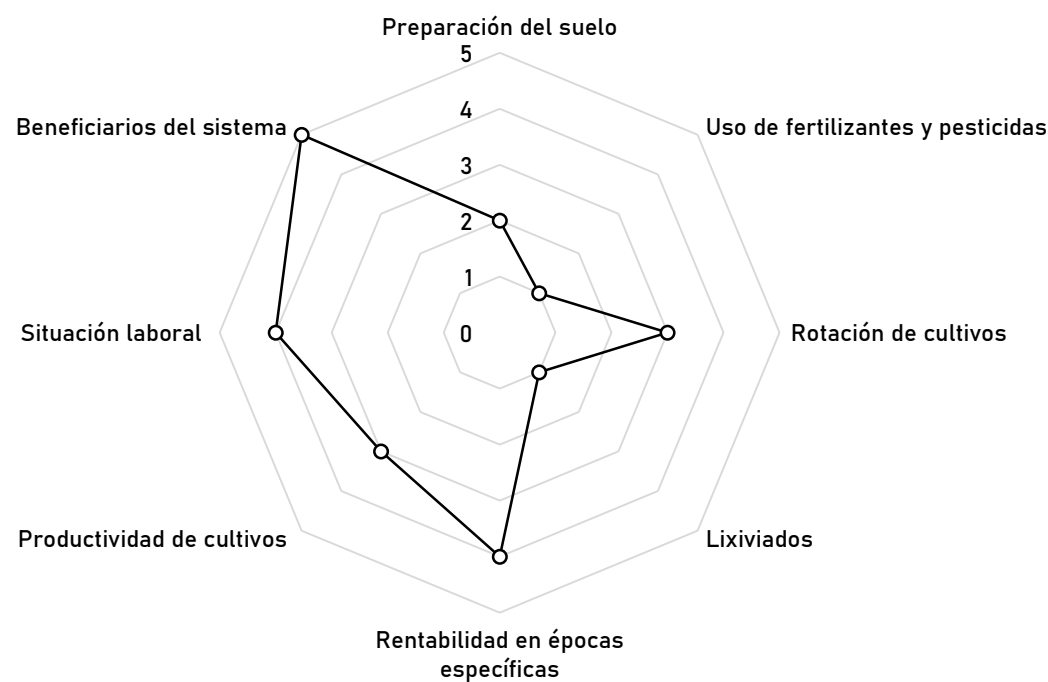


Figura 3.2. Evaluación de indicadores clave en los ejes de sostenibilidad en el cultivo de fresa.

Fuente: Flores, (2024). El gráfico radar evidencia desequilibrios en la sostenibilidad del cultivo de fresa. Los mayores puntajes corresponden a beneficiarios y rentabilidad, mientras que los más bajos reflejan deficiencias ambientales asociadas al uso de fertilizantes, lixiviados y preparación del suelo, evidenciando necesidad de mejorar prácticas agroecológicas integradas.

La agricultura de *Fragaria vesca* constituye una fuente relevante de ingresos para la parroquia de González Suárez. No obstante, el desconocimiento de prácticas sostenibles incrementa los riesgos de degradación ambiental, especialmente en lo referente a lixiviación de nitratos y fosfatos, los cuales contaminan aguas superficiales y subterráneas (MITECO, s.f.).

3.2.1.4. Propuesta de manejo sustentable para el cultivo de *Fragaria vesca*

La propuesta de manejo sustentable para el cultivo de fresa integra prácticas agronómicas eficientes, conservación de suelo y agua y criterios ambientales, orientados a mejorar la productividad, reducir impactos y fortalecer la sostenibilidad de sistemas agrícolas locales.

Biofiltros

- Identificación de áreas con escorrentía.
- Diseño de franjas de vegetación de 3–5 m de ancho.
- Uso de especies con raíces profundas como *Baccharis sp.*, *Vetiveria sp.* y *Alnus acuminata*.
- Monitoreo semestral del crecimiento vegetal (Corteva Agriscience, 2023; Shepherd et al., 2016).

Maquinaria semi-automática para labranza mínima

- Equipos diseñados para labranza localizada.
- Reducción de compactación y conservación de materia orgánica (Cornish y Pratley, 2019).

Biofertilizantes y abonos orgánicos

- Programas de capacitación sobre impactos de agroquímicos.
- Promoción del uso de compost, estiércol tratado y biofertilizantes.
- Fomento de rotación de cultivos con especies adecuadas.

Implementación

La adopción de estas prácticas requiere coordinación comunitaria y apoyo institucional. La articulación con universidades y fundaciones permite acceder a financiamiento, maquinaria y capacitación. La Fundación Heifer, a través del proyecto *Bionegocios Ecuador*, constituye un ejemplo de iniciativas que integran conservación y productividad, involucrando a los actores locales en el desarrollo sostenible.

3.2.2. En el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus*)

El cultivo de pepinillo en Imbabura, Ecuador, representa una alternativa estratégica para pequeños y medianos productores, por su alta demanda local, ciclo corto y buena adaptación a condiciones andinas. Contribuye a la seguridad alimentaria, genera ingresos constantes y promueve

el uso eficiente del agua bajo sistemas protegidos, fortaleciendo la producción hortícola sostenible y el desarrollo rural territorial local con enfoque productivo y ambiental integrado actual.

3.2.2.1. Actividades identificadas

El 70 % de los agricultores encuestados practica una labranza tradicional mediante herramientas manuales como el azadón, mientras que el 30 % restante utiliza maquinaria. La mecanización, aunque eficiente, contribuye a la degradación progresiva del suelo, incrementando la compactación y la erosión. Este fenómeno se asocia a la falta de asesoría técnica sobre prácticas de conservación (Gómez *et al.*, 2018).

En cuanto al uso de insumos, el 100 % de los agricultores aplican fertilizantes y pesticidas en el cultivo de pepino. Los fertilizantes se utilizan únicamente durante las fases de crecimiento y producción, mientras que los pesticidas se aplican de forma continua durante aproximadamente seis meses. El 70 % de los productos empleados son de etiqueta verde, considerados de menor toxicidad para la salud humana; el 20 % corresponde a etiqueta amarilla y el 10 % a etiqueta roja. Sin embargo, la aplicación constante de fertilizantes puede reducir la disponibilidad de nutrientes autóctonos del suelo,

Respecto al conocimiento edáfico, el 80 % de los agricultores desconoce el estado actual de sus suelos, mientras que el 20 % identifica problemas de erosión. Asimismo, un 20 % reporta contaminación y escasez de agua. No obstante, se evidenció el uso de abonos orgánicos y prácticas de conservación, como la rotación de cultivos, aplicada por el 80 % de los productores. Bonilla y López (2015) destacan que el riego ineficiente en épocas secas aumenta la presión hídrica, mientras que la implementación de prácticas eficientes y de conservación contribuye a reducir la huella hídrica.

3.2.2.2. Evaluación de los impactos generados en los recursos suelo y agua.

La matriz de Leopold (tabla 12) evidenció que el 84 % de los impactos asociados al componente suelo fueron despreciables, afectando principalmente características físico-mecánicas y la permeabilidad. Un 20 % se clasificó como significativo, vinculado a procesos de erosión. En el componente agua, el 15 % de los impactos fueron significativos, producto de actividades de fumigación que ocasionan contaminación de aguas superficiales.

De manera global, el 73 % de las actividades relacionadas con el cultivo de pepino presentaron impactos despreciables, el 19 % beneficiosos y el 8 % significativos. La preparación mecanizada del suelo fue la actividad con mayor efecto negativo sobre el componente edáfico, mientras que la fumigación afectó principalmente al agua. Si bien no se identificaron impactos altamente significativos, la presencia de efectos relevantes justifica la implementación de medidas de manejo preventivo y correctivo.

La fase de preparación del suelo mostró la mayor significancia. Los principales efectos incluyeron disminución de la permeabilidad, incremento de la erosión y alteración paisajística por cambios de uso. En el caso del agua, la fumigación generó los mayores impactos, afectando cuerpos superficiales. Rodríguez *et al.* (2023) señalan que en este tipo de cultivos se emplean hasta 19 ingredientes activos en fungicidas, con hasta 22 aplicaciones por ciclo productivo, realizadas bajo criterios propios o recomendaciones de proveedores.

En términos sociales, los impactos positivos se relacionan con la generación de empleo, principalmente en las fases de preparación y cosecha. Estas actividades requieren mano de obra para labores como limpieza de malezas, instalación de riego, fertilización, recolección, clasificación, empaque y transporte. Según Silva Torres (2015), la contratación temporal en estas etapas favorece la transferencia de conocimientos y habilidades agrícolas, incrementando la competitividad y sostenibilidad de la producción en el largo plazo.

3.2.2.3. Propuesta de manejo sustentable de suelo y agua en la parroquia de Imantag

La aplicación del marco MESMIS permitió identificar puntos críticos, fortalezas y debilidades del sistema. Entre las principales debilidades destacan el bajo conocimiento agroecológico, la alta dependencia de agroquímicos, la falta de riego tecnificado y la escasa capacitación técnica. Como fortalezas, resalta la disposición de los agricultores para adoptar prácticas sostenibles, el uso de abonos orgánicos, la rotación de cultivos y la disponibilidad de agua (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. Análisis de fortalezas y debilidades de los agricultores productores de pepinillo en la parroquia Imantag.	
DEBILIDADES	FORTALEZAS
Bajo conocimiento sobre buenas prácticas de uso y conservación del suelo y agua	Disposición de los agricultores para aplicar técnicas más sustentables.
Alto uso de agroquímicos	Uso de abono orgánico
Falta de un sistema de riego eficiente	Implementación de la rotación de cultivos
Escasa participación en programas de capacitación técnica	Disponibilidad de agua para riego

Fuente: Perugachi, (2024). La tabla evidencia que los agricultores de Imantag presentan debilidades en capacitación técnica, uso excesivo de agroquímicos y manejo del riego; sin embargo, muestran fortalezas como disposición al cambio, uso de abonos orgánicos, rotación de cultivos y disponibilidad hídrica favorable para la producción sostenible.

Los resultados muestran un nivel de sustentabilidad moderado en el sistema de producción de pepino (Figura 3.3). Los indicadores asociados a calidad del suelo y agua, cobertura, salud, confort y empleo obtuvieron valores relativamente altos, garantizando productividad y rentabilidad aceptables. Sin embargo, las deficiencias técnicas y de manejo limitan la sostenibilidad en el largo plazo.

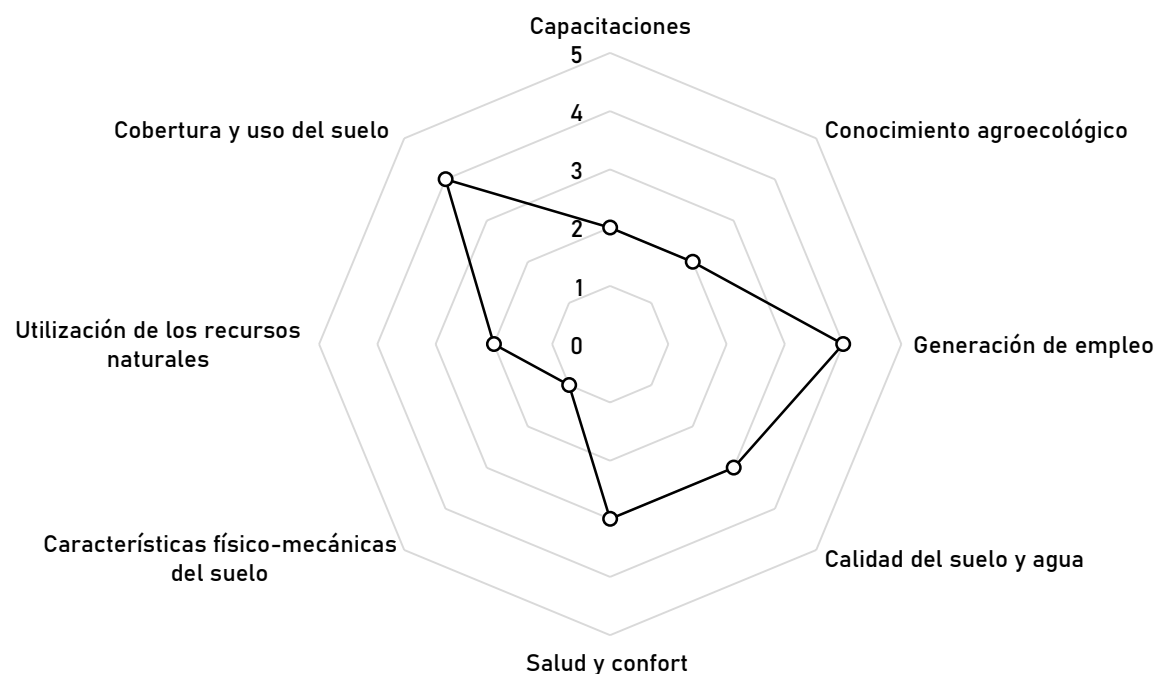


Figura 3.3. Nivel de indicadores en los tres ejes de la sustentabilidad en las labores culturales del cultivo de pepinillo en Imantag.

Fuente: Perugachi, (2024). El gráfico radar muestra niveles intermedios de sustentabilidad en el cultivo de pepinillo en Imantag. Se destacan avances en cobertura del suelo y generación de empleo, mientras la salud, confort y capacitación técnica presentan valores bajos, indicando necesidad de fortalecer formación agroecológica y manejo ambiental sostenible.

El manejo de recursos en el cultivo de pepinillo evidencia limitaciones en conservación de suelo y agua, alta dependencia de agroquímicos y escasa adopción de riego eficiente. Es necesario fortalecer prácticas agroecológicas, promover capacitación técnica y diversificación de cultivos para optimizar recursos naturales, reducir impactos ambientales y garantizar sustentabilidad productiva (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Puntos críticos e indicadores sociales, económicos y ambientales utilizados en las prácticas agrícolas del cultivo de pepinillo.

Atributos	Criterios de diagnóstico	Puntos críticos	Indicador	Método de medición
Adaptabilidad	Organización	Disposición de los agricultores para aplicar técnicas más sustentables.	Capacitaciones	Encuesta para saber qué técnicas aplican
		Escasa participación en programas de capacitación técnica		Encuestas para conocer quién recibió asesorías
		Bajo conocimiento sobre buenas prácticas de uso y conservación del suelo y agua	Conocimiento agroecológico	Encuesta para saber qué técnicas aplican
	Adaptabilidad de tecnologías	Falta de un sistema de riego eficiente	Generación de empleo	Encuesta socioeconómica
Estabilidad	Conservación de recursos	Baja conservación de los recursos naturales (agua y suelo)	Calidad del suelo y agua	Análisis de suelo porcentaje de materia orgánica) y agua (porcentaje de sólidos suspendidos)
Productividad	Autosuficiencia	Alto uso de agroquímicos	Salud y confort	Encuesta socioeconómica
		Uso de abono orgánico	Características físico-mecánicas del suelo	Texturas y porcentaje de materia orgánica
		Disponibilidad de agua para riego	Utilización de los recursos naturales	Cantidad de recursos utilizados (litros de agua)
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Diversidad	Implementación de la rotación de cultivos	Cobertura y uso del suelo	Porcentaje de cultivos cambiantes en diferentes épocas

Fuente: Perugachi, (2024). La tabla identifica puntos críticos en el cultivo de pepinillo vinculados con adaptabilidad, estabilidad y productividad. Evidencia debilidades en capacitación, conservación del suelo y riego, aunque resalta potencial en uso de abonos orgánicos y rotación de cultivos, integrando dimensiones sociales, económicas y ambientales en su evaluación.

3.2.2.4. Programa de fortalecimiento agroecológico para la conservación de suelo y agua y mejora de la productividad

El programa de fortalecimiento agroecológico orienta prácticas sostenibles para conservar suelo y agua, optimizar el uso de recursos naturales y mejorar la productividad agrícola, integrando saberes locales y criterios técnicos que impulsan sistemas resilientes, eficientes y ambientalmente responsables en territorios rurales estratégicos.

Objetivo general:

Fomentar prácticas agroecológicas sostenibles para conservar el suelo y el agua, incrementando la productividad agrícola y la resiliencia de los sistemas.

Objetivos específicos:

- Incrementar el conocimiento agroecológico de los agricultores mediante programas de formación y sensibilización.
- Desarrollar talleres de capacitación en técnicas de manejo sostenible de suelo y agua, orientados a mejorar su eficiencia y conservación.
- Promover la adopción de tecnologías y prácticas integradas que optimicen el uso de recursos naturales y reduzcan la degradación.

El modelo PER aplicado al programa de fortalecimiento agroecológico para el cultivo de pepinillo permite analizar de manera integrada las presiones antrópicas, el estado del suelo y agua, y las respuestas técnicas necesarias para mejorar la productividad, promover la conservación de recursos naturales y fortalecer la sostenibilidad del sistema productivo local. La propuesta metodológica se estructuró bajo la lógica Presión-Estado-Respuesta (PER), con el fin de mitigar impactos negativos y promover un manejo sustentable en el cultivo de pepinillo (Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Modelo PER para el programa de fortalecimiento agroecológico para el cultivo de pepinillo.		
Presión	Estado	Respuesta
Bajo conocimiento agroecológico por parte de los agricultores.	Bajo nivel de adopción de prácticas sostenibles, lo que impacta negativamente en la conservación de suelo y agua.	Implementación de programas de formación y sensibilización en agroecología para mejorar la comprensión del sistema productivo.
Falta de capacitación técnica en manejo de suelo y agua.	Utilización ineficiente de los recursos naturales, provocando degradación del suelo y contaminación del agua.	Desarrollo de talleres prácticos de capacitación técnica sobre conservación de suelo, manejo de agua y técnicas de riego eficiente.
Mala utilización de recursos naturales	Degradación física y química del suelo, erosión y disminución de la disponibilidad de agua para riego.	Establecimiento de barreras vivas y cultivos de cobertura para prevenir la erosión del suelo y mejorar su estructura. Manejo integrado de nutrientes, ajustando la fertilización según las necesidades reales del cultivo y las características del suelo.
Alteración de las características físico-mecánicas del suelo	Compactación y disminución de la fertilidad del suelo, reduciendo su capacidad productiva.	Introducción de métodos de labranza mínima y uso de maquinaria reducida.

Fuente: Perugachi, (2024). La tabla presenta el modelo Presión-Estado-Respuesta aplicado al cultivo de pepinillo, identificando causas de degradación del suelo y agua. Propone respuestas técnicas mediante capacitación, manejo integrado de nutrientes, prácticas agroecológicas y labranza mínima para mejorar sostenibilidad y conservación de recursos naturales.

Por lo tanto, la evaluación integrada de los sistemas de fresa en González Suárez y de pepinillo en Imantag evidencia una presión ambiental dominada por el uso intensivo de agroquímicos, la

labranza mecanizada y prácticas de riego mejorables, que se traducen en erosión del suelo, lixiviación de nutrientes y contaminación y escasez de agua. A escala parroquial, los impactos negativos alcanzan el 52,17 % y los positivos el 47,83 %; en la matriz de impactos, el componente suelo presenta 16 % de significancia y el agua 15 %, con solo 8 % de impactos globales clasificados como significativos, principalmente asociados al uso de maquinaria y a las fumigaciones con fungicidas. Estos resultados se explican por brechas de conocimiento: 80 % de los encuestados desconoce el estado actual de sus suelos y fuentes de agua. No obstante, existen bases para la mejora: el 100 % reporta uso de abonos orgánicos, es común la rotación de cultivos y se emplea riego por goteo, prácticas que amortiguan las presiones si se gestionan adecuadamente. En conjunto, la producción de pepino en Imantag muestra una sustentabilidad moderada, limitada por déficits en capacitación, manejo agroecológico y conservación de propiedades físico-mecánicas del suelo.

Por tanto, se concluye que la reducción efectiva de los impactos y el fortalecimiento de la resiliencia dependen de programas sistemáticos de formación, adopción de prácticas de conservación del suelo y del agua (labranza mínima, manejo integrado de nutrientes, control de lixiviados) y mejoras operativas en riego y fitosanidad, condiciones bajo las cuales los agricultores manifiestan disposición a transitar hacia alternativas más sostenibles.

El análisis de impactos evidencia que en los dos cultivos persisten presiones sobre suelo y agua, derivadas del uso de agroquímicos, riego ineficiente y erosión. La incorporación de fertilización orgánica, rotación de cultivos y sistemas de riego tecnificado resulta esencial para mejorar la productividad, conservar recursos naturales y alcanzar sostenibilidad agrícola.

El manejo agronómico en los cultivos presenta contrastes asociados a sus requerimientos edáficos, hídricos y fitosanitarios. La fresa demanda sustratos con alta porosidad y control riguroso de salinidad, mientras el pepinillo requiere suelos francos bien drenados y mayores volúmenes de agua. Ambos cultivos enfrentan presiones por el uso intensivo de agroquímicos, aunque la fresa evidencia mayor sensibilidad ambiental y dependencia de prácticas sostenibles como el control biológico y la fertirrigación eficiente. En conjunto, la gestión diferenciada de estos cultivos permite optimizar la productividad bajo esquemas sostenibles integrando indicadores MESMIS y análisis de impacto ambiental adaptados al contexto andino.

Se propone la instalación de biofiltros artesanales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales agrícolas generadas en cultivos de fresa y pepinillo. Esta tecnología de bajo costo utiliza gravas, arena y plantas macrófitas locales (como *Cyperus papyrus* o *Phragmites australis*) que promueven la depuración biológica. La implementación piloto para una unidad productiva de 500 m² requiere una inversión aproximada de 1 800 a 2 200 USD, con un plazo de ejecución de tres meses, incluyendo diseño, construcción y puesta en marcha. Experiencias exitosas en Perú y Colombia han mostrado reducciones del 80 % en la Demanda biológica de oxígeno (DBO) y del 70 % en sólidos suspendidos totales, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica (Aguilar et al., 2021; Díaz-Granados et al., 2020). Además, el mantenimiento anual no supera los 150 USD, lo que garantiza

su viabilidad económica. En Ecuador, esta alternativa puede ser replicada mediante convenios de vinculación universidad-comunidad, integrando a estudiantes y técnicos del GAD y el MAG en el monitoreo participativo (FAO, 2023). El enfoque fortalece la resiliencia agroecológica local y contribuye a los ODS 6 y 12 mediante el manejo sostenible del recurso hídrico y la reducción de contaminación difusa.

La información sobre el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) respecto al pepinillo (*Cucumis sativus*) responde a su relevancia económica, social y territorialmente extendida en los sistemas productivos del norte del Ecuador. La fresa constituye uno de los cultivos hortofrutícolas con mayor rentabilidad por superficie cultivada, impulsado por la demanda constante del mercado nacional y las oportunidades de exportación a nichos especializados de frutas frescas y procesadas. En contraste, el pepinillo posee un carácter más estacional y su producción se destina principalmente al consumo local, con menor valor agregado y cobertura de investigación.

La fresa presenta además una mayor tecnificación agrícola, con la implementación de sistemas hidropónicos, fertirrigación y coberturas plásticas, lo que ha motivado el desarrollo de estudios sobre sostenibilidad, manejo del suelo y eficiencia hídrica. Su importancia se refleja también en la amplitud territorial del cultivo, desde zonas templadas hasta frías andinas, generando un mayor número de investigaciones agroecológicas, socioeconómicas y ambientales. Por ello, la profundidad analítica y bibliográfica del capítulo se centra en este cultivo como modelo representativo de innovación agrícola regional, sin menospreciar el valor emergente del pepinillo en esquemas diversificados de producción sostenible.

En concordancia del manejo de recursos en los cultivos analizados, se hace un análisis del manejo del recurso agua realizado en el año 2017 en la parroquia Imantag del cantón Cotacachi específicamente en el canal de riego de la comunidad Peribuela y su influencia en los recursos naturales como suelo y cultivos de importancia del sector.

El uso del suelo en el área de influencia del canal de riego Peribuela se observa un predominio de cultivos de maíz (147,32 ha) y tomate de árbol (42,28 ha), reflejando sistemas agrícolas con baja diversificación. El barbecho (23,38 ha) y áreas de bosque (44,55 ha) representan espacios de conservación y recuperación, aunque limitados frente a la presión agrícola. La distribución espacial evidencia fragmentación del paisaje, con riesgo de degradación del suelo y pérdida de cobertura natural. La gestión sostenible requiere fortalecer rotación de cultivos, protección de bosques y prácticas conservacionistas de agua y suelo.

El sistema de riego Peribuela opera en una microcuenca andina inserta en la subcuenca del río Ambi (cuenca del Mira) con condiciones de altitud (2.470–2.900 m s. n. m.), precipitación (1.000–1.250 mm) y pendientes medias (26 %) que condicionan fuertemente la hidrodinámica del riego y la susceptibilidad a procesos erosivos. La infraestructura principal del canal de 5,7 km, en su mayor parte revestido de cemento, abastece a 119 usuarios y habilita 342 ha bajo riego, con caudales unitarios del orden de 15 litros/segundo y rotaciones de 15 a 18 días. Existen divergencias entre

registros administrativos previos y la verificación de campo (longitudes revestidas, número de usuarios), lo que revela la necesidad de actualizar catastros hídricos y agrarios para una gestión basada en evidencia.

Transformaciones productivas y trade-offs. La disponibilidad de agua estabilizada por el revestimiento del canal aceleró la transición desde cultivos de secano (trigo, cebada) hacia especies más rentables y demandantes de agua e insumos (tomate de árbol, maíz, fréjol), con expansión de invernaderos y reservorios prediales. El resultado inmediato es un aumento de rendimiento e ingresos, valorización de la tierra y dinamización de encadenamientos locales (comercio, servicios, construcción). No obstante, este “salto” productivo se acompaña de un incremento sustantivo en el uso de fertilizantes minerales y plaguicidas (decenas de “tanques” por hectárea en frutales), mecanización intensiva y predominio de riego por gravedad, configurando un paquete tecnológico de alta presión ambiental. Se observa, además, un posible “efecto rebote”: la eficiencia hidráulica del canal reduce pérdidas en conducción, pero la mayor confiabilidad del suministro incentiva más superficie y demanda hídrica total.

La estabilización hídrica mediante el canal de riego generó una transición hacia cultivos más rentables y demandantes, como maíz y tomate de árbol, reflejados en la tabla 3.13, donde se evidencia predominio productivo acompañado de presiones ambientales por mayor uso de insumos, mecanización intensiva y creciente demanda de agua.

Tabla 3.13. Distribución de cultivos en el área influenciada por el canal de riego Peribuela en la parroquia Imantag.

Tipo de cultivo	Superficie Ha	Detalle
Aguacate	7,8	Superficie directamente beneficiada por el canal de riego.
Babaco	0,6	Cultivo no tradicional que está ingresando en la comunidad.
Barbecho	23,38	Terrenos para futuras siembras.
Fréjol	45	Cultivo tradicional de la comunidad.
Hortalizas	0,68	Cultivos no tradicionales para consumo familiar.
Maíz	147,32	Principal cultivo del sector.
Tomate de árbol	42,28	Principal cultivo y el más rentable.
Terreno preparado	7,44	Por sembrar.
Bosque	44,55	Que es influenciado por el canal de riego.
Reservorios, invernaderos, quebradas, caminos, infraestructuras, entre otros	23	Existen construcciones, accidentes geográficos que están dentro del área de influencia del canal de riego.

Fuente: Aragón, *et al.* (2018). La tabla evidencia la distribución de cultivos en el área influenciada por el canal de riego Peribuela, destacando al maíz y tomate de árbol como principales rubros productivos. También se identifican superficies destinadas a barbecho, bosque y hortalizas familiares. La información refleja diversidad agrícola y dependencia del riego para la productividad, subrayando la importancia de gestión sostenible del agua y planificación territorial para mantener la fertilidad y equilibrio ambiental.

Impactos agroecológicos. A escala de parcela y ladera, el régimen de riego por surco/inundación sobre pendientes medias favorece la exportación de suelo fino y nutrientes (efectos

in situ por adelgazamiento de la capa arable y *ex situ* por sedimentación aguas abajo). Aunque el mapeo local ubica la mayor parte del área con susceptibilidad nula o moderada a la erosión, el patrón de monocultivos, la labranza y la carga química elevan el riesgo de degradación física (compactación, pérdida de estructura) y química (salinización puntual, alteraciones de pH y CE), así como la simplificación de hábitats útiles para enemigos naturales y polinizadores. La proximidad de ecosistemas protegidos (bosque nativo de Peribuela) subraya la urgencia de barreras vegetales, franjas ribereñas y control de escorrentías para desacoplar los sistemas productivos de los núcleos de conservación.

Los impactos agroecológicos descritos en la zona de influencia del canal de riego Peribuela evidencian riesgos de erosión, compactación, salinización y pérdida de biodiversidad, asociados a prácticas de riego por surco, monocultivos y uso intensivo de agroquímicos. Esta presión ambiental se vincula directamente con la degradación de recursos naturales en la parroquia Imantag (Tabla 3.14), donde la flora, fauna, agua y aire se encuentran comprometidos por la expansión agrícola, deforestación, contaminación hídrica y aplicación de agroquímicos.

Tabla 3.14. Afectación en los recursos naturales degradados en la comunidad de Peribuela, parroquia Imantag.

Recurso	Descripción del recurso bajo presión	Causa de degradación	Nivel de afectación
Flora	Bosques nativos, vegetación arbustiva	Deforestación, avance de la frontera agrícola	Medio
Fauna	Bosques nativos, vegetación arbustiva	Avance de la frontera agrícola	Medio
Agua	Cuenca, subcuenca, micro cuenca	Deforestación y quema de páramos. Contaminación por aguas residuales por cabecera parroquial	Alto
Aire	Olores	Aplicación de agroquímicos	Bajo

Fuente: Modificado de Ilustre Municipio de Santa Ana de Cotacachi. PDOT Imantag 2015-2035 (2014). La tabla muestra la afectación de los recursos naturales en Peribuela, donde la deforestación y el avance agrícola impactan flora y fauna con nivel medio, mientras el agua presenta degradación alta por contaminación y quema de páramos. El aire registra afectación baja por agroquímicos. En conjunto, se evidencia presión ambiental creciente que requiere estrategias de conservación y manejo sostenible del territorio y los recursos hídricos.

Asimismo, la proximidad de ecosistemas frágiles como páramos, bosques protectores y reservas ecológicas (Tabla 3.15) resalta la vulnerabilidad del territorio frente a actividades productivas intensivas. La intervención humana, aunque en porcentajes variables, amenaza la estabilidad ecológica con riesgos de erosión, deforestación y pérdida de servicios ecosistémicos. Esto subraya la necesidad urgente de implementar prácticas conservacionistas, barreras vegetales y manejo integral de cuencas que aseguren la sostenibilidad productiva y la protección de hábitats estratégicos.

Tabla 3.15. Ecosistemas Frágiles de la Cuenca del río Ambi.

Ecosistema	Extensión Km2	Intervención Humana %	Amenazas
Páramo	1,36	5	Erosión, actividades antrópicas, incompatibles, quemas
Bosque protector Peribuela	0,0396	5	
Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas	1,46	20	Pastoreo, quema, deforestación

Fuente: Modificado de Ilustre Municipio de Santa Ana de Cotacachi. PDOT Imantag 2015-2035 (2014). La tabla identifica ecosistemas frágiles de la cuenca del río Ambi, destacando el páramo, bosque protector Peribuela y la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas. Presentan bajos porcentajes de intervención humana, aunque enfrentan amenazas como erosión, quema, pastoreo y deforestación. Estos ecosistemas son vitales para la regulación hídrica y biodiversidad, por lo que requieren medidas urgentes de conservación, manejo sostenible y control de actividades antrópicas incompatibles con su equilibrio ecológico.

Impactos socioeconómicos y gobernanza. Socialmente, el canal ha fortalecido el capital organizacional (junta de aguas funcional, reglamentos, mingas) y mejorando accesos (vías, servicios, conectividad), con percepción comunitaria de menor migración. Económicamente, la relación beneficio/costo de los cultivos dominantes es favorable y se refleja en la acumulación de capital por parte de los productores, evidenciada en la inversión en vivienda, adquisición de vehículos, mejora de infraestructura productiva y en el incremento de la plusvalía de la tierra. Este comportamiento responde al aumento de la rentabilidad derivada de la intensificación productiva bajo riego y de la incorporación de cultivos de mayor valor comercial. No obstante, este proceso también ha implicado un incremento significativo de los costos variables, especialmente en insumos agroquímicos, semillas certificadas y mano de obra especializada, generando una mayor dependencia de mercados externos y una mayor vulnerabilidad frente a la volatilidad de precios. Asimismo, la valorización sostenida del suelo ha favorecido la fragmentación predial, lo que podría limitar, a mediano plazo, el desarrollo de economías de escala y la adopción eficiente de tecnologías de riego tecnificado y mecanización agrícola.

El fortalecimiento del canal de riego ha generado impactos socioeconómicos y de gobernanza relevantes, evidenciados en la consolidación de organizaciones comunitarias de usuarios, el fortalecimiento de la gestión local del agua y mejoras en las condiciones de vida de la población. Estos avances incluyen mayor acceso a servicios básicos, mejoras en la infraestructura vial, incremento en los niveles educativos y reducción de la migración rural, tal como se presenta en la tabla 3.16, donde también se destaca la conformación de gremios y asociaciones productivas que han fortalecido el tejido social.

Desde el punto de vista productivo, la mayor disponibilidad de agua ha permitido incrementar los rendimientos, estabilizar la producción y aumentar los ingresos agrícolas, contribuyendo a la valorización del suelo. Sin embargo, este proceso también ha conllevado un aumento en los costos de producción y en el uso intensivo de agroquímicos. En términos agroecológicos, la intensificación productiva y la mayor mecanización han generado efectos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, confirmando que los beneficios productivos coexisten con mayores presiones ambientales,

lo que evidencia la necesidad de promover prácticas de manejo sostenible que garanticen la sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 3.16. Impactos generados por el canal de riego en la comunidad Peribuela en los tres ejes de la sustentabilidad.

Agroecológico			
Factor	Estado Inicial (1982)	Intervención en el canal (2017)	Impacto-resultado
-Uso de suelo	66% arbustos, 34% maíz	12% T, 13% F, 43% M	RB/C: T 3.5, M 3.2, F 4.08; R 1.66, C 1.33 Alteración propiedades químicas del suelo y agua (pH, salinidad, CE)
-Fertilización	R, C 900 Kg /Ha	3000 Kg /Ha T,M,F	Afectación a biodiversidad del suelo
-Controles fitosanitarios	R y C 5 tanques 200 lt	T 70 tanques 200 lt/ Ha, M 12 tanques, F 12 tanques	
-Mecanización	2-4 horas/Ha	1-10 horas 55%; 10-20 horas 20%	Afectación propiedades físicas del suelo (estructura, compactación)
Sociales			
Factor	Estado inicial	Intervención en el canal	Impacto-resultado
-Educación	83% educación primaria	100% acceso a unidad educativa	No es un impacto directo del canal de riego
-Acceso a servicios básicos	50% agua, luz	100% agua, luz, teléfono, 50% a internet	No es un impacto directo del canal de riego
-Migración	90% percibe que había migración	40% perciben que no hay migración	Incrementan la actividad productiva
-Vialidad	100% Vías de tercer orden	60% vías de segundo orden, 13,67 Km vías internas	Incremento de la dinámica de comercio y producción
-Organización o conformación de gremios	No había	Existe unas Asamblea General	Organización, estructura jurídica
Económicos			
Factor	Estado Inicial	Intervención en el canal	Impacto-resultado
-Ingresos	R B/C: R 1.66, C 1.33	RB/C: T 3.5, M 3.2, F 4.08	Mayores ingresos, mayor uso de suelo
-Bienes inmuebles	50% casa y vehículo propio	97% terreno y vivienda propia, 44% vehículo propio	Tenencia de bienes propio, mayor uso de suelo
-Costos de producción de los cultivos	Equivalente: R y C 900 USD c/u	T 12000, M 1300, F 1250 USD	Mayor costo con un rendimiento de más del 100%, mayor uso de agua
-Rendimiento de los cultivos	R 3 Tm, C 3 Tm / Ha	T 35 Tm, M 6 Tm, F 3 Tm / Ha	Mayor productividad, mayor rendimiento del suelo, mayor uso de agua
-Plusvalía de la tierra	\$ 10.000/ Ha	\$ 30.000/Ha	Incremento de plusvalía 300%

Tomate de árbol: T. Maíz: M. Fréjol: F. Trigo: R

Fuente: Aragón, et al. (2018). Cebada: C La tabla refleja los impactos del canal de riego Peribuela en los ejes agroecológico, social y económico. Se evidencia incremento en productividad, rendimientos y plusvalía, junto con mayor uso de suelo y agua. Aunque mejora el bienestar económico y la organización comunitaria, surgen riesgos ambientales por fertilización intensiva y mecanización. Socialmente, destaca el acceso a servicios básicos y estabilidad poblacional. En conjunto, el canal impulsa desarrollo agrícola, pero requiere equilibrar sostenibilidad ambiental con rentabilidad productiva.

Sustentabilidad integral. La evaluación integrada tipo MESMIS (productividad, estabilidad/resiliencia, adaptabilidad, autodependencia y equidad) perfila un sistema con desempeño alto en producción e ingresos, pero bajo y medio en criterios ecológicos y de dependencia de insumos. Los indicadores que más se aproximan a la sustentabilidad son la organización del riego y el rendimiento del tomate de árbol; los más rezagados corresponden al manejo de suelos (materia orgánica, labranza mínima), tecnificación del riego (presurizados, control de lámina) y fitosanidad (MIP con umbrales y monitoreo). El conocimiento técnico predial es heterogéneo, y la asesoría agronómica continua es limitada.

Lectura crítica y líneas de mejora. El caso evidencia el dilema clásico de riego en montaña: eficiencia y crecimiento económico versus externalidades ambientales. Para cerrar brechas se requiere pasar del “suministro confiable” al “uso eficiente y limpio” mediante: (i) transición gradual de gravedad a sistemas presurizados o riego parcelario mejorado con medición de caudal y calendarios por demanda; (ii) conservación de suelo (labranza de conservación, coberturas, terrazas vivas), biofiltros y franjas riparias para capturar sedimentos y nutrientes; (iii) manejo integrado de la nutrición (balances, análisis de suelo/agua, fraccionamiento de dosis, biofertilizantes) y de plagas (monitoreo, rotaciones funcionales, control biológico); (iv) gobernanza adaptativa con monitoreo participativo de calidad de agua y suelo, y actualización periódica del padrón de usuarios y reglas de distribución; (v) ordenamiento predial–paisajístico que minimice la expansión de monocultivos y la presión sobre ecosistemas aledaños. En suma, el canal ha sido un catalizador de desarrollo; su consolidación como plataforma de sustentabilidad dependerá de reingenierías técnicas y organizacionales que internalicen los costos ambientales de la intensificación.

El análisis de los indicadores de sustentabilidad para la producción agrícola del canal de riego Peribuela revela limitaciones estructurales y técnicas (Tabla 3.17). La productividad muestra bajos rendimientos y alta dependencia de insumos externos, lo que compromete la rentabilidad y resiliencia del sistema. La degradación del suelo, la falta de riego tecnificado y la escasa aplicación de materia orgánica incrementan la vulnerabilidad ambiental. Asimismo, la ausencia de estructuras organizativas y la limitada asistencia técnica restringen la capacidad de adaptación.

La sustentabilidad requiere diversificación de cultivos, fortalecimiento organizativo, reducción de agroquímicos y adopción de prácticas agroecológicas que garanticen equilibrio productivo, ambiental y social.

Tabla 3.17. Descripción de indicadores utilizados para evaluación de la sustentabilidad en la producción agrícola influenciada por el canal de riego Peribuela.

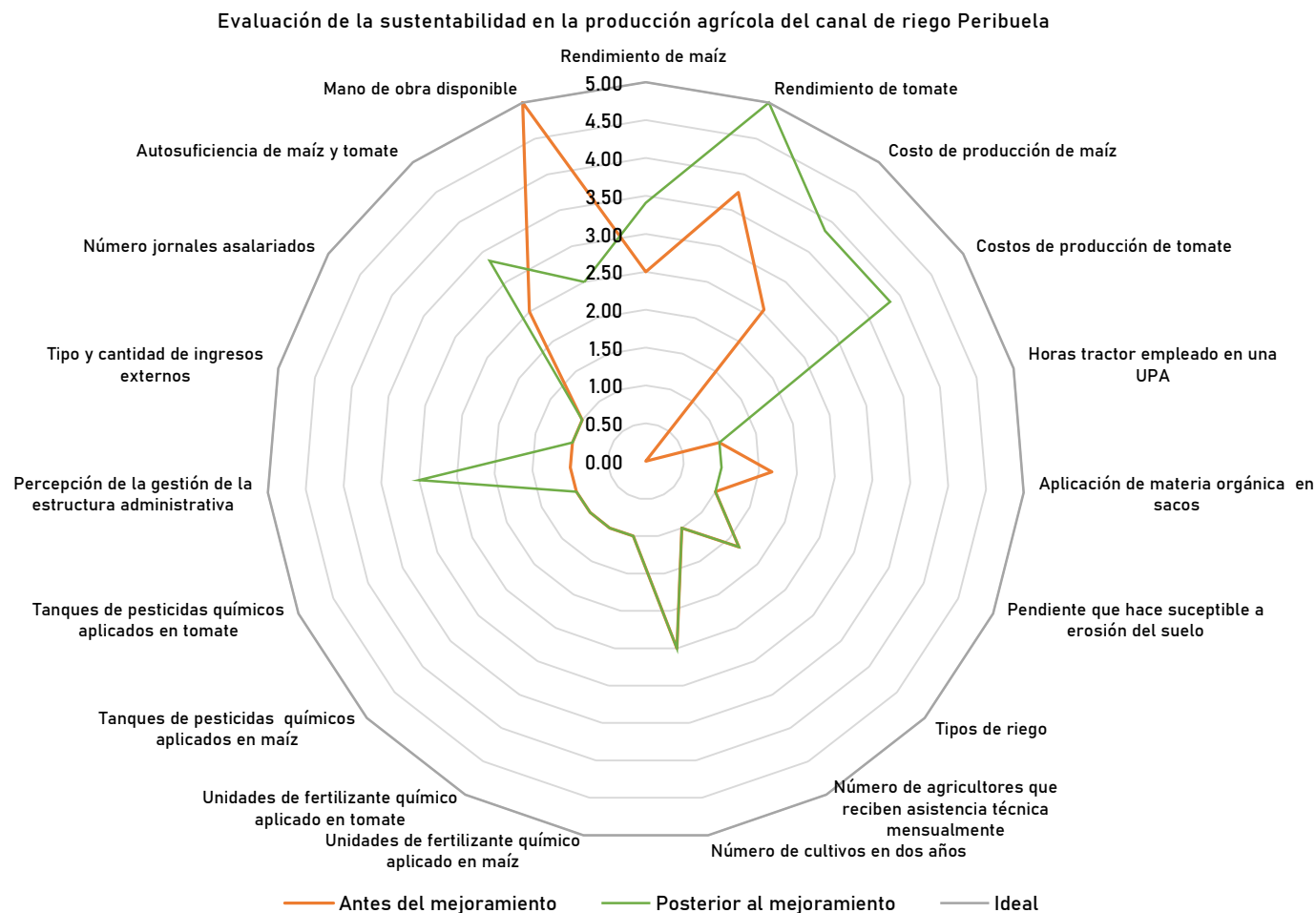
Atributos	Criterio de diagnóstico	Punto crítico	Indicador
Productividad	Rendimientos del sistema	Baja productividad	Rendimiento de maíz
			Rendimiento de tomate
	Rentabilidad económica	Baja rentabilidad	Costo de producción de maíz
			Costos de producción de tomate
	Uso de Maquinaria	Excesivo empleo de maquinaria	Horas tractor empleado en una UPA
Adaptabilidad	Calidad del suelo	Degradación del suelo	Aplicación de materia orgánica en sacos Pendiente que hace susceptible a erosión del suelo
	Sistemas de riego tecnificado	No existe sistemas de riego tecnificado	Tipos de riego
	Asistencia técnica	No existe asistencia técnica	Número de agricultores que reciben asistencia técnica mensualmente
Estabilidad, confiabilidad, resiliencia	Monocultivos	Rotación de cultivos	Número de cultivos en dos años
Auto dependencia	Uso de insumos externos	Dependencia de insumos	Unidades de fertilizante químico aplicado en maíz
			Unidades de fertilizante químico aplicado en tomate
			Tanques de pesticidas químicos aplicados en maíz
			Tanques de pesticidas químicos aplicados en tomate
	Estructura organizativa	No exista estructura organizativa	Percepción de la gestión de la estructura administrativa
	Ingresos extra agropecuarios	Necesidad de otras fuentes de ingreso	Tipo y cantidad de ingresos externos
Equidad	Evolución del empleo	Generación de empleo	Número jornales asalariados
	Producción para el consumo	Seguridad alimentaria	Autosuficiencia de maíz y tomate
	Abandono del campo	Migración	Mano de obra disponible

Fuente: Aragón, et al. (2018). La tabla presenta los indicadores utilizados para evaluar la sustentabilidad agrícola en la zona influenciada por el canal de riego Peribuela. Identifica problemas como baja productividad, degradación del suelo, dependencia de insumos externos y falta de asistencia técnica. Sin embargo, considera variables de resiliencia y equidad, como rotación de cultivos, empleo y seguridad alimentaria. Los indicadores permiten medir integralmente la sostenibilidad del sistema, resaltando la necesidad de tecnificación del riego, fortalecimiento organizativo y prácticas agroecológicas sostenibles.

Analizada la figura 3.4 en los diferentes aspectos considerados para indicadores de sustentabilidad:

Productividad y eficiencia. El rendimiento de maíz y tomate mejora tras la intervención, aunque todavía se encuentra lejos del nivel ideal. Esto evidencia un progreso en la gestión agronómica, pero sugiere que la eficiencia de uso de recursos (agua, fertilizantes, pesticidas) aún limita la sustentabilidad. La reducción en costos de producción refleja una mayor racionalidad en el manejo, probablemente vinculada a prácticas de optimización en insumos y mano de obra.

Figura 3.4. Valores en indicadores sociales, económicos y ambientales del impacto generado por el canal de riego Peribuela.



Fuente: Aragón, *et al.* (2018). La figura evidencia mejoras significativas en los indicadores sociales, económicos y ambientales tras la implementación del canal de riego Peribuela. Se observa un aumento en rendimientos agrícolas, autosuficiencia alimentaria, empleo y manejo de recursos. Sin embargo, persisten brechas respecto al modelo ideal, especialmente en control de agroquímicos y eficiencia técnica. El sistema muestra avances hacia la sustentabilidad, pero requiere fortalecer la gestión ambiental, tecnificación del riego y reducción de insumos químicos para alcanzar un equilibrio integral entre productividad y sostenibilidad agroecológica.

Manejo de suelo. Los indicadores relacionados con el uso de fertilizantes químicos y pesticidas muestran valores muy bajos en comparación con lo ideal, incluso después del mejoramiento. Esto revela un patrón de uso elevado y dependiente de agroquímicos, que compromete la calidad del suelo y la biodiversidad edáfica. El bajo avance en la aplicación de materia orgánica sugiere que la fertilidad

natural del suelo no está siendo restaurada adecuadamente, lo que incrementa la vulnerabilidad a la erosión y disminuye la resiliencia agroecosistémica.

Manejo de agua y erosión. El indicador “pendiente que hace susceptible a erosión del suelo” refleja una debilidad estructural, ya que el control de escorrentía y prácticas de conservación (barreras vivas, terrazas, cobertura vegetal) no alcanzan los niveles deseables. Del mismo modo, los tipos de riego muestran limitaciones, lo que indica que la eficiencia en el uso del agua sigue siendo baja frente al ideal de sistemas tecnificados (riego por goteo, aspersión eficiente). Una mejora significativa en este aspecto es clave para reducir pérdidas de agua, evitar compactación y limitar el arrastre de nutrientes y pesticidas.

Dimensión social y organizativa. La percepción de la gestión administrativa, la asistencia técnica y el número de agricultores beneficiados con capacitación presentan mejoras, aunque con marcada distancia respecto al ideal. Esto resalta que la sustentabilidad no depende únicamente del manejo técnico de suelo y agua, sino también de un fortalecimiento institucional y comunitario que permita la adopción sostenida de prácticas agroecológicas.

El análisis revela que, si bien el mejoramiento implementado en la zona del canal de riego Peribuela permitió avances en productividad y reducción de costos, persisten serias brechas en el manejo sustentable de suelo y agua. Para acercarse al escenario ideal, se requiere:

- Sustituir progresivamente insumos químicos por bioinsumos y materia orgánica que fortalezcan la estructura del suelo.
- Implementar prácticas de conservación de suelos en áreas de pendiente, reduciendo riesgos de erosión.
- Adoptar sistemas de riego tecnificado para optimizar el uso del agua y minimizar pérdidas.
- Fortalecer la asistencia técnica y la gobernanza comunitaria, garantizando que las prácticas sostenibles sean comprendidas, adoptadas y mantenidas a largo plazo.

En síntesis, la sustentabilidad del sistema productivo requiere un abordaje integral que combine la eficiencia productiva con la conservación de recursos naturales y la participación social activa.

El estudio destaca por su enfoque metodológico innovador al integrar el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad con la Matriz de Leopold, logrando una evaluación ambiental y socioeconómica más integral de los agroecosistemas andinos. Esta combinación permite cuantificar impactos ecológicos y, simultáneamente, valorar la sustentabilidad mediante indicadores participativos y adaptativos. La aplicación conjunta de ambas herramientas en contextos rurales de altura constituye un avance metodológico relevante para la región andina, donde las dinámicas agrícolas y los factores biofísicos requieren enfoques multidimensionales. Además, esta integración fortalece la toma de decisiones en políticas locales, al vincular evidencia técnica con percepciones comunitarias. El resultado es una

herramienta replicable y validada que contribuye a la gestión sostenible del suelo y del agua en territorios vulnerables, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2, 6 y 12.

3.3. REFLEXIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

El análisis de los sistemas productivos de fresa y pepinillo en la zona andina evidencia que la sostenibilidad agroecológica depende de una gestión integral del suelo y del agua. La aplicación del enfoque MESMIS permitió identificar que las dimensiones de estabilidad, productividad y resiliencia son las más sensibles a las prácticas de manejo, especialmente al uso de agroquímicos, la cobertura vegetal y las estrategias de conservación de humedad. Los resultados muestran que las parcelas con manejo sostenible presentan mayor fertilidad biológica, mejor estructura del suelo y menor riesgo de erosión, lo que confirma la relación directa entre la salud del suelo y la productividad agrícola (ODS 2).

En cuanto a los recursos hídricos, la eficiencia en el uso del agua se ve afectada por la falta de infraestructura de riego tecnificado y la escasa adopción de prácticas de captación y almacenamiento pluvial. La incorporación de tecnologías limpias, biofiltros y sistemas de fertirriego podría reducir significativamente la huella hídrica, favoreciendo la conservación de los cuerpos de agua y el cumplimiento del ODS 6. Asimismo, la gestión adecuada de residuos agrícolas y la implementación de compostaje y bioles contribuyen a cerrar ciclos productivos, reduciendo la contaminación y promoviendo patrones de consumo y producción responsables (ODS 12).

Comparativamente, el cultivo de fresa presenta mayor vulnerabilidad a la degradación del suelo y mayor demanda hídrica, mientras que el pepinillo destaca por su adaptabilidad y menor dependencia de insumos externos. Sin embargo, ambos comparten la necesidad de fortalecer la asistencia técnica, el monitoreo de la calidad del agua y la integración de indicadores socioeconómicos que evalúen la sostenibilidad desde una perspectiva territorial.

Entre las limitaciones del estudio, se reconoce el tamaño reducido de la muestra de productores encuestados y la falta de series temporales prolongadas que permitan evaluar la resiliencia frente a variaciones climáticas. A futuro, se recomienda ampliar el número de unidades de análisis, incorporar mediciones de huella de carbono y promover la evaluación participativa de indicadores con actores locales.

Finalmente, se proponen líneas de investigación y acción orientadas a:

- Desarrollar sistemas de riego inteligentes adaptados a las condiciones altitudinales de Imbabura.
- Evaluar bioinsumos locales que sustituyan fertilizantes sintéticos.
- Integrar herramientas digitales (sensores, monitoreo remoto) para mejorar la toma de decisiones agrícolas.
- Fortalecer la educación ambiental y la vinculación universidad-comunidad para la gestión sostenible de los agroecosistemas.

- Desde la perspectiva de política pública local, se sugiere que el GAD promueva ordenanzas de uso eficiente del agua y conservación del suelo; que el MAG incentive la transición agroecológica mediante créditos verdes y asistencia técnica diferenciada; y que la Universidad Técnica del Norte (UTN) continúe articulando proyectos de investigación aplicada y vinculación territorial que consoliden la sostenibilidad productiva y social en el territorio.

3.4. GLOSARIO

Agrobiodiversidad: Variedad de organismos vivos utilizados en agricultura, incluyendo especies, variedades y ecosistemas.

Agroecología: Enfoque que aplica principios ecológicos al diseño y gestión de sistemas agrícolas sostenibles.

Agroecosistema: Sistema agrícola donde interactúan factores bióticos, abióticos y humanos bajo principios ecológicos y productivos.

Agroforestería: Integración de árboles y cultivos agrícolas para mejorar productividad y sostenibilidad.

Agroquímicos: Sustancias químicas empleadas en la agricultura para fertilizar o controlar plagas y enfermedades.

Biodiversidad: Diversidad biológica en todos los niveles (genes, especies y ecosistemas).

Biofiltro: Sistema natural o artificial que usa microorganismos o plantas para depurar contaminantes de agua o aire.

Biotecnología: Uso de organismos vivos o sus componentes para desarrollar productos útiles.

Compactación: Reducción del espacio poroso del suelo que impide el crecimiento radicular y la infiltración de agua.

Compostaje: Descomposición controlada de materia orgánica para obtener abono natural.

Degradación: Pérdida progresiva de la calidad física, química o biológica del suelo.

Desertificación: Degradación severa del suelo en zonas áridas causada por actividades humanas o variabilidad climática.

Erosión: Desgaste y pérdida de la capa superficial del suelo por agua o viento.

Eutrofización: Enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua que provoca proliferación de algas y pérdida de oxígeno.

Evapotranspiración: Pérdida total de agua por evaporación del suelo y transpiración de plantas.

Fertilidad: Capacidad del suelo de suministrar nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.

Fotoperiodo: Duración relativa del día y la noche que afecta procesos fisiológicos de las plantas.

Fotosíntesis: Proceso mediante el cual las plantas transforman luz solar en energía química.

Hidrología: Ciencia que estudia la distribución, movimiento y propiedades del agua terrestre.

Indicadores: Variables cuantificables usadas para evaluar el desempeño ambiental, social o económico de un sistema.

Infiltración: Proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo desde la superficie.

Lixiviación: Pérdida de nutrientes del suelo arrastrados por el agua hacia capas más profundas o cuerpos hídricos.

Macrofauna: Conjunto de organismos del suelo visibles (>2 mm), esenciales en descomposición y aireación.

Mesmis: Marco metodológico de evaluación de sostenibilidad de sistemas de manejo de recursos naturales.

Mitigación: Conjunto de acciones destinadas a reducir los impactos ambientales negativos.

Recuperación: Proceso de restaurar funciones ecológicas o productivas de un ecosistema degradado.

Resiliencia: Capacidad del ecosistema o sistema productivo para recuperarse tras perturbaciones.

Simbiosis: Asociación biológica entre organismos que se benefician mutuamente.

Sostenibilidad: Capacidad de mantener procesos ecológicos, económicos y sociales sin comprometer recursos futuros.

Sustentabilidad: Sinónimo de sostenibilidad; busca equilibrio entre ambiente, sociedad y economía.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, C., Jiménez, L., y Capa, E. (2020). *Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (Fragaria vesca) en el sector Cajanuma, cantón Loja*. Revista de Ciencias de la Vida, 31(1), 131–141. <https://doi.org/10.26807/rcv.v31i1.1390>
- Aguilar, A., Ramos, J., y Morales, D. (2021). *Evaluación de biofiltros de flujo horizontal para aguas residuales agrícolas en la región de Cajamarca, Perú*. Revista Agroindustrial Ciencia y Tecnología, 25(2), 45–54. <https://doi.org/10.17268/agroind.2021.25.2.05>
- Albarracín, G., Fonseca, N., y López, J. (2019). *Propuesta metodológica para medir la sustentabilidad en agroecosistemas*. Pensamiento Udecino, 5(1), 143–160. https://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Pensamiento_udecino/article/download/344/version/400/293/1333
- Alvarado, Y., Mendoza, R., y Sandoval, M. (2020). *Eficiencia del uso de agua en sistemas hidropónicos de fresa bajo diferentes sustratos en Imbabura, Ecuador*. Revista Ciencia y Agricultura, 17(2), 76–89. <https://doi.org/10.17268/rcya.2020.17.2.04>

- Aragón, J. P., Albuja, M., Burbano, E., y Aragón, M. (2018). *Comportamiento socioeconómico de los agricultores de la parroquia Imantag, cantón Cotacachi*. EPH – International Journal of Agriculture and Environmental Research, 4(1), 21–26. <https://doi.org/10.53555/EIJAER.V4I2.36>
- Benavidez, M., Briceño, D., y Yauricasa, J. (2022). *Sostenibilidad de agroecosistemas hortícolas en la región andina mediante indicadores MESMIS*. Revista Latinoamericana de Agroecología, 15(1), 22–36. <https://doi.org/10.15359/rla.15-1.02>
- Bifani, P. (1999). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. IEPALA.
- Bonilla, V. A., y López, D. M. (2015). *Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12*. Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/315
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., y Panagos, P. (2017). *An assessment of the global impact of 21st century land-use change on soil erosion*. Nature Communications, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Briceño, D., y Alvarado, J. (2021). *Evaluación del impacto de los sistemas agroforestales en la conservación del suelo en zonas altoandinas del Ecuador*. Revista de Ciencias Ambientales, 55(3), 111–126. <https://doi.org/10.15359/rca.55-3.08>
- Brundtland, G. (Ed.). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Carreño, N. E. F. (2021). *Propuesta metodológica para medir la sustentabilidad en agroecosistemas a través del marco MESMIS*. Pensamiento Udecino, 5(1), 143–160. <https://doi.org/10.36436/23824905.344>
- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., y Villegas-Ramírez, A. (2024). *Conservación y manejo sostenible del suelo en la agricultura: una revisión sistemática de prácticas tradicionales y modernas*. Código Científico Revista de Investigación, 5(E3), 1–28. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303>
- Chen, F.-F., Wang, Q. S., Umar, M., y Zheng, L. (2023). *Towards sustainable resource management*. Resources Policy, 85, 104026. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104026>
- CONAGUA. (2018). *Atlas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- CONDESAN. (2024, octubre 30). *Ecuador resalta la problemática de degradación de la tierra y sensibiliza la necesidad del manejo sostenible del suelo como recurso esencial para la vida*. <https://condesan.org/2024/10/30/ecuador-resalta-la-problematica-de-degradacion-de-la-tierra-y-sensibiliza-la-necesidad-del-manejo-sostenible-del-suelo-como-recurso-esencial-para-la-vida/>

- CONDESAN. (2024). *Gestión sostenible del agua y suelos en agroecosistemas andinos: experiencias territoriales 2020-2023*. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina. <https://condesan.org/publicaciones>
- Cornish, P. S., y Pratley, J. E. (2019). *Conservation agriculture in Australia*. Australian Journal of Agricultural Research, 70(7), 689-704.
- Corteva Agriscience. (2023). *Compactación del suelo en la producción agrícola*. <https://www.corteva.es/agronomia-y-servicios/informacion-agronomica/compactacion-del-suelo-en-la-produccion-agricola.html>
- Díaz-Granados, L., Rojas, C., y Herrera, J. (2020). *Implementación de sistemas de biofiltración en fincas hortícolas del Valle del Cauca, Colombia*. Revista Ingeniería y Competitividad, 22(1), 89-101. <https://doi.org/10.25100/iyv.v22i1.9172>
- Environmental Waikato Regional Council. (s.f.). *Manejo sustentable*. <http://www.ew.govt.nz>
- FAO. (2015). *Estado mundial del recurso suelo - Resumen técnico*. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. ISBN 978-92-5-308960-4
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. <https://www.fao.org>
- FAO. (2018). *El estado de los mercados de productos básicos agrícolas 2018*. <http://www.fao.org/3/I9542Es/i9542es.pdf>
- FAO. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture—Systems at breaking point*. FAO.
- FAO. (2023). *Tecnologías sostenibles para la gestión del agua en la agricultura familiar andina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cc5282en>
- FAO. (2025). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2025: Innovaciones para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9999en>
- FLACSO Andes. (2020). *Reestructuración socioterritorial en González Suárez*. <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/eutopia/article/download/3875/2825>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia González Suárez. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2019*.
- Gobierno del Ecuador. (2025). *Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030: Ecuador sostenible e inclusivo*. Secretaría Nacional de Planificación. <https://www.planificacion.gob.ec>
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., y Solorzano-Quintana, M. (2018). *La labranza mecanizada y su impacto en la estructura del suelo agrícola*. Revista Tecnología en Marcha, 31(1), 167-177. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- González, J. A., Martínez, L. M., y Pérez, R. H. (2022). *Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola*. Revista de Ciencias Ambientales, 25(1), e482.

- Hashemi, S. Z., Darzi-Naftchali, A., Karandish, F., Ritzema, H., y Solaimani, K. (2024). *Enhancing agricultural sustainability through integrated water management*. Agricultural Water Management, 305, 109110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109110>
- Ilustre Municipio de Santa Ana de Cotacachi. (2014). *PDOT Parroquia Imantag 2015–2035*.
- INEC. (2022). *Estadísticas poblacionales*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Islam, M. T., Siddeqa, M., Mukherjee, A., Bithi, S. A., Mandal, S., y Islam, M. (2023). *An assessment of the potential environmental effects of agricultural intensification*. Heliyon, 9(6), e16562. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16562>
- Jiao, S., Zhang, M., Wang, Y., Liu, J., y Li, Y. (2014). *Variation of soil nutrients and their distribution in different land-use types*. Acta Ecologica Sinica, 34(3), 148–153.
- Josimovic, B., Petric, J., y Milijic, S. (2014). *The use of the Leopold Matrix in environmental impact assessment*. Energy and Environment Research, 4(1), 43–50. <https://doi.org/10.5539/eer.v4n1p43>
- León Peláez, J. D., y Correa Metrio, J. A. (2011). *Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Lifeder. (2022, septiembre 7). *Estrategias de sustentabilidad para el manejo de recursos naturales*. <https://www.lifeder.com/estrategias-sustentabilidad-manejo-recursos-naturales>
- Masera, O., Astier, M., y López, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa.
- Martínez-Mera, E. A., Torregroza-Espinosa, A. C., Crissien-Borrero, T. J., Marrugo-Negrete, J. L., y González-Márquez, L. C. (2019). *Evaluation of contaminants in agricultural soils*. Heliyon, 5(8), e02217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02217>
- MITECO. (s.f.). *Impacto de nitratos y pesticidas en la calidad del agua*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (España). <https://www.miteco.gob.es/es/agua>
- Mondal, S., y Palit, D. (2022). *Challenges in natural resource management and sustainability*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00004-1>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (s.f.). *Impactos en la agricultura*.
- ONU. (2021). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: Valorar el agua*. <https://www.unwater.org>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Oosterheld, M. (2008). *Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas*. Ecología Austral, 18(3), 337–346.
- Orea, D. G. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. Síntesis.

- PDOT GAD Otavalo. (2014). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo*.
- Rosenstock, T., Nowak, A., y Wilkes, A. (2019). *Climate-smart agriculture in Latin America: Case studies and lessons learned*. World Agroforestry Centre (ICRAF). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23103-6>
- Salvador, A., Alcaide, A., Sánchez, C., y Salvador, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. McGraw-Hill.
- Scherber, C. (2022). Agroecology – Reconciling biodiversity and production in farming systems. *Basic and Applied Ecology*, 65, 62–66.
- Seoáñez, M. (1998). *Medio Ambiente y Desarrollo*. Mundi-Prensa.
- Shepherd, M., Wheeler, D., Selbie, D., y Welten, B. (2016). Effectiveness of vegetative filter strips for nitrogen removal... *New Zealand Journal of Agricultural Research*.
- Silva Torres, J. R. (2015). *Producción de pepino (Cucumis sativus L.)...* UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1539>
- Turk, A., Turk, J., Wittes, J., y Wittes, R. (1976). *Tratado de Ecología*. Interamericana.
- UNESCO. (2024). *Alerta mundial de la UNESCO sobre la rápida degradación de los suelos*. <https://www.unesco.org/es/articles/alerta-mundial-de-la-unesco-sobre-la-rapida-degradacion-de-los-suelos>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes*. International Resource Panel, Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>

Convergencias, aprendizajes y proyecciones

Los capítulos que integran la presente obra evidencian que la sostenibilidad en los sistemas socioecológicos de los Andes ecuatorianos se fundamenta en la articulación funcional entre la conservación de la agrobiodiversidad, la protección de los ecosistemas naturales y la implementación de sistemas productivos bajo principios de sostenibilidad ecológica. De manera integrada, los hallazgos demuestran que el patrimonio biocultural constituye un componente estructural para el fortalecimiento de la resiliencia territorial, al incrementar la capacidad adaptativa de las comunidades frente a perturbaciones asociadas al cambio climático, los procesos de degradación ambiental y las dinámicas de transformación socioeconómica.

En primer término, la conservación de frutales nativos y de la agrobiodiversidad asociada se configura no solo como una estrategia de resguardo de la diversidad genética intraespecífica e interespecífica, sino también como un mecanismo que contribuye al mantenimiento de la identidad cultural, al fortalecimiento de la soberanía y seguridad alimentaria, y a la dinamización de economías locales basadas en el uso sostenible de la biodiversidad. Desde una perspectiva ecológica y productiva, estos sistemas diversificados favorecen la estabilidad funcional de los agroecosistemas, mejoran su capacidad de respuesta ante factores de estrés y contribuyen a la conservación in situ de recursos fitogenéticos de importancia actual y potencial.

En segundo lugar, los ecosistemas forestales andinos se consolidan como unidades ecológicas estratégicas que sustentan la provisión de servicios ecosistémicos críticos, incluyendo la regulación hídrica, la protección del suelo, la captura y almacenamiento de carbono, y el mantenimiento de hábitats para la biodiversidad. Su conservación requiere la implementación de enfoques de gestión integral que incorporen principios de gobernanza ambiental, participación comunitaria efectiva y reconocimiento de los sistemas de conocimiento local, con el fin de garantizar la sostenibilidad ecológica y social de estos territorios.

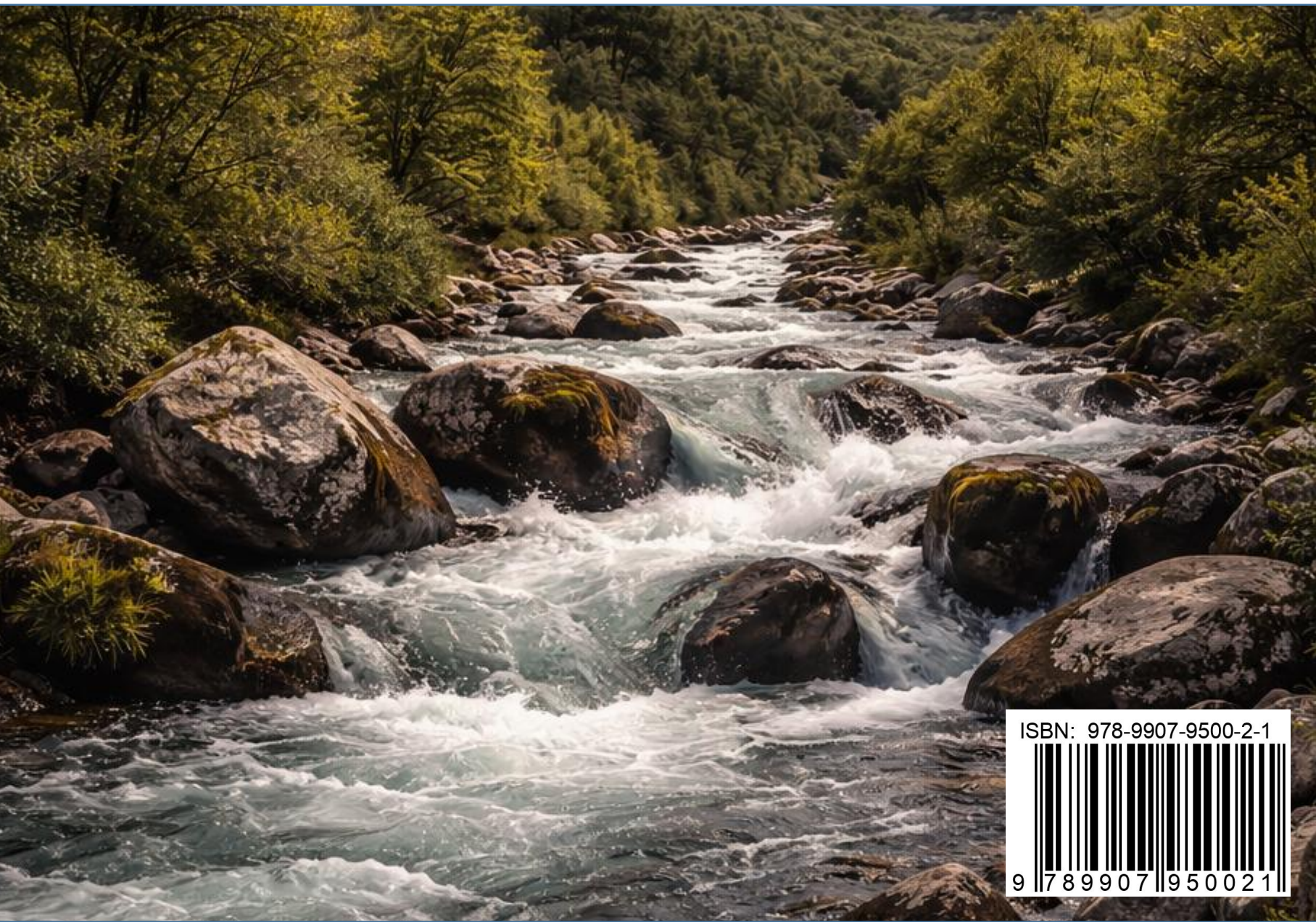
Finalmente, las experiencias relacionadas con el manejo sostenible del suelo y del recurso hídrico evidencian que la integración de prácticas agroecológicas, tecnologías apropiadas y estrategias de manejo adaptativo permite optimizar la eficiencia productiva de los sistemas agrícolas, al tiempo que reduce los impactos ambientales negativos, tales como la erosión, la pérdida de fertilidad y la degradación de los recursos naturales. Estos enfoques contribuyen al restablecimiento de procesos ecológicos clave y al fortalecimiento de la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas productivos andinos.

De manera transversal, la obra permite derivar lineamientos estratégicos orientados al fortalecimiento de políticas públicas basadas en evidencia científica y pertinencia territorial, que promuevan la conservación de la biodiversidad y del patrimonio biocultural. Asimismo, resalta la necesidad de impulsar programas de educación ambiental con enfoque intercultural, que articulen el conocimiento científico y los saberes ancestrales, y de fomentar modelos de gestión comunitaria participativa que reconozcan a las poblaciones locales como actores fundamentales en los procesos de conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

En síntesis, la sostenibilidad de los territorios andinos ecuatorianos depende de la consolidación de enfoques integradores que articulen de manera sinérgica los componentes ecológicos, productivos y socioculturales, promoviendo un equilibrio dinámico entre el aprovechamiento racional de los recursos naturales y la conservación del patrimonio natural y biocultural. En este contexto, la presente obra aporta fundamentos conceptuales, metodológicos y empíricos que constituyen una base sólida para el diseño e implementación de estrategias académicas, políticas y comunitarias orientadas hacia la transición de modelos de desarrollo convencionales hacia paradigmas de sostenibilidad territorial.



**Ambiente &
Sustentabilidad
Editorial**



ISBN: 978-9907-9500-2-1



9 789907 950021

Conservar no es detener la producción, es hacerla más viva; en los Andes del Ecuador, el futuro sostenible nace cuando el suelo se regenera, la diversidad se protege y la innovación honra lo ancestral.