

**PASANTIA DE APOYO EN LA FORMULACION DE ALTERNATIVAS DE
CONSERVACIÓN DE ÁREAS AMBIENTALES CON IMPORTANCIA
ESTRATÉGICA EN EL PÁRAMO TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA EN LOS
MUNICIPIOS DE TOTA, AQUITANIA, PESCA, MONGUA, MONGUÍ Y
SIACHOQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.**

LAURA VALENTINA JIMÉNEZ MONTAÑA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, SECCIONAL TUNJA
FACULTAD
INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA
2024**

**PASANTIA DE APOYO EN LA FORMULACION DE ALTERNATIVAS DE
CONSERVACIÓN DE ÁREAS AMBIENTALES CON IMPORTANCIA
ESTRATÉGICA EN EL PÁRAMO TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA EN LOS
MUNICIPIOS DE TOTA, AQUITANIA, PESCA, MONGUA, MONGUÍ Y
SIACHOQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.**

LAURA VALENTINA JIMÉNEZ MONTAÑA

Pasantía para optar por el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Asesor:

MGS. ESP. EDINSON FABIAN MONROY AVILA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, SECCIONAL TUNJA

FACULTAD

INGENIERIA AMBIENTAL

TUNJA

2024

EL AUTORIDADES ACADÉMICAS

**Fr. José Fernando MANCIPE, O.P.
Rector**

**Fr. José Gregorio HERNÁNDEZ TARAZONA, O.P.
Vicerrectora académica**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, SECCIONAL TUNJA
TUNJA
2024**

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

CIUDAD Y FECHA

DEDICATORIA

Dedico este proyecto final de grado con inmensa gratitud y profundo respeto a mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo constante y su incansable dedicación, que han sido la fuerza motriz detrás de cada uno de mis logros; a mis abuelos, cuyas enseñanzas y valores de perseverancia, honestidad y pasión por el conocimiento han sido una guía invaluable a lo largo de mi vida; a mis tíos, por ser modelos de integridad y trabajo arduo, cuyo aliento y sabios consejos han sido esenciales para alcanzar esta meta.

A la Universidad Santo Tomás, y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental, por proporcionarme una educación de calidad, un entorno académico estimulante y las herramientas necesarias para desarrollar mis habilidades técnicas y analíticas, su compromiso con la excelencia académica ha sido un motor constante en mi crecimiento profesional.

A la Secretaría de Medio Ambiente de la Gobernación de Boyacá, donde tuve la posibilidad de realizar mi pasantía, por brindarme la oportunidad de trabajar en una institución tan dedicada a la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. Su labor incansable en la preservación de nuestro entorno ha sido una inspiración para mí y ha reforzado mi determinación de contribuir significativamente en el campo de la ingeniería ambiental.

A todos ustedes, que han sido pilares fundamentales en mi formación académica y personal, les expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo, guía y confianza en mi potencial. Este logro no solo es un reflejo de mi esfuerzo, sino también del apoyo y la dedicación de cada uno de ustedes. Este logro es tan suyo como mío.

Con cariño Laura Valentina Jimenez Montaña.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han sido esenciales para la realización de este proyecto final de grado. A mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y su constante motivación, que me han permitido superar cada obstáculo en mi camino. A mis abuelos, por ser un ejemplo de perseverancia y sabiduría, cuyas enseñanzas y valores han sido fundamentales en mi formación como persona. A mis tíos, por su incesante aliento y por compartir sus experiencias, que me han inspirado a seguir adelante y a mantenerme enfocado en mis metas. A mis amigos, por su compañerismo, su apoyo constante y por estar siempre presentes en los momentos difíciles y en las celebraciones, haciendo que esta etapa sea más llevadera y significativa.

A la Universidad Santo Tomás, especialmente a la Facultad de Ingeniería Ambiental, por proporcionarme una educación sólida, integral y de alta calidad; gracias a su enfoque, he podido desarrollar habilidades y conocimientos que han sido cruciales para mi formación profesional. A la Secretaría de Medio Ambiente de la Gobernación de Boyacá, por ofrecerme la oportunidad de realizar mi pasantía y por su dedicación a la protección del medio ambiente, trabajar con ustedes ha sido una experiencia enriquecedora que me ha permitido aplicar mis conocimientos en un contexto real y aprender de su compromiso con la sostenibilidad. A mis tutores, tanto de la universidad como de la Secretaría, por su invaluable guía, paciencia y apoyo a lo largo de todo este proceso, sus consejos han sido esenciales para el desarrollo y éxito de este proyecto.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por creer en mí, por su constante apoyo y por ser una parte fundamental de este logro.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	12
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS	18
1.1.1. Objetivo general	18
1.1.2. Objetivos específicos.....	18
2. MARCO TEORICO	18
ESTADO DEL ARTE	21
2.1. MARCO LEGAL.....	23
3. DISEÑO METODOLÓGICO	24
3.1. Metodología	24
<i>Fase 1: Recolección de Información Primaria</i>	<i>24</i>
<i>Fase 2: Procesamiento y Análisis de Datos</i>	<i>25</i>
<i>Fase 3: Propuesta de Soluciones Basadas en la Naturaleza.....</i>	<i>25</i>
4. RESULTADOS Y ANALISIS	25
4.1 Identificación y delimitación de zonas con importancia estratégica en el páramo de Tota- Bijagual- Mamapacha	26
4.2 Alternativa de Restauración ecológica	37
4.2.1 Cercas Vivas y Viveros Transitorios	37
4.3 Soluciones basadas en la naturaleza basadas en economía circular 52	
4.3.1 Aprovechamiento de residuos sólidos mediante el uso de cepas de escarabajos para producción de abono.	52
4.3.2 Fortalecimiento del Ecoturismo	56
4.3.3 Generación de Biogás	59
4.3.4 Medios de Vida Sostenible (Jardines de Vida)	62
5. CONCLUSIONES.....	69
6. RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS.....	76

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Marco Legal	23
Tabla 2 Delimitación Municipio de Tota	27
Tabla 3 Delimitación Municipio de Aquitania	29
Tabla 4 Delimitación del Municipio de Mongua.....	29
Tabla 5 Delimitación del Municipio de Monguí.....	31
Tabla 6 Delimitación del Municipio de Siachoque.....	32
Tabla 7 Delimitación del Municipio de Pesca.....	34
Tabla 8 Resumen de Delimitación	35
Tabla 9 Alternativa de Restauración ecológica	43
Tabla 10 Presupuesto de Cercas vivas	44
Tabla 11 Presupuesto Instalación de viveros transitorios	46
Tabla 12 Valor de la Restauración Ecológica	49
Tabla 13 Presupuesto de suministro de la planta de compostaje	54
Tabla 14 Valor del fortalecimiento de los senderos	57
Tabla 15 Presupuesto Biogas	60
Tabla 16 Presupuesto Jardines de Vida	64
Tabla 17 Valor total de las Soluciones Basadas en la Naturaleza	67

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1 Comparación de las SBN	67

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Presupuesto del suministro del vivero.....	76
Anexo 2 Senderos Ecológicos	79

INTRODUCCION

La presente pasantía, titulada “Apoyo en la formulación de alternativas de conservación de áreas ambientales con importancia estratégica en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha, en los municipios de Tota, Aquitania, Pesca, Mongua, Monguí y Siachoque, departamento de Boyacá”, tiene como objetivo establecer estrategias para preservar áreas críticas de páramo en dichos municipios. Estos ecosistemas son fundamentales para la regulación hídrica y la biodiversidad regional, lo cual se busca mediante la delimitación precisa de zonas prioritarias, utilizando herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección (Acuña, Figueroa, & Wilches, 2017; Colciencias, 2019).

La implementación de estrategias de gestión ambiental sostenible incluye la promoción de prácticas agrícolas responsables, la reforestación con especies autóctonas y la rehabilitación de áreas degradadas. Estas acciones están orientadas a involucrar a las comunidades locales y fomentar la educación ambiental, facilitando su participación en la conservación (Corpoboyacá, 2015; Banco Mundial, 2021).

Esta iniciativa busca establecer procesos de conservación efectivos en los hábitats estratégicos del páramo, mejorando la gestión de recursos naturales y fortaleciendo las capacidades locales para la protección ambiental (Maya, Becoche, & Gómez, 2022). La relevancia del proyecto reside en la necesidad urgente de proteger los páramos, que son esenciales para los servicios ecosistémicos y la resiliencia ante el cambio climático (Caicedo, 2021; CVC y el Instituto Alexander von Humboldt, 2018).

Durante la pasantía en la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá, se apoyó la identificación y delimitación de áreas críticas, así como la implementación de estrategias de gestión sostenible (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Estas acciones introducen

prácticas innovadoras en la conservación del páramo, asegurando un manejo óptimo y sostenible de estos ecosistemas (Puentes, 2021; Galvis, 2015).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha, situado en la cordillera Oriental de los Andes colombianos, abarca una extensión considerable de 151,497.98 hectáreas que se extienden por los departamentos de Boyacá y Casanare (Rueda & Hurtado, 2021). Este ecosistema, caracterizado por su altitud entre los 3,100 y 3,970 metros sobre el nivel del mar, desempeña un papel vital en el equilibrio ecológico regional y la sostenibilidad de múltiples servicios ecosistémicos fundamentales (Rueda & Hurtado, 2021).

A pesar de su importancia ecológica, el complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha enfrenta una serie de amenazas significativas que comprometen su integridad y funcionalidad, siendo la deforestación es uno de los principales problemas, impulsada principalmente por la expansión de la frontera agrícola y la minería, lo que ha llevado a la fragmentación del hábitat, dividiendo áreas que son cruciales para la migración de especies y la conectividad ecológica; dejando como resultado, se reduce la capacidad del ecosistema para mantener poblaciones viables y saludables de flora y fauna, muchas de las cuales son endémicas o están en peligro de extinción (Entre Ojos, 2020).

La alteración de los ciclos hidrológicos es otra consecuencia grave de estas actividades humanas, puesto que la eliminación de la cobertura vegetal y la alteración del suelo debido a la deforestación y la minería aumentan la erosión del suelo y la sedimentación en los cuerpos de agua. Esto no solo afecta la calidad del agua al incrementar la carga de sedimentos y contaminantes, sino que también reduce la capacidad de los ecosistemas de páramo para regular el

flujo hídrico, lo que puede resultar en periodos de escasez de agua durante épocas secas y aumentar la vulnerabilidad de las comunidades locales que dependen de estos recursos (Montenegro, 2015).

Además, el cambio climático representa un desafío adicional para la estabilidad del complejo de páramos. El aumento de las temperaturas y las variaciones en los patrones de precipitación están alterando los hábitats y afectando la distribución geográfica de especies sensibles a estas condiciones; esto ha llevado a la reducción de la diversidad biológica y a la pérdida de especies adaptadas a las condiciones específicas del páramo, comprometiendo así la capacidad del ecosistema para proporcionar servicios esenciales como la regulación hídrica, la captura de carbono y la protección contra desastres naturales (Rueda & Hurtado, 2021).

En ese sentido, las amenazas de deforestación, fragmentación del hábitat, alteración de los ciclos hidrológicos y cambio climático están socavando la integridad ecológica del complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha. Estos problemas no solo afectan la biodiversidad única de la región, sino que también comprometen la capacidad del ecosistema para proporcionar servicios vitales a las comunidades locales y regionales, por lo que se ve a necesidad abordar estas problemáticas de manera integral y con enfoque técnico para garantizar la conservación a largo plazo de este ecosistema andino.

A razón de lo anterior, y entendiendo que hoy la Secretaría Ambiente de la Gobernación de Boyacá presta la asistencia técnica en la formulación de proyectos ambientales, para las convocatorias adelantadas del Ministerio de Ambiente, se hace necesario brindar un apoyo técnico. Desde nuestros procesos formativos en la estructuración de los proyectos que serán coa avalados por el la Secretaría de ambiente para ser presentados ante el Ministerio de Ambiente.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La conservación y gestión ambiental del complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha se justifica en base a diversas dimensiones que reflejan la urgencia y la necesidad de intervención para asegurar la sostenibilidad de este ecosistema estratégico (Puentes, 2021).

Desde una perspectiva técnica, la implementación de soluciones basadas en la ingeniería ambiental es crucial para mitigar los impactos negativos generados por actividades humanas, por lo que la restauración ecológica y el manejo adecuado del territorio son fundamentales para revertir la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, especialmente de especies endémicas y en riesgo de extinción; mientras que la recuperación de la cobertura vegetal mediante la reforestación con especies nativas fortalecerá la capacidad del páramo para regular el ciclo hidrológico, asegurando así el suministro de agua esencial para las comunidades locales (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2020).

Desde el punto de vista ecológico, la conservación del complejo de páramos es crucial para mantener la biodiversidad única de los Andes colombianos. Estos ecosistemas de alta montaña albergan una gran variedad de especies adaptadas a condiciones extremas, desempeñando roles fundamentales en la regulación climática y el almacenamiento de carbono, por lo que la pérdida de hábitats y la fragmentación del paisaje comprometen la estabilidad y resiliencia del ecosistema frente a cambios climáticos y presiones antropogénicas, subrayando la necesidad de medidas urgentes de conservación (Entre Ojos, 2020).

En términos socioeconómicos, se busca promover el desarrollo sostenible de las comunidades locales a través de la creación de oportunidades económicas viables y la reducción de la dependencia de prácticas insostenibles como la agricultura

extensiva y la minería. La implementación de negocios verdes y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles no solo diversificarán las fuentes de ingresos, sino que también fomentarán el ecoturismo responsable, por lo que este enfoque no solo generará beneficios económicos adicionales, sino que también aumentará la conciencia ambiental y fortalecerá el compromiso de las comunidades locales en la gestión y conservación del páramo (SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2020).

La dimensión de educación ambiental y participación comunitaria es fundamental para asegurar la efectividad y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto, ya que la falta de conocimiento y conciencia sobre la importancia de los páramos y sus servicios ecosistémicos ha contribuido a prácticas insostenibles de uso del suelo (Velandia & Gómez, 2022). A través de programas educativos y actividades participativas, se empoderará a las comunidades locales para que se conviertan en defensores activos de la conservación ambiental y promuevan prácticas de manejo del territorio que aseguren la salud a largo plazo del ecosistema.

En el contexto más amplio de políticas nacionales e internacionales, Colombia tiene un compromiso significativo con la conservación de sus ecosistemas estratégicos y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha, como fuente crucial de recursos hídricos y biodiversidad, es prioritario en la secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá, por lo que la implementación efectiva de este proyecto contribuirá directamente a la protección de estos recursos naturales y al fortalecimiento de los desafíos ambientales y climáticos emergentes.

Formular este proyecto es esencial no solo para cumplir con los objetivos de conservación y gestión ambiental mencionados, sino también para avanzar en el conocimiento técnico y científico necesario para abordar problemas ambientales complejos. Como pasante, la participación en este proyecto proporciona una oportunidad invaluable para aplicar conocimientos teóricos en un contexto real,

desarrollar habilidades prácticas en la gestión de ecosistemas y contribuir a soluciones sostenibles que beneficien tanto al medio ambiente como a las comunidades locales.

La formulación de este proyecto permitirá el desarrollo de competencias técnicas en análisis de riesgo, identificación de áreas estratégicas y diseño de proyectos sostenibles, lo que es fundamental para la carrera de un ingeniero ambiental. Además, involucrarse en este proyecto refuerza el compromiso personal y profesional con la conservación del medio ambiente, ofreciendo una perspectiva práctica sobre la importancia de integrar la ciencia y la ingeniería en la solución de problemas ambientales. Esta experiencia será un pilar para futuras intervenciones y proyectos de conservación, estableciendo un precedente para prácticas de manejo ambiental efectivas y replicables en otros ecosistemas vulnerables.

1.3. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Apoyar en la formulación de alternativas de conservación y gestión ambiental para áreas estratégicas del Páramo Tota - Bijagual – Mamapacha.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar y delimitar de zonas con importancia estratégica en el páramo de Tota- Bijagual- Mamapacha en los municipios establecidos.
- Apoyar la formulación alternativas del proyecto considerando prácticas de restauración ecológica y manejo de recursos naturales.
- Proponer soluciones basadas en la naturaleza que contribuyan al desarrollo económico de las comunidades locales y a la conservación del ecosistema.

2. MARCO TEORICO

Según, Velandia & Gómez, 2022. La gestión ambiental consiste en un proceso completo que se encarga de planificar, organizar, dirigir y supervisar las actividades que tienen efectos sobre el medio ambiente con el objetivo de favorecer su cuidado, defensa y aprovechamiento sostenible, por lo que esta disciplina se apoya en una serie de principios básicos que orientan su implementación y práctica. Asimismo, se acoge al principio de precaución que determina la necesidad de adoptar medidas preventivas ante eventuales impactos ambientales negativos incluso en ausencia de certeza científica absoluta (Colciencias, 2019).

Por otra parte, el principio de prevención según Colciencias, 2019, pretende evitar la producción de contaminación o daños ambientales en origen, dando prioridad a medidas de mitigación y control desde el comienzo de cualquier actividad; en donde se establece la responsabilidad en aquellos que originan impactos ambientales son responsables de su prevención, control y restauración, tanto en el ámbito individual como empresarial.

Por lo tanto, se fundamenta en el principio de participación, que estimula la participación de la sociedad civil, las comunidades locales y otras partes interesadas en la toma de decisiones ambientales, propiciando así una mayor transparencia y legitimidad en los procesos de gestión ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Por último, se dirige hacia la búsqueda de un equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo, impulsando prácticas y políticas que garanticen la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Esto se conoce como principio de sostenibilidad, y estos principios básicos son pilares fundamentales en la gestión ambiental, orientando la toma de decisiones y acciones hacia la protección y preservación del medio ambiente para las actuales y futuras generaciones (Colciencias, 2019).

En ese sentido, se apoya en herramientas e instrumentos esenciales para planificar, implementar y evaluar acciones que protejan y conserven el medio ambiente, según lo establece la Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana, 2019; por lo que estas herramientas comprenden una variedad de enfoques y metodologías que abordan distintos aspectos de la gestión ambiental, desde la evaluación de impacto ambiental hasta el seguimiento de la calidad del aire y del agua, pasando por la gestión de residuos y la conservación de la biodiversidad.

Entre las herramientas más habituales se hallan los sistemas de gestión ambiental, como ISO 14001, que ofrecen un marco sistemático para identificar, priorizar y gestionar los aspectos ambientales y los impactos asociados de las actividades de una organización (ISO, 2020).

Sin embargo, otras herramientas relevantes establecidas por Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana, 2019, se incluyen los análisis de ciclo de vida, que evalúan el impacto ambiental de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida

completo, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Además, los sistemas de información geográfica (SIG) y las tecnologías de teledetección se usan para recoger, almacenar, analizar y visualizar datos espaciales relacionados con el medio ambiente, lo que facilita la toma de decisiones basada en la evidencia y la planificación espacial.

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es una herramienta fundamental para las organizaciones que quieren gestionar eficazmente sus impactos ambientales y optimizar su desempeño ambiental (Acuña, Figueroa, & Wilches, 2017). Este sistema se implementa frecuentemente siguiendo la norma ISO 14001, que ofrece un marco ordenado que posibilita identificar, valorar y gestionar los aspectos ambientales de las actividades de la organización, mediante la definición de políticas ambientales, la planificación de objetivos y metas, la implementación de controles operativos y la realización de auditorías internas, el SGA propicia la mejora continua del desempeño ambiental de la organización (ISO, 2020).

Por otra parte, el Marco Ambiental y Social (MAS) establecido por el Banco Mundial, 2021, lo denomina un conjunto de directrices, políticas y estándares que definen los criterios ambientales y sociales que deben seguir los proyectos y actividades en diversos sectores, como la construcción, la minería, la energía y la agricultura. El MAS se emplea para evaluar, gestionar los impactos ambientales y sociales de dichos proyectos desde su fase de planificación hasta su ejecución y cierre, ya que este marco ofrece una estructura integral para identificar, abordar los riesgos y oportunidades ambientales y sociales relacionados con las actividades humanas.

Entre los elementos clave del MAS se encuentran la evaluación del impacto ambiental y social, la participación y consulta de las partes interesadas, la gestión de los riesgos y la vulnerabilidad, la compensación y mitigación de los impactos adversos, y el monitoreo y seguimiento del desempeño ambiental y social a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Rodrigo, Picó, & Dimuro, 2018).

Según la ONU Programa para el Medio Ambiente, 2022. Los desafíos ambientales emergentes representan una preocupación creciente en el panorama global, exigiendo respuestas rápidas y efectivas para abordar sus complejas implicaciones. Entre estos desafíos se encuentran el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del aire y del agua, la degradación del suelo, la gestión de residuos y la escasez de recursos naturales.

Estos problemas no solo tienen impactos significativos en el medio ambiente, sino que también afectan la salud humana, la seguridad alimentaria, la estabilidad económica y la calidad de vida de las comunidades en todo el mundo, ya que según estudios de (National Geographic, 2023), la interconexión de estos desafíos ambientales con otros problemas globales, como la pobreza, la desigualdad y los conflictos, amplifica su complejidad y urgencia, por lo que es fundamental adoptar enfoques integrados y colaborativos que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia en todos los niveles, desde las políticas internacionales hasta las acciones locales.

Esto incluye la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, la conservación y restauración de los ecosistemas, la promoción de prácticas agrícolas y de consumo sostenibles, la innovación en tecnologías limpias y la promoción de una mayor conciencia ambiental y participación ciudadana, con el fin de abordar los desafíos ambientales emergentes se requiere un compromiso colectivo y acciones coordinadas a nivel global, regional y local, protegiendo y preservando el planeta para las generaciones presentes y futuras (ONU Programa para el Medio Ambiente, 2022).

ESTADO DEL ARTE

Corpoboyacá. 2023. En el estudio “Proceso de restauración en el páramo Tota-Bijagual-Mamapacha”, el objetivo fue evaluar el impacto ambiental del incendio en el sector de Alfombras y desarrollar un plan de restauración. La metodología

utilizada incluyó recorridos de campo, análisis cartográfico y la colaboración interdisciplinaria con hidrólogos, biólogos e ingenieros ambientales. Los resultados revelaron que aproximadamente 350 hectáreas fueron afectadas, con un deterioro significativo de especies de frailejones, avifauna y mamíferos pequeños. Se concluyó que el proceso de restauración podría tardar hasta 70 años y se destacó la necesidad de una cooperación estrecha con la comunidad y las autoridades locales para la implementación de un plan de restauración efectivo (Corpoboyacá, 2023)

Caicedo. 2021. En su estudio “Transformación de los ecosistemas de páramo en Colombia”, el objetivo fue analizar el impacto de la agricultura y la ganadería en los páramos del país, incluyendo el complejo Tota-Bijagual-Mamapacha. La metodología consistió en el uso de imágenes satelitales y estudios de campo para evaluar la magnitud de la transformación del páramo. Los resultados indicaron que el 15% del área de los páramos en Colombia ha sido transformada por actividades antrópicas, siendo la siembra de cultivos y la cría de ganado las principales amenazas. El estudio recomendó la implementación de prácticas agroecológicas y la restauración activa como medidas necesarias para mitigar estos impactos (Caicedo, 2021)

Montenegro. 2015. En el estudio “Caracterización socioeconómica y cultural del Complejo de Páramos Tota-Bijagual-Mamapacha en jurisdicción de Corpoboyacá con énfasis en caracterización de actores, análisis de redes y de servicios ecosistémicos”, el objetivo fue identificar las especies en peligro de extinción y evaluar la capacidad del páramo para regular los flujos hídricos. La metodología incluyó observación directa, monitoreo de especies y análisis de la calidad del agua. Los resultados destacaron la presencia de especies clave como el Oso Andino y el Periquito Aliamarillo, y subrayaron la importancia del páramo en la regulación hídrica. El estudio concluyó que la conservación del páramo es esencial para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, recomendando la implementación de proyectos de restauración tanto activa como pasiva

(Montenegro, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2015)

2.1. MARCO LEGAL

Tabla 1 Marco Legal

Norma	Observaciones
Ley 99 de 1993	Establece que el Ministerio del Medio Ambiente debe fijar los límites máximos permisibles de emisión y regular la disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental.
Decreto 1821 de 2020	Define áreas de especial importancia ecológica y establece regulaciones para la protección de cuencas, áreas estratégicas para el recurso hídrico y áreas protegidas.
Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico	Orientada a la conservación y restauración de ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, asegurando la oferta de agua para el país.
Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)	Promueve la conservación, manejo y uso sostenible de la biodiversidad para mantener la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos.
Política de Producción y Consumo Sostenibles	Fomenta el emprendimiento de negocios verdes y el encadenamiento de actores para optimizar el uso de recursos y la gestión de residuos, promoviendo prácticas sostenibles.

Estrategia Nacional de Economía Circular	Busca la valorización continua de recursos mediante el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, promoviendo nuevos modelos de negocio sostenibles y la simbiosis industrial.
--	---

Fuente: El autor.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

El proyecto de conservación y gestión ambiental del complejo de páramos se fundamenta en un enfoque integral y multidisciplinario, por medio de la combinación de técnicas de restauración ecológica, manejo sostenible de recursos, educación ambiental y participación comunitaria. El desarrollo metodológico se organiza en tres fases principales: recolección de información primaria, procesamiento de datos, y propuesta de soluciones basadas en la naturaleza.

Cabe destacar que este proyecto se desarrolla en el marco de una pasantía, lo que resalta su carácter educativo y formativo, así como el apoyo técnico brindado a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Fase 1: Recolección de Información Primaria

En la primera fase, se proporciona apoyo técnico a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá en la caracterización y diagnóstico del área de intervención, mediante el análisis de datos secundarios obtenidos de estudios previos, bases de datos ambientales y documentos técnicos. En donde, a partir de los sistemas de información geográfica (SIG), se realiza un levantamiento exhaustivo del complejo de páramos, empleando técnicas de teledetección y análisis geoespacial, para identificar las características de las zonas a intervenir.

Fase 2: Procesamiento y Análisis de Datos

Una vez completada la caracterización, se continúa brindando asistencia técnica a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en la planificación y diseño de las acciones de restauración ecológica. Esta fase implica la identificación de las áreas prioritarias para la intervención establecidas en la delimitación, basándose en criterios de conservación de biodiversidad, conectividad ecológica y regulación hídrica, teniendo en cuenta su importancia ecológica, el grado de degradación y la vulnerabilidad.

Por lo tanto, se desarrollan alternativas prácticas de reforestación con especies acordes al ecosistema para la construcción de cercas vivas para estabilizar el suelo y mejorar la conectividad entre fragmentos de hábitat; y a su vez la instalación de viveros transitorios para el crecimiento de plántulas o plantas jóvenes en condiciones controladas antes de su traslado a los sitios definitivos.

Fase 3: Propuesta de Soluciones Basadas en la Naturaleza

En esta fase, se formulan propuestas de soluciones basadas en la naturaleza para mejorar la conservación del ecosistema y promover el desarrollo económico sostenible en las comunidades a partir de la información secundaria. Las propuestas incluyen el uso de abonos orgánicos para la mejora del suelo, el fortalecimiento de senderos ecológicos para impulsar el ecoturismo, la generación de biogás como fuente de energía renovable y la creación de jardines de vida para fomentar la biodiversidad y el bienestar comunitario. Estas soluciones están diseñadas para promover una economía circular y sostenible, reduciendo el impacto ambiental y generando nuevas oportunidades económicas para las comunidades locales.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Identificación y delimitación de zonas con importancia estratégica en el páramo de Tota- Bijagual- Mamapacha

El Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, situado en el departamento de Boyacá, Colombia, abarca los municipios de Tota, Aquitania, Pesca, Mongua, Monguí y Siachoque. Este ecosistema de alta montaña es crucial debido a su papel en la regulación del ciclo hidrológico, la captura de carbono y la conservación de una biodiversidad única; siendo un área estratégica que proporcionan servicios ecosistémicos críticos que son esenciales para el bienestar humano y la sostenibilidad ambiental (Corpoboyaca, 2023).

El Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha funciona como una esponja natural que regula el flujo de agua hacia los ríos y embalses, garantizando la seguridad hídrica para las comunidades locales, tanto rurales como urbanas. Además, este ecosistema desempeña un papel importante en la captura de carbono, ya que la vegetación y el suelo almacenan grandes cantidades de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático; por lo que la preservación y restauración de estos ecosistemas es vitales para reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y mitigar los efectos del cambio climático a nivel global (Corpoboyaca, 2023).

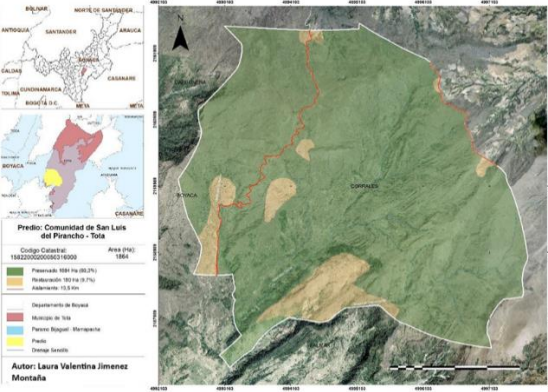
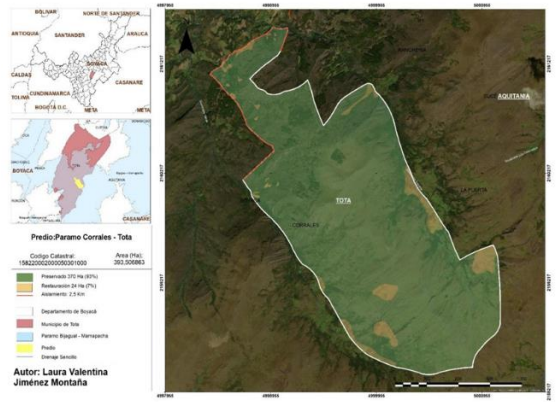
La biodiversidad del Páramo incluye numerosas especies endémicas y amenazadas cuya conservación es esencial para mantener la estabilidad y funcionalidad de los ecosistemas. Sin embargo, la presión antropogénica, como la agricultura intensiva, la minería y el cambio de uso del suelo, han representado una amenaza significativa para la integridad del páramo, provocando la degradación del suelo, la pérdida de vegetación y la alteración del ciclo hidrológico (ALMECIGA, 2019).

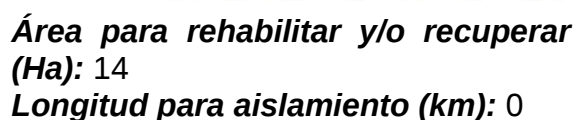
En este contexto, la identificación y delimitación de zonas estratégicas en el Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, contó con el apoyo de profesionales de Planeación

Municipal y la asistencia técnica de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá, para establecer predios cuyo manejo y estrategias de aislamiento y restauración fueran efectivas para la conservación del páramo. La delimitación tiene en cuenta diversas categorías de uso del suelo, incluyendo bosque protector, frutales, conservación y protección de recursos naturales, protección integral de recursos naturales, área de producción agropecuaria, área de especial importancia ecosistémica, área de recarga acuífera y área de bosque protector y fauna.

Este proceso de delimitación es esencial para asegurar la protección de áreas clave que contribuyen a la provisión de servicios ecosistémicos y a la sostenibilidad ambiental de la región. A continuación, se presenta la delimitación técnica de los predios establecidos, destacando las áreas prioritarias para la conservación y gestión sostenible del páramo.

Tabla 2 Delimitación Municipio de Tota

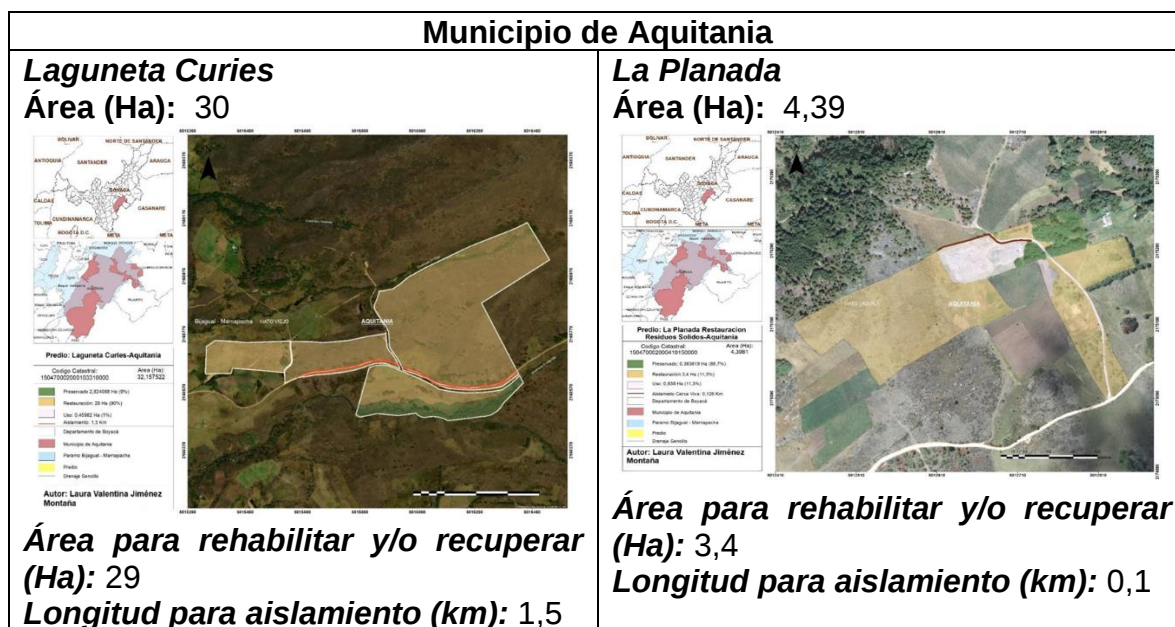
Municipio de Tota	
Comunidad de San Luis del Pirancho Área (Ha): 1863,91  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 180 Longitud para aislamiento (km): 13,5 Vereda Ranchería Área (Ha): 388,49	Páramo de Corrales Área (Ha): 393,5  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 2,5 Longitud para aislamiento (km): 2,5 Vereda La Puerta Área (Ha): 10,39



Vereda Tobal
Área (Ha): 8,22



Tabla 3 Delimitación Municipio de Aquitania



Fuente: El autor

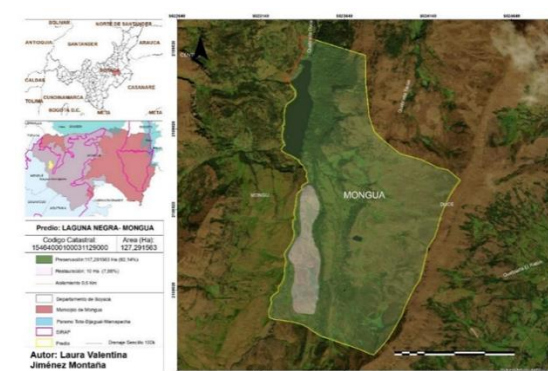
En el municipio de Aquitania, se establece una calificación del uso del suelo como conservación y protección de recursos naturales/ frutales, en donde la delimitación de terrenos en el Páramo revela áreas clasificadas en nivel 1 como Bosques y Áreas Seminaturales y en nivel 3 como herbazal denso de tierra firme con arbustos, las cuales son cruciales para la conservación de la biodiversidad local, proporcionando hábitats para numerosas especies de flora y fauna.

Asimismo, otras áreas son clasificadas en nivel 1 como Territorios Agrícolas y en nivel 3 como mosaico de pastos con espacios naturales, ya que estas zonas combinan actividades agrícolas con fragmentos de vegetación natural, lo que los vuelve importantes para la biodiversidad y la conservación ambiental, ya que combinan actividades ganaderas sostenibles con la preservación de ecosistemas naturales, contribuyendo así al equilibrio ecológico y a la mitigación del cambio climático.

Tabla 4 Delimitación del Municipio de Mongua

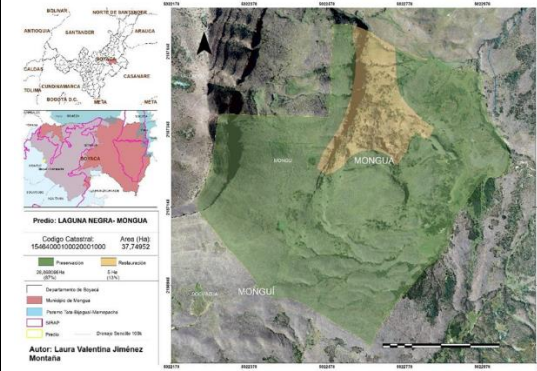
Municipio de Mongua

Laguna Negra 1
Área (Ha): 120,75



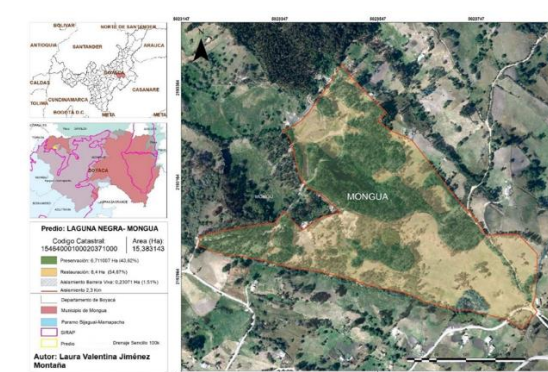
Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 10
Longitud para aislamiento (km): 0,5

Laguna Negra 2
Área (Ha): 35,58



Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 5
Longitud para aislamiento (km): 0

La cruz chital o Tobamoscas
Área (Ha): 15,9



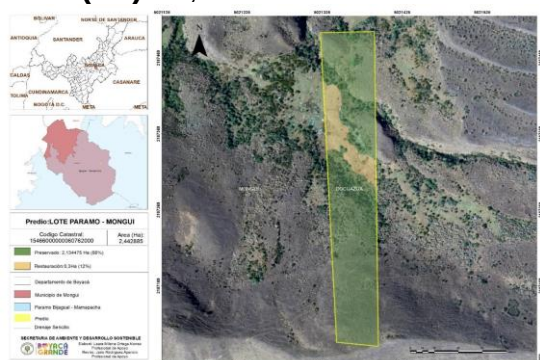
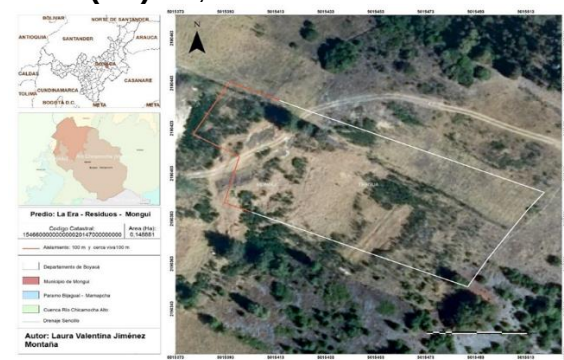
Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 8,4
Longitud para aislamiento (km): 2,3

Fuente: El autor

En el municipio de Mongua, la delimitación de terrenos ha revelado áreas clasificadas con un uso del suelo destinado a la protección integral de los recursos naturales y/o la conservación de flora y fauna, en donde mayoritariamente se encuentran en nivel 1 como Bosques y Áreas Seminaturales, y en nivel 3 como herbazal denso de tierra firme con arbustos, por lo que la importancia de estas zonas radica en su capacidad para mantener la biodiversidad y proporcionar servicios ecosistémicos críticos, como la regulación del ciclo hídrico y la captura de carbono.

También se identifica áreas de menor extensión clasificadas en nivel 1 como Territorios Agrícolas y en nivel 3 como pastos limpios, lo que establece que suelos permiten la coexistencia de pastizales y áreas naturales, fomentando la resiliencia ecológica, la protección y estabilidad del ciclo hídrico y del carbono.

Tabla 5 Delimitación del Municipio de Monguí

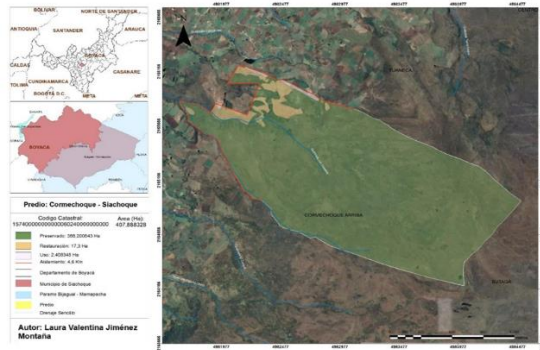
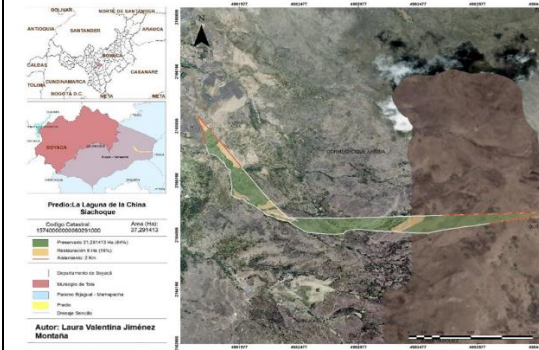
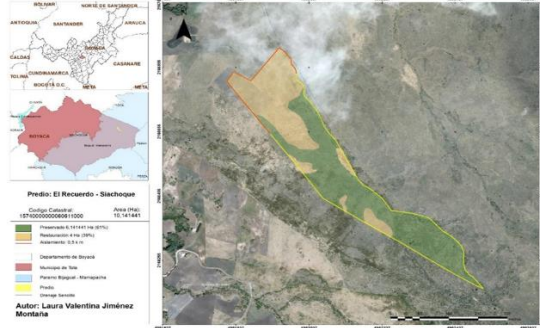
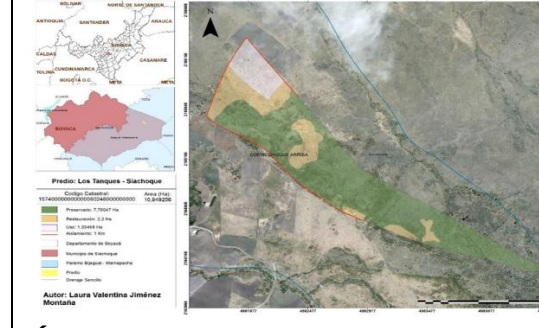
Municipio de Monguí	
Lote Páramo Área (Ha): 2,8  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 0,3 Longitud para aislamiento (km): 0	La Era Área (Ha): 0,66  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 0,1 Longitud para aislamiento (km): 0,1
Escuela Vereda Pericos Área (Ha): 0,137  Área para vivero	

Fuente: El autor

En el municipio de Monguí presenta áreas con categorías de protección integral de los recursos naturales y áreas de producción agropecuaria tradicional, las cuales se clasifican en nivel 1 como Territorios Agrícolas y en nivel 3 como pastos limpios, por

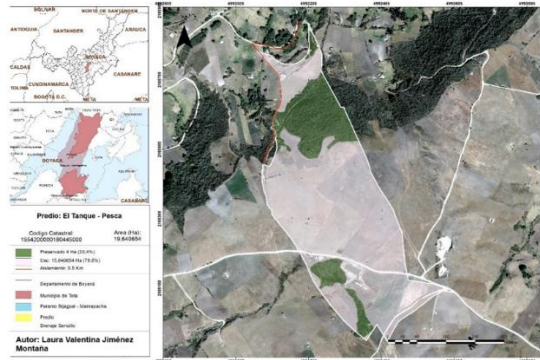
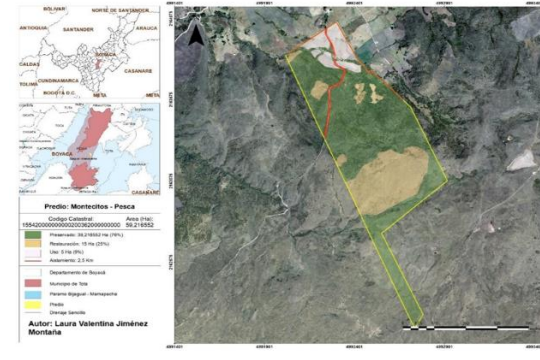
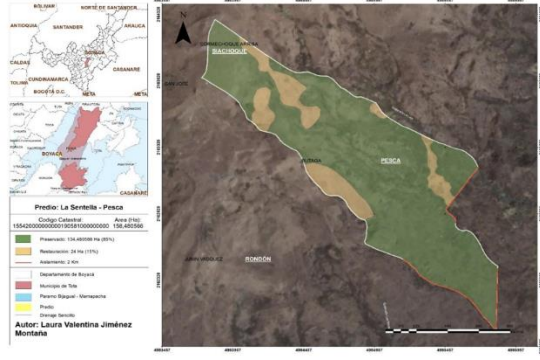
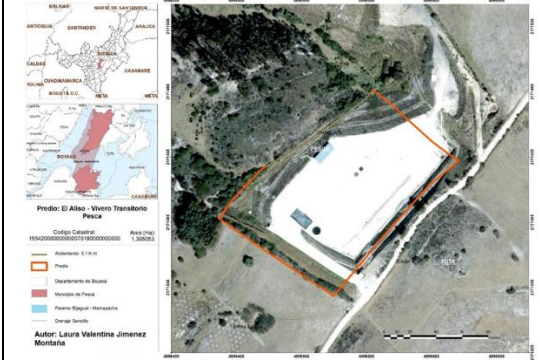
lo que la combinación de estos suelos permite un uso diversificado y sostenible del territorio, donde la agricultura y la ganadería se complementan. Además, ambos tipos de suelos juegan un papel importante en la regulación del ciclo del agua y en la captura de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Tabla 6 Delimitación del Municipio de Siachoque

Municipio de Siachoque	
Cormechoque Área (Ha): 414  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 17,3 Longitud para aislamiento (km): 4,6	La Laguna de la China Área (Ha): 37,2  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 6 Longitud para aislamiento (km): 2
El Recuerdo Área (Ha): 11,25  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 4 Longitud para aislamiento (km): 0,5	Los Tanques Área (Ha): 11,25  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 2,2 Longitud para aislamiento (km): 1

En donde los bosques y áreas seminaturales desempeñan un papel fundamental en la biodiversidad y la regulación climática, al tiempo que el herbazal denso contribuye a la conservación del suelo y proporciona hábitats para la fauna. Los Territorios Agrícolas son cruciales para la seguridad alimentaria, mientras que los pastos limpios son esenciales para el sostenimiento de la ganadería. Además, el mosaico de pastos con espacios naturales promueve la biodiversidad y facilita la conectividad ecológica.

Tabla 7 Delimitación del Municipio de Pesca

Municipio de Pesca	
El Tanque Área (Ha): 0,43  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 0 Longitud para aislamiento (km): 0,5	Montecitos Área (Ha): 70,07  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 15 Longitud para aislamiento (km): 2,5
La Sentella Área (Ha): 160  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 24 Longitud para aislamiento (km): 2	Aliso Área (Ha): 0,43  Área para rehabilitar y/o recuperar (Ha): 0 Longitud para aislamiento (km): 0,1

Fuente: El autor

En el municipio de Pesca, la categoría de uso del suelo se centra en el Área de recarga de acuíferos, área de bosque protector y protección de fauna, en donde la mayoría del área se clasifica como "Territorios Agrícolas" en el Nivel 1 y "Pastos Limpios" en el Nivel 3, así como "Bosques y Áreas Seminaturales" en el Nivel 1 y "Herbazal" en el Nivel 3.

En donde los territorios agrícolas son fundamentales para la producción de cultivos, mientras que los pastos limpios apoyan una ganadería eficiente. Simultáneamente, los bosques y áreas seminaturales desempeñan un papel esencial en la preservación de la biodiversidad y el control del agua, mientras que el herbazal ayuda a estabilizar el suelo y proporciona hábitats cruciales para la fauna

Tabla 8 Resumen de Delimitación

Municipio	Vereda	Nombre Predio	Área (Ha)	# Matricula inmobiliaria	Longitud aislamiento (km)	Área a rehabilitar (Ha)	Barrera Viva (km)
TOTA	Corales	Comunidad de San Luis del Pirancho	1863,9159	095-65644	13,5	180	
	Corales	Paramo de Corales	393,5066	Decreto No. 030 del 17/04/2024	2,5	24	0,19
	Ranchería	Vereda Ranchería	388,4902		0	14	
	la puerta	Vereda La Puerta	10,3921		1	3	
	Tobal	Vereda Tobal	8,224		0,6	3,6	
AQUITANIA	Hato Viejo	Laguneta Curies	30	095-8858	1,5	29	
	Hato Laguna	La Planada	4,3981	095-111604	0,1	3,4	0,2
MONGUA	Duce	Laguna Negra 1	120,75	095-101285	0,5	10	
	Monguí	Laguna Negra 2	35,58	095-141629	0	5	
	Monguí	La cruz chital o Tobamoscas	15,9	095-44348	2,3	8,4	0,25
MONGUI	Vallado	Lote Páramo	2,8	095-113020	0	0,3	
	Barronegro	La Era	0,66	095-47437	0,1	0	0,1
	Pericos	Escuela vereda Pericos	0,137	095-118256	0	0	
SIACHOQUE	Cormechoque Arriba	Cormechoque	414	070-92556	4,6	17,3	
	Cormechoque	La laguna de la china	37,2	070-159664	2	6	

	San José	El Moyon	13,7	070-193247	0,7	0,6	
	Cormechoque Arriba	El recuerdo	11,25	070-71554	0,5	4	
	Cormechoque Arriba	Los tanques	11,25	070-138784	1	2,2	
	San José	La Gamuza	14,8	070-98562	2,1	0,4	
	San José	Los Tunos	7,5	070-98561	1,1	1,1	
	San Jose	Lote Terreno	20,55	070-104104	0,6	1,3	
	Firaya	Mana de San Juan	6,017285	070-37755	0,2	0	0,2
PESCA	Hato	El Tanque	0,4314	095-125165	0,5	0	
	Carbonera	Montecitos	70,0704	095-126020	2,5	15	
	Butaga	La Sentella	160	095-112556	2	24	
	Santa Barbara	Aliso	1,4	095-125165	0,1	0	0,1
				Total	40,00	352,6	1,04
					Km Aislamiento	Ha Restaurar	Km Barrera

Fuente: El autor.

La información anterior sobre la delimitación y rehabilitación de áreas en el Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha revela información clave sobre la gestión de estos terrenos, en donde el municipio de Tota presenta una necesidad crítica de corredores biológicos extensivos para mantener la conectividad ecológica y la biodiversidad; a su vez la rehabilitación de un área tan amplia establece la importancia de mejorar la captura de carbono y restaurar la estructura del ecosistema para la mitigación del cambio climático y la regulación hídrica.

Por otra parte, en Aquitania, el predio proporción alta de área a rehabilitar en relación con el tamaño total del predio, lo que indica un fuerte enfoque en la restauración de ecosistemas degradados, lo cual es vital para mantener la salud del páramo y sus servicios ecosistémicos. Mientras que en el municipio de Mongua la longitud de aislamiento y las áreas a rehabilitar reflejan una necesidad de equilibrar la producción agrícola con la conservación del hábitat. Las prácticas sostenibles, como la agroforestería y la reforestación con especies nativas, son estrategias clave para mantener la productividad agrícola mientras se preserva la biodiversidad.

En Monguí, los predios requieren una atención especial para la protección integral de los recursos naturales, por lo que la identificación de barreras vivas en estos predios indica la implementación de medidas de mitigación para reducir la erosión y mejorar la retención de agua, cruciales para la estabilidad del suelo y la salud del ecosistema.

Siachoque, presenta áreas de especial importancia ecosistémica, al combinar áreas agrícolas y seminaturales destaca la importancia de estrategias de restauración y manejo sostenible que integren la conservación con la producción agrícola. La implementación de viveros en estos predios es una medida proactiva para apoyar la reforestación y la producción de plantas nativas, contribuyendo a la resiliencia del ecosistema.

Finalmente, en Pesca, muestra la necesidad de rehabilitación significativa con áreas extensas a restaurar. La implementación de barreras vivas y la longitud de aislamiento reflejan un enfoque en la protección contra la erosión y la mejora de la biodiversidad, esenciales para mantener la salud del páramo.

4.2 Alternativa de Restauración ecológica

4.2.1 Cercas Vivas y Viveros Transitorios

A partir de la delimitación detallada del Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, se establecieron los parámetros esenciales para implementar estrategias de restauración tanto activa como pasiva. La delimitación de áreas específicas permitió identificar las zonas más afectadas y con mayor necesidad de intervención, así como los tipos de vegetación y usos del suelo predominantes, por lo tanto, se establece la importancia de adoptar una estrategia de restauración activa para abordar de manera efectiva los problemas de degradación y asegurar la recuperación integral del ecosistema (Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2017).

La restauración activa se presenta como una opción viable y necesaria debido a la magnitud de la degradación observada en diversas áreas del páramo, ya que la implementación de técnicas de restauración activa permitirá acelerar los procesos naturales de recuperación, restaurar la estructura, función del ecosistema y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos críticos, como la regulación del agua y la captura de carbono (Anzoateguia, Gil Leguizamón, & Sanabria Marin, 2023). Además, esta estrategia complementa y refuerza las acciones de restauración pasiva, creando un enfoque integral que maximiza los beneficios ecológicos y socioeconómicos para la región.

Municipio de Tota

En el Municipio de Tota, las acciones de restauración activa se enfocan en áreas como la Comunidad de San Luis del Pirancho y el Páramo de Corales. Se sitúan cercas vivas con *Baccharis latifolia* (chilca) y *Duranta erecta* (duranta) para controlar la erosión y promover la biodiversidad, actuando como cortavientos, reducen la erosión del suelo y proporcionan hábitat para la fauna local (Montenegro, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2015).

Además, se implementan viveros transitorios en la región para producir plántulas de estas especies, para asegurar un suministro continuo de plántulas para la reforestación. También sirven como centros de educación ambiental, donde la comunidad aprende sobre la importancia de las especies nativas y las técnicas de reforestación. La participación comunitaria en estos viveros fomenta un sentido de responsabilidad y conexión con el entorno natural, promoviendo prácticas sostenibles a largo plazo.

En áreas menos degradadas como Ranchería y La Puerta, se promueve la restauración pasiva mediante el control de especies invasoras y la promoción de la

sucesión ecológica, con el fin de generar una regeneración natural con mínima intervención humana, facilitando que las especies nativas vuelvan a colonizar la zona.

Municipio de Aquitania

En el Municipio de Aquitania, el plan de restauración se enfoca en las áreas de Laguneta Curies y La Planada, combinando estrategias de restauración activa y pasiva para abordar las diversas necesidades del ecosistema.

Para la restauración activa, se implementa la cerca viva con especies como *Alnus acuminata* (aliso) y *Myrcianthes leucoxyla*, ya que el aliso mejora la calidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno y la retención de agua, mientras que *Myrcianthes leucoxyla* crea microclimas favorables y proporciona hábitat para diversas especies. Asimismo, se complementa la reforestación con la siembra de plantas de cobertura como *Lupinus mutabilis* (tarwi) y *Fagopyrum esculentum* (alforfón), que mejoran la estructura del suelo y previenen la erosión y la compactación del terreno (CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, 2018).

La restauración pasiva se centra en las áreas agrícolas, fomentando prácticas agroecológicas como la integración de cultivos de cobertura, la recolección de agua de lluvia y la agricultura en terrazas, permitiendo la recuperación natural del ecosistema, incrementan la sostenibilidad a largo plazo y promueven un equilibrio ecológico.

Municipio de Mongua

En el Municipio de Mongua, el plan de restauración se enfoca en las áreas de Laguna Negra 1 y 2, y La Cruz Chital o Tobamoscas, combinando estrategias de restauración activa y pasiva adaptadas a las características del páramo.

Para la restauración activa, se lleva a cabo la creación de corredores biológicos con especies como Espeletia (frailejón) y Weinmannia tomentosa (encenillo) para conectar hábitats dispersos y facilitar el movimiento de especies, debido a que estas especies son esenciales para la retención de humedad y la estabilización del suelo, además de proporcionar hábitat para diversas especies (Rueda & Hurtado, 2021).

Se implementan sistemas de cercas vivas y mallas de protección con las mismas plántulas para limitar el acceso del ganado y otros factores perturbadores, permitiendo una recuperación más efectiva del suelo y la vegetación sin la presión de pastoreo (Rueda & Hurtado, 2021).

La restauración pasiva se aplica en las zonas agrícolas mediante prácticas sostenibles de manejo del suelo, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la reforestación de áreas adyacentes, facilitando la regeneración natural del ecosistema y promueven un equilibrio ecológico.

Municipio de Monguí

En el Municipio de Monguí, la estrategia de restauración se ajusta a las áreas de producción agropecuaria tradicional y protección de recursos naturales, combinando restauración activa y pasiva adaptada al ecosistema del páramo.

Para la restauración activa, se lleva a cabo la reforestación en terrenos agropecuarios y zonas de protección integral, utilizando especies como Hesperomeles goudotiana (gualanday) y Gynoxys (pajonales). Hesperomeles goudotiana mejora la estructura del suelo y proporciona cobertura a la vegetación nativa, mientras que Gynoxys es esencial para la retención de agua y la prevención de la erosión (CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, 2018).

Se establecen viveros transitorios para cultivar especies nativas en condiciones controladas hasta que estén listas para ser plantadas, asegurando la disponibilidad

de plantas adecuadas para la restauración. También se implementan barreras vivas con plantas nativas para controlar la erosión, estabilizar el suelo y crear corredores ecológicos para la fauna local, mejorando la resiliencia del ecosistema ante eventos climáticos extremos.

La restauración pasiva se aplica en territorios agrícolas y pastos limpios mediante prácticas agrícolas sostenibles. Se fomenta la regeneración natural del ecosistema a través de la creación de zonas de amortiguamiento y áreas de conservación dentro de los terrenos agrícolas, que sirven como refugios para la fauna y áreas de regeneración para la vegetación nativa. Además, se implementan prácticas como la agricultura de conservación, que incluye el uso de cultivos de cobertura, la reducción del uso de agroquímicos y técnicas de manejo de suelos que favorecen la biodiversidad.

Municipio de Siachoque

En el Municipio de Siachoque, la estrategia de restauración se orienta hacia la protección de áreas de importancia ecosistémica mediante una combinación de restauración activa y pasiva, con un enfoque en la reforestación y la educación ambiental.

Para la restauración activa, se reforestan áreas como Cormechoque y La Laguna de la China con especies nativas como *Escallonia myrtilloides* (chite) y *Baccharis* (romerillo). Estas especies mejoran la estructura del suelo, aumentan la retención de agua y proporcionan hábitats adecuados para la fauna local, además de resistir las condiciones climáticas extremas del páramo (CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, 2018).

Los viveros transitorios juegan un papel crucial, sirviendo como centros de producción de plántulas y puntos de educación ambiental para la comunidad. Estos viveros facilitan la propagación de especies nativas y actividades de capacitación

sobre la conservación del páramo, fomentando la participación comunitaria y el compromiso con los proyectos de restauración.

Se implementan barreras vivas con *Escallonia myrtilloides* y *Baccharis* para controlar la erosión del suelo, mejorar la conectividad del hábitat, estabilizar el suelo, reducir la pérdida de agua por escorrentía y crear corredores ecológicos que facilitan el movimiento de la fauna (CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, 2018).

La restauración pasiva se aplica en áreas agrícolas y pastos limpios, promoviendo la regeneración natural del ecosistema mediante estrategias para reducir la presión antropogénica. Estas incluyen el control de especies invasoras y prácticas sostenibles de uso del suelo, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la reducción del pastoreo intensivo, permitiendo que el ecosistema se recupere de manera natural y se restaure la funcionalidad ecológica del páramo.

Municipio de Pesca

En el Municipio de Pesca, las estrategias de restauración se centran en la combinación de métodos activos y pasivos para recuperar y conservar el páramo, especialmente en áreas de recarga de acuíferos y protección de fauna.

Para la restauración activa, se reforestan áreas clave como El Tanque y Montecitos con especies nativas como *Clusia multiflora* (macana) y *Miconia theaezans* (mortiño). Estas especies mejoran la infiltración de agua y estabilizan el suelo, siendo esenciales en las áreas de recarga de acuíferos. Además, proporcionan hábitats adecuados para la fauna local, contribuyendo a la biodiversidad del páramo. Se establecen barreras vivas con especies nativas para mejorar la infiltración de agua y la estabilidad del suelo, controlar la erosión y crear corredores biológicos que faciliten el movimiento de la fauna y la dispersión de semillas (CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, 2018). Aunque en Pesca no se cuenta

con viveros transitorios, la reforestación se realiza mediante la colaboración con viveros regionales y la recolección de plántulas y semillas en áreas cercanas.

La restauración pasiva se implementa en áreas agrícolas y pastos limpios, promoviendo prácticas sostenibles de uso del suelo que favorecen la regeneración natural del ecosistema. Esto incluye la rotación de cultivos, la agricultura sin labranza y el uso de abonos orgánicos para mejorar la salud del suelo y reducir la erosión. Además, se establecen cercas para proteger las áreas de regeneración natural del pastoreo y otras actividades disruptivas, permitiendo que la vegetación nativa se recupere de manera natural y se restaure la funcionalidad ecológica del páramo.

Los municipios de Tota, Aquitania, Mongua, Monguí, Siachoque y Pesca suman un área a restaurar en sus predios de interés hídrico de **352.6 Ha**; se requerirá un total de:

$$\begin{aligned} &352.6 \text{ Ha} \times 2165 \text{ plántulas Ha} \\ &763.379 \text{ plántulas} \end{aligned}$$

Este proyecto plantea la construcción de 3 viveros transitorios para la producción de material vegetal cuya producción es de 120.000 plántulas por vivero al año; material vegetal que será usado para la restauración y demás actividades del proyecto especificadas en este documento.

Vivero 1 (Monguí): Producción para restaurar predios de Monguí y Mongua

Vivero 2 (Siachoque): Producción para restaurar predios de Siachoque y Pesca

Vivero 3 (Tota): Producción para restaurar predios de Tota y Aquitania

A continuación, se presenta el presupuesto de la alternativa:

Tabla 9 Alternativa de Restauración ecológica

Municipio	Vereda	Nombre Predio	Total Ha x municipi o	Plántula s x predio	Plantulas x mcpio
TOTA	Corales	Comunidad de San Luis del Pirancho	224,6	428.760	534.997
	Corales	Paramo de Corales		57.168	
	Rancherí a	Vereda Ranchería		33.348	
	la puerta	Vereda La Puerta		7.146	
	Tobal	Vereda Tobal		8.575	
AQUITANI A	Hato Viejo	Laguneta Curies	32,4	69.078	77.177
	Hato Laguna	La Planada		8.099	
Total, plántulas					612.174
Plántulas para producir en vivero					240.000
Plántulas adquirir					372.174

Fuente: El autor.

Tabla 10 Presupuesto de Cercas vivas

Instalación de cercas vivas		UNIDAD	Km	VALOR TOTAL		\$ 12,675,734.27
DESCRIPCION		UND	CANT.	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL	
MATERIALES						
Arrayan, altura superior a 30 centímetros		UND	3055	\$ 2,850.00	\$ 8,706,750.00	
Hidroretenedor		Kg	9	\$ 51,316.67	\$ 461,850.00	
Attakill		Litro	5	\$ 56,000.00	\$ 280,000.00	

Abono organico	Kg	195	\$ 536.50	\$ 104,617.50
Boro natural	Kg	28	\$ 9,334.71	\$ 261,371.92
Calfos	Kg	140	\$ 1,210.33	\$ 169,446.67
SUBTOTAL MATERIALES				\$ 9,984,036.09
MANO DE OBRA				
Obrero/ayudante	jr	31	\$ 82,694.26	\$ 2,563,522.08
SUBTOTAL-MANO DE OBRA				\$ 2,563,522.08
EQUIPO				
Herramienta y Equipo Menor(% M.O)	%	5.00%	\$ 2,563,522.08	\$ 128,176.10
SUBTOTAL-EQUIPO				\$ 128,176.10
Otros				
				\$ 0.00
SUBTOTAL TRANSPORTE				\$ 0.00
COSTO DIRECTO				\$ 12,675,734.27
INCREMENTO POR DISTANCIA	%	0.00%		-
TOTAL COSTOS DIRECTO+INCREM. DIST				\$ 12,675,734.27
ADMINISTRACION	0%			\$ 0.00
IMPREVISTOS	0%			\$ 0.00
UTILIDAD	0%			\$ 0.00
IVA SOBRE UTILIDAD	0%			\$ 0.00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS:				\$ 0.00
TOTAL COSTOS ACTIVIDAD (INCLUYE AIU E INCREMENTO POR DISTANCIA)				\$ 12,675,734.27

Fuente: El autor.

El presupuesto para la instalación de cercas vivas, establecido para un tramo de 1,04 km, destaca la inversión necesaria en materiales, mano de obra y equipo. La mayor parte del costo está destinada a los materiales (\$9,984,036.09), reflejando la importancia de insumos de alta calidad como el arrayán, que garantiza una cerca viva densa y efectiva. Además, se incluyen hidroretenedores y abonos, esenciales para la salud y el crecimiento de las plantas. La mano de obra representa \$2,563,522.08, subrayando la necesidad de personal calificado para la correcta

instalación y mantenimiento de la cerca. El costo del equipo menor es de \$128,176.10, lo que asegura la disponibilidad de herramientas adecuadas para el trabajo.

Tabla 11 Presupuesto Instalación de viveros transitorios

Instalación de vivero transitorio						
NUMERACIÓN	ITEM GOBERNACIÓN	DESCRIPCION	UND	CANT	VALOR UNT	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES					
1.01	1.01.05	Configuración-Nivelación Terreno	M2	1000	\$ 1,249	\$ 1,249,470
1.02	1.01.68	Localización y Replanteo Obra Arquitectónica	M2	1000	\$ 6,371	\$ 6,371,190
Total						\$ 7,620,660
2	CARPINTERÍA MADERA					
2.01	1.14.31	Puerta Marco Madera Abarco Entabl. Triplex 4mm Economica 70 - 90 * 200 Cm	UND	1	\$ 390,883	\$ 390,883
Total						\$ 390,883
3	CARPINTERÍA METÁLICA					
3.01	1.15.15	Ventana en Aluminio Corrediza	M2	2.40	\$ 346,624	\$ 831,898
Total						\$ 831,898
4	CIMENTACION Y DESAGUES					
4.01	1.02.11	CONCRETO DE ZAPATAS 21mpa + FORMALETA	M3	8.83	\$ 870,170	\$ 7,683,603

4.02	1.02.28	SOLADO CONCRETO ESPESOR E=0.05MTS 14mpa (2000PSI)	M2	29.44	\$ 34,626	\$ 1,019,386
Total						\$ 8,702,989
5	ESTRUCTURA					
5.01	1.03.01	Columnas en Concreto 21 Mpa - (3000 Psi), Altura menor a tres metros- Formaleta Madera	M3	0.68	\$ 1,198,077	\$ 808,702
0						\$ 808,702
6	MAMPOSTERIA					
6.01	1.04.15	Muro en Bloque No.5 E=0.12 Mts	M2	255.71	\$ 51,835	\$ 13,254,656
Total						\$ 13,254,656
7	PAÑETES					
7.01	1.05.08	Pañete Impermeabilizado 1:3	M2	235.20	\$ 30,781	\$ 7,239,578
Total						\$ 7,239,578
8	OBRAS DE DRENAJE, PROTECCIÓN Y ESTRUCTURAS					
8.01	3.03.12	Mejoramiento de Piso con Material de Afirmado Compactado con Plancha Vibradora, Incluye Acarreo Libre de 5 Km.	M3	8.83	\$ 100,304	\$ 885,686

8.02	3.13.22	Suministro, Transporte, Fabricación, Ensamblaje y Montaje de Estructura Metalica	Kg	3486.88	\$ 23,899	\$ 83,332,108
Total						\$ 84,217,794
9	ENTREGA DE OBRA					
9.01	1.18.03	Aseo General Entrega	M2	1000	\$ 7,139	\$ 7,139,000
Total						\$ 7,139,000
10	APU					
10.01	APU	Suministro E Instalación De Polisombra Negra Al 80%	M2	1390	\$ 6,517	\$ 9,058,894
Total						\$ 9,058,894
VALOR COSTOS DIRECTOS						\$ 139,265,055

Fuente: El autor.

El presupuesto para la instalación de tres viveros transitorios, destinados a la producción de 120,000 plántulas por vivero al año, cubre varias áreas clave, en donde la preparación del terreno, que incluye configuración, nivelación y replanteo, totaliza \$7,620,660, asegurando una base adecuada para la construcción, mientras que la carpintería de madera y metálica, valorada en \$1,222,781, garantiza estructuras duraderas.

La estructura del vivero, que incluye columnas y mampostería, se construye con \$14,063,358, y los pañetes, necesarios para impermeabilizar y proteger las

superficies, suman \$7,239,578, y la instalación de polisombra negra, necesaria para el control de luz y temperatura, cuesta \$9,058,894. Por lo que el valor total de los costos directos es de \$139,265,055, reflejando una inversión integral en infraestructura para la restauración ecológica en Monguí, Siachoque, Pesca, Tota, Mongua y Aquitania.

En el anexo 1 se encuentra el presupuesto establecido para el suministro del vivero, en donde se encuentra la dotación y operación de vivero, incluyendo dos operadores auxiliares de equipo y tecnólogo en áreas de ingeniería para 22 meses.

Tabla 12 Valor de la Restauración Ecológica

Restauración Ecológica	Valor
Instalación de Viveros transitorios	\$ 417,795,165.00
Instalación de Cercas Vivas	\$ 13,182,763.64
Suministro Vivero	\$ 856,809,600.60
Total	\$ 1,287,787,529.24

Fuente: El autor.

Viabilidad de la Alternativa de Restauración Ecológica

La viabilidad de la alternativa de restauración ecológica que incluye la implementación de cercas vivas y viveros transitorios en el páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha puede analizarse desde varias perspectivas clave: técnica, económica, social y ambiental.

Viabilidad Técnica

- **Adecuación de Especies:** La selección de especies para cercas vivas y viveros transitorios es adecuada para las condiciones del páramo, debido a que las plantas como *Baccharis latifolia*, *Duranta erecta*, *Alnus acuminata* y *Myrcianthes leucoxylla* están bien adaptadas a la región y cumplen funciones ecológicas específicas, como la estabilización del suelo y la provisión de hábitats. Estas especies son seleccionadas por su capacidad de adaptación a las condiciones climáticas y edáficas del páramo, así como por su papel en la mejora de la biodiversidad local.

- **Infraestructura de Viveros:** Los viveros transitorios están diseñados para producir una cantidad significativa de plántulas, estimada en 120,000 por vivero al año, lo cual es crucial para el volumen de reforestación requerido, que asciende a 763,379 plántulas en total. La construcción de los viveros incluye componentes importantes como el manejo del suelo, estructuras de soporte y sistemas de riego automatizados, lo que asegura una producción eficiente y sostenible de plántulas.

Viabilidad Económica

- **Costos de Implementación:** El presupuesto total de \$1,287,787,529.24 para la restauración ecológica incluye costos para viveros transitorios, cercas vivas y suministros. Los costos son justificables dado el alcance del proyecto y la magnitud de las áreas a restaurar, ya que la inversión en infraestructura y materiales es proporcional a los beneficios ecológicos esperados, y demostrando un costo-beneficio que demuestra la rentabilidad del proyecto a largo plazo.
- **Impacto Económico Local:** La creación de empleos en la construcción y operación de viveros, así como en el mantenimiento de las cercas vivas, contribuye al desarrollo económico local. Además, la alternativa impulsa el ecoturismo, generando ingresos adicionales para la región, debido a la diversificación de la economía local a través de actividades relacionadas con la restauración ecológica y el ecoturismo, lo que puede reducir la dependencia de actividades extractivas y promover un desarrollo económico más sostenible.

Viabilidad Social

- **Participación Comunitaria:** La alternativa fomenta la participación de la comunidad a través de la educación ambiental y la gestión de viveros, en donde la inclusión de la comunidad en las actividades del vivero y en la implementación de cercas vivas fortalece la aceptación de esta y promueve un sentido de responsabilidad hacia la conservación.

- **Beneficios Sociales:** Los beneficios sociales son significativos, incluyendo la creación de empleos, la mejora de la calidad de vida a través de la educación ambiental, y el fortalecimiento de la cohesión social en las comunidades locales. La restauración ecológica también contribuye a la mejora de las condiciones ambientales, lo cual impacta positivamente en la salud y el bienestar de los habitantes, ya que, a partir de la mejora de los servicios ecosistémicos, como la calidad del agua y la protección contra la erosión, se genera un efecto directo en la calidad de vida de las comunidades.

Viabilidad Ambiental

- **Restauración del Ecosistema:** La implementación de cercas vivas y viveros transitorios contribuye significativamente a la restauración de las áreas degradadas del páramo. Las cercas vivas ayudan a controlar la erosión, mejorar la calidad del suelo y promover la biodiversidad, mientras que los viveros proporcionan las plántulas necesarias para reforestar grandes áreas, acelerando la recuperación del ecosistema.
- **Conservación de Recursos Hídricos:** Las técnicas utilizadas, como la creación de corredores biológicos y el uso de plantas para estabilizar el suelo, tienen un impacto positivo en la conservación de recursos hídricos. La restauración ayuda a mejorar la infiltración de agua y reducir la escorrentía, lo cual es crucial para la recarga de acuíferos., por lo que a gestión integrada de cuencas hidrográficas es una componente clave de la alternativa, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.
- **Reducción de Impacto Climático:** La reforestación y la implementación de cercas vivas contribuyen a la captura de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático, debido a que la recuperación de áreas degradadas también mejora la resiliencia del ecosistema ante eventos climáticos extremos.

4.3 Soluciones basadas en la naturaleza apoyadas en economía circular

4.3.1 Aprovechamiento de residuos sólidos mediante el uso de cepas de escarabajos para producción de abono.

La alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos mediante el uso de cepas de escarabajos se desarrolla en los municipios de Aquitania, Pesca, Siachoque y Monguí, como parte de una estrategia de economía circular que busca generar beneficios ambientales y económicos a la región, con un enfoque particular en la proyección y conservación del Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha. Esta iniciativa se lleva a cabo en colaboración con la empresa Tierra Viva, especializada en el aprovechamiento de residuos orgánicos utilizando escarabajos, destacándose como una estrategia innovadora y eficaz.

El uso de cepas de escarabajos para la producción de abono es una técnica que se enmarca en los principios de la economía circular, la cual busca cerrar el ciclo de vida de los productos mediante la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos. En este contexto, los residuos sólidos orgánicos generados en los municipios seleccionados se transforman en recursos valiosos, reduciendo la cantidad de desechos que terminan en los vertederos y disminuyendo la huella ambiental de estas comunidades, lo que contribuye a la creación de un sistema sostenible y autosuficiente que favorece la economía local (Tierra Viva Escarabajos).

La implementación de esta estrategia comienza con la recolección y segregación adecuada de los residuos sólidos orgánicos en cada municipio, en donde Tierra Viva se encarga de procesar estos residuos utilizando cepas de escarabajos específicos que descomponen la materia orgánica de manera eficiente y rápida, por medio de los escarabajos, como los del género *Dendroctonus*, son conocidos por su capacidad de transformar residuos en compost de alta calidad, rico en nutrientes esenciales para el suelo (Tierra Viva Escarabajos).

La producción de abono mediante el uso de escarabajos no solo mejora la calidad del suelo, sino que también contribuye significativamente a la restauración y conservación del páramo. El compost resultante puede ser utilizado para enriquecer los suelos de las áreas reforestadas y agrícolas, promoviendo la salud del ecosistema y facilitando la regeneración de la vegetación nativa; mejorando así la estructura y fertilidad del suelo, al incrementa su capacidad para retener agua, lo que es aspecto crucial para la sostenibilidad hídrica del páramo (Tierra Viva Escarabajos).

En términos de beneficios económicos, este proyecto genera múltiples oportunidades para las comunidades locales, ya que la producción de abono orgánico puede convertirse en una fuente adicional de ingresos para los agricultores, quienes pueden vender el compost o utilizarlo para mejorar sus propios cultivos, reduciendo así la necesidad de fertilizantes químicos. Además, la reducción de residuos y la valorización de estos disminuye los costos asociados a la gestión de desechos y contribuye a un entorno más limpio y saludable.

La selección de esta estrategia se basó en varios factores que demuestran su efectividad y pertinencia. En primer lugar, la utilización de escarabajos como agentes de descomposición es una solución natural y sostenible, que aprovecha los procesos biológicos para la gestión de residuos, lo que minimiza el impacto ambiental y maximiza la eficiencia en la producción de abono. En segundo lugar, la colaboración con Tierra Viva, una empresa con experiencia y conocimientos especializados garantiza la implementación exitosa del proyecto y la capacitación adecuada de las comunidades involucradas.

A continuación, se presenta el presupuesto de la SBN respecto al aprovechamiento de los residuos, en donde se establece los suministros necesarios para su ejecución; cabe aclarar que el presupuesto por infraestructura lo establece la empresa Tierra viva.

Tabla 13 Presupuesto de suministro de la planta de compostaje

SUMINISTRO DE INSUMOS, PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN PLANTA DE COMPOSTAJE (8 MESES DE OPERACIÓN)				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Lonas de polipropileno de 60 por 90 cm con capacidad de 50 Kg	UND	6720	\$ 1,092.42	\$ 7,341,062.40
Aditivos biologicos necesarios para regular los residuos organicos en pH y otros requerimientos del proceso.	UND	18	\$ 997,000.00	\$ 17,946,000.00
Cepa biologica (Por 50 kilos) tapado de camas de proceso	UND	72	\$ 936,000.00	\$ 67,392,000.00
SUBTOTAL MATERIALES				\$ 92,679,062.40
MANO DE OBRA				
) Profesional residente	mes	8	\$ 5,600,000.00	\$ 44,800,000.00
) profesional de seguimiento	mes	4	\$ 5,600,000.00	\$ 22,400,000.00
) Técnico / Ayudante	mes	8	\$ 2,480,827.82	\$ 19,846,622.55
)Técnico / Ayudante	mes	8	\$ 2,480,827.82	\$ 19,846,622.55
SUBTOTAL- MANO DE OBRA				\$ 106,893,245.10
EQUIPO				
Herramienta y Equipo Menor(% M.O)	%	5.00%	\$ 39,693,245.10	\$ 1,984,662.26
SUBTOTAL- EQUIPO				\$ 1,984,662.26
OTROS				
SUBTOTAL TRANSPORTE				\$ 0.00
COSTO DIRECTO				\$ 201,556,969.76

INCREMENTO POR DISTANCIA	%	0.00%	-
TOTAL COSTOS DIRECTO+INCREM. DIST			\$ 201,556,969.76
ADMINISTRACION	0%		\$ 0.00
IMPREVISTOS	0%		\$ 0.00
UTILIDAD	0%		\$ 0.00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS:			\$ 0.00
TOTAL COSTOS ACTIVIDAD (INCLUYE AIU E INCREMENTO POR DISTANCIA)			\$ 201,556,969.76

Fuente: El autor

La inversión estimada para la construcción de la planta de compostaje asciende a aproximadamente \$346,416,103, una cifra que refleja el compromiso con la implementación efectiva de esta solución. *Tierra Viva*, la empresa encargada de ejecutar el proyecto, se encargará de garantizar que la planta cumpla con los estándares técnicos necesarios. La asignación de \$201,556,969.76 para el suministro de insumos, la puesta en marcha y la operación de la planta durante 8 meses abarca materiales esenciales como lonas de polipropileno, aditivos y cepas biológicos, todos necesarios para asegurar un proceso de compostaje eficiente.

La solución propuesta para la implementación de plantas de compostaje en los cuatro municipios beneficiarios requiere una **inversión total de aproximadamente \$2,191,892,291**. Este cálculo se basa en la multiplicación del costo estimado para una sola planta, que es de \$346,416,103, por el número de municipios involucrados, que son cuatro. Este valor incluye no solo la construcción y puesta en marcha de las instalaciones, sino también la operación durante un periodo de 8 meses, la adquisición de materiales, y la mano de obra necesaria para la correcta ejecución del proyecto, lo que asegura una cobertura integral que maximiza el impacto ambiental positivo de la planta de compostaje, promoviendo la gestión sostenible de residuos orgánicos y contribuyendo significativamente a la restauración ecológica en la región.

4.3.2 Fortalecimiento del Ecoturismo

El fortalecimiento del ecoturismo en el Páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha se centra en la señalización de senderos en los municipios de Aquitania, Pesca y Mongua, esta estrategia se enmarca en los principios de la economía circular, contribuyendo no solo a la conservación del ecosistema, sino también al desarrollo económico sostenible de las comunidades locales (Corpoboyaca, 2023). El ecoturismo, al promover la interacción respetuosa con la naturaleza, ofrece una alternativa viable y sustentable que potencia la protección y proyección del páramo, asegurando su preservación a largo plazo (Puentes, 2021).

La señalización de senderos se implementa como una medida técnica y estratégica para guiar a los visitantes a través de rutas seguras y educativas, minimizando el impacto negativo sobre el entorno natural, por lo que este enfoque incluye la instalación de señales informativas y educativas, que no solo orientan a los turistas, sino que también ofrecen información sobre la biodiversidad, la geología y la importancia ecológica del páramo (Puentes, 2021).

La creación y mantenimiento de estos senderos señalizados fomenta el desarrollo del turismo de naturaleza, atrayendo a visitantes interesados en experiencias ecológicas y educativas. Este tipo de turismo genera ingresos directos para las comunidades locales a través de la prestación de servicios como guías turísticos, alojamiento, alimentación y transporte. Además, promueve el emprendimiento local y la creación de empleo, fortaleciendo la economía de los municipios involucrados, por lo que la circularidad económica se evidencia en cómo los ingresos generados se reinvierten en la conservación del páramo y en mejoras infraestructurales que benefician a todos los actores locales.

El ecoturismo es una estrategia eficaz para la proyección del páramo por varias razones. En primer lugar, fomenta la conciencia ambiental entre los visitantes, quienes al conocer de primera mano la importancia del páramo y su biodiversidad,

se convierten en defensores activos de su conservación. En segundo lugar, al regular el flujo de turistas mediante senderos bien señalizados, se mitiga la degradación del hábitat y se protege la flora y fauna autóctona, reduciendo el riesgo de erosión y contaminación (Puentes, 2021).

Además, el fortalecimiento del ecoturismo en estos municipios está respaldado por ejemplos exitosos en otras regiones de Colombia y el mundo. El Parque Nacional Natural Chingaza, por ejemplo, ha implementado un sistema de senderos señalizados que ha resultado en un aumento significativo del turismo sostenible, generando ingresos que se reinvierten en la conservación del parque y en programas de educación ambiental para las comunidades locales, por lo que este modelo demuestra que es posible equilibrar el desarrollo económico con la protección ambiental, creando un ciclo virtuoso de beneficio mutuo (Caicedo, 2021).

La implementación de senderos señalizados en Aquitania, Pesca y Mongua también incluye la capacitación de guías locales en temas de interpretación ambiental y primeros auxilios. Esto no solo mejora la experiencia del visitante, sino que también asegura que las comunidades locales estén equipadas con las habilidades necesarias para gestionar y aprovechar el ecoturismo de manera sostenible.

La elección de esta estrategia se basa en su capacidad para generar un impacto positivo y duradero en la conservación del páramo y en el bienestar de las comunidades locales. El ecoturismo, al ser una actividad que depende directamente de la calidad y conservación del entorno natural, incentiva a las comunidades a proteger y valorar su patrimonio ambiental, donde además este enfoque, se alinea con las políticas de desarrollo sostenible y conservación de biodiversidad promovidas a nivel nacional e internacional.

En ese sentido, se presenta el presupuesto de la SBN respecto al fortalecimiento de los senderos ecológicos, los cuales se presentan en el anexo 2.

Tabla 14 Valor del fortalecimiento de los senderos

Senderos Ecológicos	Distancia	Unidad	Valor
Sendero Mágico Municipio de Aquitania	8.5	km	\$ 37,874,682.09
Sendero Laguna Negra de Mongua	11	km	\$ 49,014,294.47
Sendero Pantano Grande de Pesca	15.2	km	\$ 67,728,843.27
Sendero Las Moyas de Pesca	4.3	km	\$ 19,160,133.29
Sendero Alto de Tibamocha de Pesca	16.5	km	\$ 73,521,441.73
Total	55.5	km	\$ 247,299,394.85

Fuente: El autor

El valor total de los senderos corresponde a \$ 247,299,394.85 para los senderos ecológicos en el Páramo Tota - Bijagual – Mamapacha, en donde se tuvo en cuenta de manera proporcional a la longitud de cada sendero para asegurar una asignación eficiente y equitativa de los recursos. Por lo tanto, garantiza que los senderos más largos reciban una mayor cantidad de recursos, lo cual es necesario para cubrir los costos adicionales asociados con la extensión de los trabajos de construcción, mantenimiento y señalización.

Los senderos más extensos, como el Alto de Tibamocha (16.5 km), que recibe \$73,521,441.73, requieren inversiones significativas debido a la necesidad de infraestructura adicional, medidas de seguridad y conservación, reflejándose así en su mayor presupuesto. En contraste, senderos más cortos, como Las Moyas de Pesca (4.3 km), que recibe 19,160,133.29, aunque reciben menos financiación total, aún requieren una inversión considerable debido a los costos fijos iniciales necesarias para cualquier sendero, independientemente de su longitud.

Cada sendero pasa por áreas de importancia ecológica que requieren medidas de conservación específicas, restauración de hábitats y protección de la biodiversidad, por lo que la distribución de los fondos abordar estos aspectos de manera efectiva en cada tramo, asegurando un impacto positivo en el ecosistema. Además, es

importante tener en cuenta que financiación adecuada de estos senderos considera su potencial para maximizar el impacto turístico y educativo.

4.3.3 Generación de Biogás

La implementación de energías alternativas, específicamente biogás, en las fincas del páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, abarca los municipios de Tota, Aquitania, Mongua, Pesca y Siachoque. Esta alternativa se orienta hacia la mitigación del impacto ambiental negativo en las cuencas hidrográficas y ecosistemas debido a las actividades antrópicas, por lo que la generación de biogás se presenta como una estrategia de economía circular, ofreciendo beneficios sustanciales tanto para las comunidades locales como para la conservación del páramo (Ortega, 2019).

En ese sentido, el biogás implica el aprovechamiento de residuos orgánicos, como estiércol de ganado y desechos agrícolas, que se descomponen en ausencia de oxígeno para producir metano, un combustible limpio y eficiente, por lo que este proceso no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también contribuye a la gestión sostenible de los residuos, evitando su acumulación y la contaminación del suelo y del agua (Ortega, 2019).

Desde una perspectiva técnica, los biodigestores diseñados para estas comunidades son sistemas robustos y adaptables, capaces de operar eficientemente en las condiciones climáticas del páramo. La elección de tecnología apropiada garantiza que el proceso de producción de biogás sea sostenible y manejable para los agricultores locales, ya que estos sistemas incluyen mecanismos de calefacción y aislamiento térmico para mantener las condiciones óptimas de digestión anaerobia, incluso en climas fríos (Rodrigo, Picó, & Dimuro, 2018). Además, se considera la capacitación técnica de los agricultores para asegurar el correcto manejo y mantenimiento de los biodigestores, fomentando así la autogestión y sostenibilidad del proyecto.

El biogás ofrece múltiples beneficios para la proyección del páramo, ya que, al proporcionar una fuente de energía renovable y limpia, se reduce significativamente la presión sobre los recursos naturales del páramo, como la madera y el carbón vegetal, cuya extracción y uso contribuyen a la deforestación y a la degradación del suelo (Rodrigo, Picó, & Dimuro, 2018). Además, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la combustión de biogás en lugar de combustibles fósiles contribuye a la mitigación del cambio climático, un factor crucial para la protección de los ecosistemas de alta montaña, particularmente vulnerables a las alteraciones climáticas (Ortega, 2019).

La adopción de biogás también representa una estrategia de economía circular al transformar los desechos en recursos valiosos, debido a que enfoque promueve la eficiencia y sostenibilidad al maximizar el uso de materiales y energía, minimizando el desperdicio. En las comunidades locales, la producción de biogás genera una fuente adicional de ingresos a través de la venta de excedentes de energía y fertilizantes orgánicos, fortaleciendo la economía local y mejorando el bienestar de las familias rurales (Rodrigo, Picó, & Dimuro, 2018).

A continuación, se presenta el presunto de la instalación y suministros de biogás como SBN:

Tabla 15 Presupuesto Biogás

SUMINISTRO E INSTALACIÓN A TODO COSTO BIODIGESTOR SISTEMA 20		UNIDAD	UND	VALOR TOTAL	\$ 18,315,151.00
DESCRIPCION	UND	CANT.	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL	
PRELIMINARES					
Localización y replanteo obra arquitectónica	M2	30	\$ 6,371.19	\$ 191,135.70	
Configuración-nivelación terreno	M2	30	\$ 1,249.47	\$ 37,484.10	
				SUBTOTAL PRELIMINARES	\$ 228,619.80
EXCAVACIONES					

Excavaciones mecánicas varias en roca en seco	M3	24.2	\$ 79,066.56	\$ 1,913,410.75
SUBTOTAL EXCAVACIONES				\$ 1,913,410.75
MATERIALES				
Biodigestor Sistema 20	UND	1	\$ 9,419,117.00	\$ 9,419,117.00
Aislante térmico (60 láminas de icopor)	UND	1	\$ 3,736,600.00	\$ 3,736,600.00
Medidor contador de gas residencial	UND	1	\$ 339,150.00	\$ 339,150.00
SUBTOTAL MATERIALES				\$ 13,494,867.00
MANO DE OBRA				
Obrero/ayudante (Para instalación)	hr	18	\$ 10,336.78	\$ 186,062.09
Obrero/ayudante (Para instalación)	hr	18	\$ 10,336.78	\$ 186,062.09
Obrero/ayudante (Para transporte de carga)	hr	4	\$ 10,336.78	\$ 41,347.13
TECNOLOGO (Para asistencia tecnica en instalación)	hr	18	\$ 15,167.67	\$ 273,018.13
SUBTOTAL- MANO DE OBRA				\$ 686,489.44
EQUIPO				
Herramienta y Equipo Menor(% M.O)	%	5.00%	\$ 686,489.44	\$ 34,324.47
				\$ 0.00
SUBTOTAL- EQUIPO				\$ 34,324.47
Transporte				
Instalación y flete	UND	1	\$ 1,904,000.00	\$ 1,904,000.00
ANIMAL DE CARGA	vj	1.00	\$ 53,439.54	\$ 53,439.54
SUBTOTAL TRANSPORTE				\$ 1,957,439.54
COSTO DIRECTO				\$ 18,315,151.00
INCREMENTO POR DISTANCIA	%	0.00%		-
TOTAL COSTOS DIRECTO+INCREM. DIST				\$ 18,315,151.00
ADMINISTRACION		0%		\$ 0.00
IMPREVISTOS		0%		\$ 0.00
UTILIDAD		0%		\$ 0.00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS:				\$ 0.00

TOTAL COSTOS ACTIVIDAD (INCLUYE AIU E INCREMENTO POR DISTANCIA)	18,315,151.00	\$
--	----------------------	-----------

Fuente: El autor.

El presupuesto para la instalación del biodigestor Sistema 20 es de \$18,315,151.000, el cual está diseñado para abordar las demandas técnicas y logísticas de manera integral, por lo que la mayor parte del presupuesto se destina a la adquisición del biodigestor y materiales asociados, reflejando la importancia de emplear tecnología avanzada para garantizar la eficiencia del sistema.

Los costos de preparación y excavaciones están orientados a adaptar el terreno a las condiciones específicas necesarias para una instalación estable y funcional, mientras que la inversión en mano de obra y asistencia técnica es crucial para asegurar una instalación precisa y conforme a los estándares operativos.

En ese sentido, la alternativa para la implementación de biogás en las fincas del páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, que abarca los municipios de Tota, Aquitania, Mongua, Pesca y Siachoque, se presenta como una estrategia integral dentro de un modelo de economía circular. Con un **valor total de \$2,454,230,234.00**, esta inversión, destinada a 134 beneficiarios, lo que busca no solo proporcionar una fuente sostenible de energía renovable, sino también optimizar el uso de recursos orgánicos y reducir el impacto ambiental de las fincas. Promoviendo la gestión eficiente de residuos, contribuyendo a la restauración ecológica y al desarrollo económico local a través de la generación de biogás, que a su vez puede ser utilizado para diversos fines energéticos y productivos.

4.3.4 Medios de Vida Sostenible (Jardines de Vida)

La implementación de la estrategia de medios de vida sostenible mediante la creación de Jardines de Vida en los municipios de Tota, Siachoque, Mongua, Monguít, Pesca y Aquitania se presenta como una iniciativa integral para fomentar

la producción agroecológica, mejorar la seguridad alimentaria y promover la economía circular. Estos jardines son sistemas productivos diversificados que combinan múltiples especies de alimentos destinados tanto al autoconsumo como a la comercialización de excedentes, beneficiando directamente a las comunidades locales y contribuyendo a la conservación del páramo (Gonzales & Vargas).

Los Jardines de Vida se diseñan como sistemas agroecológicos que integran cultivos alimenticios, plantas medicinales y especies nativas, optimizando el uso de recursos y promoviendo la biodiversidad. Al adoptar prácticas agroecológicas, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la implementación de sistemas de control biológico de plagas, estos jardines mejoran la salud del suelo, aumentan la resiliencia de los cultivos y reducen la dependencia de insumos químicos, por lo que esta integración no solo fortalece la producción agrícola sostenible, sino que también genera un entorno favorable para la fauna y flora del páramo (Gonzales & Vargas).

La economía circular se promueve a través de los Jardines de Vida al cerrar ciclos de nutrientes y energía dentro de las fincas. Los residuos orgánicos generados en los jardines se compostan y se reutilizan como fertilizantes naturales, enriqueciendo el suelo y mejorando su estructura, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y disminuye la contaminación del agua y del suelo, favoreciendo un entorno más saludable y sostenible (Gonzales & Vargas). Además, la diversificación de cultivos asegura una producción continua y variada de alimentos, mejorando la seguridad alimentaria y generando ingresos adicionales a través de la venta de excedentes en mercados locales.

En términos de la conservación del páramo, los Jardines de Vida desempeñan un papel crucial, debido a que la producción agroecológica en estas áreas contribuye a la protección del ecosistema al reducir la presión sobre los recursos naturales y minimizar la expansión agrícola en zonas sensibles, por lo tanto, los jardines actúan como amortiguadores ecológicos, mejorando la conectividad del hábitat y

promoviendo la regeneración natural del paisaje. Además, la inclusión de especies nativas en los jardines ayuda a mantener la biodiversidad del páramo, preservando tanto la flora como la fauna característica de este ecosistema único (ALMECIGA, 2019).

El establecimiento de Jardines de Vida también fomenta la autosuficiencia y la resiliencia de las comunidades locales, ya que, al producir sus propios alimentos, las familias reducen su dependencia de mercados externos y fortalecen su seguridad alimentaria. Los excedentes de producción se pueden comercializar, generando ingresos adicionales que mejoran el bienestar económico de los agricultores y sus familias, por lo tanto, no solo tiene un impacto positivo en el medio ambiente, sino también en el desarrollo socioeconómico de las comunidades (ALMECIGA, 2019).

En ese sentido, se presenta el presupuesto para el suministro para los jardines de vida:

Tabla 16 Presupuesto Jardines de Vida

SUMINISTRO DE INSUMOS PARA HUERTA	UNIDAD	UND	VALOR TOTAL	\$ 1,731,670.00
DESCRIPCION	UND	CANT.	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Sustrato para germinación (humus, turba)	Bulto	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00
Fumigadora, capacidad 5 litros	UND	1	\$ 24,333.33	\$ 24,333.33
Bandejas para germinación 200 alveolos	UND	6	\$ 9,833.33	\$ 59,000.00
Plástico para invernadero transparente calibre 6	m	16	\$ 10,866.67	\$ 173,866.67
Plástico polietileno negro	m	4	\$ 7,833.33	\$ 31,333.33
Lechugas/acelga/espinaca. (80 Plantas/ 20 m²)	UND	400	\$ 148.33	\$ 59,333.33
Repollo/brócoli/coliflor. (60 Plantas/ 20 m²)	UND	400	\$ 146.67	\$ 58,666.67

Arveja, papa nativa. (20 Plantas/ 20 m²)	UND	200	\$ 290.00	\$ 58,000.00
Aromáticas y condimentarias. (30 Plantas/ 20 m²)	UND	150	\$ 285.00	\$ 42,750.00
Semillas para germinación en bandejas	Libra	1	\$ 90,333.33	\$ 90,333.33
Estiércol fresco (bovinasa, conejasa u otros)	Kg	100	\$ 386.67	\$ 38,666.67
Ceniza vegetal	Kg	20	\$ 500.00	\$ 10,000.00
Gallinaza	Bulto	2	\$ 18,500.00	\$ 37,000.00
Leche o suero	Litro	50	\$ 2,000.00	\$ 100,000.00
Melaza	Kg	32	\$ 4,916.67	\$ 157,333.33
Levadura	Kg	2	\$ 20,333.33	\$ 40,666.67
Cascarilla de arroz	Bulto	1	\$ 25,166.67	\$ 25,166.67
Caneca plástica de 200 litros	UND	1	\$ 195,833.33	\$ 195,833.33
Manguera jardín 1/2"	m	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
Roca fosfórica	Bulto	1	\$ 42,833.33	\$ 42,833.33
Estiércol de Vaca Fresco	Kg	60	\$ 200.00	\$ 12,000.00
Sulfato de Cobre	Kg	2	\$ 11,800.00	\$ 23,600.00
Sulfato de Zinc	Kg	1	\$ 21,666.67	\$ 21,666.67
Sulfato de Magnesio	Kg	2	\$ 13,733.33	\$ 27,466.67
Bórax	Kg	1	\$ 15,666.67	\$ 15,666.67
Sulfato de hierro	Kg	1	\$ 15,666.67	\$ 15,666.67
Cloruro de Calcio	Kg	4	\$ 15,666.67	\$ 62,666.67
Azufre	Kg	10	\$ 9,800.00	\$ 98,000.00
Cal viva	Kg	10	\$ 1,950.00	\$ 19,500.00
Cal dolomita (por bulto)	Bulto	1	\$ 18,166.67	\$ 18,166.67
Jabón de coco	UND	2	\$ 4,783.33	\$ 9,566.67

Alcohol	Litro	1	\$ 9,866.67	\$ 9,866.67
Cebolla	Libra	1	\$ 2,900.00	\$ 2,900.00
Ají	Libra	1	\$ 2,533.33	\$ 2,533.33
			SUBTOTAL MATERIALES	\$ 1,636,883.33
MANO DE OBRA				
Obrero/ayudante	hr	4	\$ 10,336.78	\$ 41,347.13
			SUBTOTAL- MANO DE OBRA	\$ 41,347.13
EQUIPO				
			SUBTOTAL- EQUIPO	\$ 0.00
Transporte				
ANIMAL DE CARGA	vj	1.00	\$ 53,439.54	\$ 53,439.54
			SUBTOTAL TRANSPORTE	\$ 53,439.54
COSTO DIRECTO				\$ 1,731,670.00
INCREMENTO POR DISTANCIA	%	0.00%		-
TOTAL COSTOS DIRECTO+INCREM. DIST				\$ 1,731,670.00
ADMINISTRACION		0%		\$ 0.00
IMPREVISTOS		0%		\$ 0.00
UTILIDAD		0%		\$ 0.00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS:				\$ 0.00
TOTAL COSTOS ACTIVIDAD (INCLUYE AIU E INCREMENTO POR DISTANCIA)				\$ 1,731,670.00

Fuente: El autor.

El suministro de insumos para huerta, con un costo total de \$1,731,670.00, destaca la asignación crítica de recursos para asegurar la eficiencia del cultivo; en donde la inversión predominante de \$1,636,883.33 en materiales, que incluye sustratos, plásticos para invernaderos y fertilizantes, refleja un enfoque estratégico para proporcionar un ambiente controlado que optimice el crecimiento vegetal. Asimismo, la alta inversión en plásticos para invernaderos es esencial para regular las

condiciones ambientales, lo cual es crucial para la germinación y el desarrollo de las plantas, especialmente en climas variables.

Por otra parte, el gasto en fertilizantes y aditivos, como melaza y levadura, establece la necesidad de mejorar la calidad del suelo y promover un crecimiento saludable de las plantas, por lo que esta inversión en insumos específicos es clave para maximizar la productividad y la salud de los cultivos.

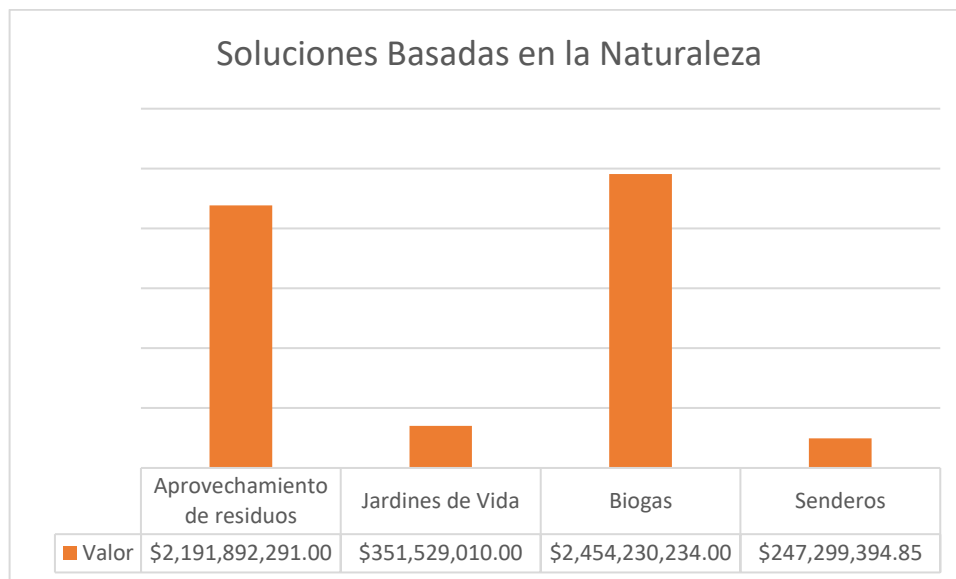
Por lo tanto, la alternativa de suministro de insumos para huerta ha sido diseñada para beneficiar a 203 individuos en los municipios los 5 municipios exceptuando Pesca, con un **costo total de \$351,529,010.00**. Esta inversión tiene como objetivo proporcionar los recursos necesarios para establecer huertas productivas, lo que incluye la adquisición de sustratos, plásticos, fertilizantes y otros insumos clave., por lo que la asignación de este presupuesto asegura que cada beneficiario reciba los materiales necesarios para optimizar la producción agrícola, promoviendo así la sostenibilidad y la eficiencia en las actividades agrícolas en la región.

Tabla 17 Valor total de las Soluciones Basadas en la Naturaleza

Soluciones Basadas en la Naturaleza	Valor
Aprovechamiento de residuos	\$ 2,191,892,291.00
Jardines de Vida	\$ 351,529,010.00
Biogás	\$ 2,454,230,234.00
Senderos	\$ 247,299,394.85
Total	\$ 5,244,950,929.85

Fuente: El autor.

Ilustración 1 Comparación de las SBN



Al comparar las soluciones basadas en la naturaleza para el Páramo de Tota - Bijagual – Mamapacha, observamos variaciones significativas en la inversión requerida, reflejando diferencias en complejidad técnica, alcance y operación.

Aprovechamiento de Residuos - \$2,191,892,291.00 vs. Jardines de Vida - \$351,529,010.00: La diferencia de costos entre el aprovechamiento de residuos y los jardines de vida es notable, en gran parte debido a la complejidad técnica y operativa asociada con cada solución. El aprovechamiento de residuos implica la construcción y operación de una planta de compostaje y biogás, que requiere una infraestructura técnica avanzada, incluyendo digestores, sistemas de aireación, equipos de monitoreo y personal especializado. Este proceso involucra gestión de grandes volúmenes de residuos y una operación continua, lo que eleva significativamente los costos.

En contraste, los jardines de vida son menos complejos desde un punto de vista técnico. Su implementación se centra en el diseño paisajístico y la instalación de sistemas de riego, con un menor requerimiento de maquinaria especializada y operación continua. La inversión en jardines de vida se destina principalmente a la

preparación del terreno y al mantenimiento de las áreas verdes, lo que resulta en un costo considerablemente menor.

Biogás - \$2,454,230,234.00 vs. Senderos - \$247,299,394.85: La inversión en biogás supera ampliamente la asignación para senderos ecológicos, justificable por la diferencia en la tecnología y la infraestructura requerida. La producción de biogás requiere la instalación de digestores anaeróbicos y sistemas avanzados para la captura y procesamiento del biogás, además de generadores y equipos de distribución de energía. Este proceso demanda alta tecnología y mantenimiento especializado, reflejándose en el elevado presupuesto.

En comparación, los senderos ecológicos implican la construcción de infraestructura de caminos y la instalación de señalización, que, aunque técnica, no alcanza la complejidad de los sistemas de biogás. La inversión en senderos cubre costos como la preparación del terreno, pavimentación y señalización informativa, que son menos demandantes tecnológicamente. A pesar de que la señalización requiere diseño y durabilidad, su costo es menor en comparación con los sistemas complejos de biogás.

Comparación General: La inversión total para todas las soluciones (\$5,244,950,929.85) refleja la variabilidad en los requisitos técnicos y operacionales de cada alternativa. La alta inversión en biogás y aprovechamiento de residuos resalta la necesidad de tecnologías avanzadas y operación continua, mientras que los jardines de vida y senderos, aunque importantes, tienen requisitos técnicos menos intensivos y, por ende, menores costos.

5. CONCLUSIONES

Mediante el apoyo técnico realizado en la Secretaria de Medio ambiente y Desarrollo sostenible de la Gobernación de Boyacá se pudo lograr la identificación y delimitación de zonas estratégicas dentro del páramo de Tota-Bijagual-Mamapacha, con un enfoque en la conservación de la biodiversidad y la regulación hídrica. La aplicación de metodologías científicas y tecnológicas, como el análisis geoespacial

y la recolección de datos ecológicos, permitió identificar áreas prioritarias para la conservación, por lo tanto este proceso fue esencial para establecer una base sólida sobre la cual desarrollar estrategias de manejo sostenible, garantizando la protección de recursos críticos para el ecosistema y las comunidades locales, ya que la precisión en la delimitación de estas áreas estratégicas facilita la priorización de intervenciones y la asignación eficiente de recursos.

Para luego determinar mediante la propuesta de alternativas de restauración ecológica, que incluyeron estrategias como la reforestación con especies nativas y la implementación de cercas vivas, las problemáticas como la erosión del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y la degradación de los recursos hídricos, en donde la integración de soluciones ingenieriles, como el uso de tecnologías de viveros transitorios, demuestra un enfoque técnico avanzado para restaurar y mantener la salud del ecosistema. Además, estas estrategias están alineadas con la necesidad de crear un equilibrio entre la conservación ambiental y el desarrollo humano, al fomentar la participación comunitaria y el uso sostenible de los recursos naturales.

Finalmente, se centró en desarrollar propuestas que integren la conservación del medio ambiente con el desarrollo económico local, es decir las soluciones basadas en la naturaleza, como la producción de abono a partir de residuos sólidos y la generación de biogás, reflejan un enfoque innovador y sostenible. Estas iniciativas no solo abordan cuestiones ambientales, sino que también proporcionan nuevas fuentes de ingresos para las comunidades locales, promoviendo un desarrollo económico resiliente, en donde el énfasis en el ecoturismo y la educación ambiental subraya la importancia de la conciencia y la participación comunitaria en la conservación, asegurando que los beneficios de las iniciativas sean tanto ecológicos como socioeconómicos.

6. RECOMENDACIONES

Es necesario fortalecer la educación y participación comunitaria es crucial para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto, a través de la implementación de programas de educación ambiental y talleres participativos que sensibilicen a la comunidad local sobre la importancia de la conservación del páramo y sus servicios ecosistémicos. Esto debe incluir el desarrollo de materiales educativos, como guías, folletos y videos, que expliquen los beneficios de la conservación del páramo y las prácticas sostenibles.

Además, es fundamental capacitar a líderes comunitarios que puedan actuar como defensores del medio ambiente, facilitando la transferencia de conocimientos y habilidades a otros miembros de la comunidad. Integrar la educación ambiental en el currículo escolar local y organizar talleres y seminarios regulares para discutir temas de conservación, técnicas de restauración y manejo sostenible de recursos naturales también contribuirá a este objetivo.

El establecimiento de un sistema robusto de monitoreo y evaluación es esencial para seguir el progreso de las iniciativas de conservación y restauración, ya que es necesario definir indicadores claros y medibles para evaluar el éxito de las intervenciones, como la tasa de supervivencia de plántulas, la reducción de la erosión del suelo y la mejora de la calidad del agua.

Utilizar tecnologías de monitoreo remoto, como drones y sensores ambientales, permitirá recopilar datos en tiempo real sobre el estado del ecosistema y la efectividad de las acciones implementadas, por lo que a su vez es necesario realizar evaluaciones periódicas del proyecto ayudará a identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias según sea necesario, en donde por medio de informes de progreso regulares se pueda comunicar los resultados a todas las partes interesadas, incluyendo la comunidad local, financiadores y autoridades ambientales, es fundamental para la transparencia y la rendición de cuentas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, N., Figueroa, L., & Wilches, M. J. (2017). *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052017000100143
- ALMECIGA, D. E. (2019). *Repositorio Universidad de los Andes*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/fac3705a-767e-4d43-a200-79b404d95994/content>
- Banco mundial. (2021). Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/projects-operations/environmental-and-social-framework#:~:text=Con%20este%20marco%20se%20logran%20avances%20importantes%20en,los%20mecanismos%20de%20atenci%C3%B3n%20de%20quejas%20y%20reclamos>.
- Caicedo, E. (2021). *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/paramos-asi-es-como-agricultura-y-ganaderia-han-transformado-los-ecosistemas-792130>
- Colciencias. (2019). https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/A103M02-manual-gestion-ambiental%20V00.pdf. Obtenido de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/A103M02-manual-gestion-ambiental%20V00.pdf
- Corpoboyaca. (2015). *Corpoboyaca*. Obtenido de Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA)
- Corpoboyaca. (2023). *Corpoboyaca*. Obtenido de <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/proceso-de-restauracion-en-el-paramo-tota-bijagual-mamapacha-podria-tardar-cerca-de-70-anos/>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2020). *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/vercontenido/5>
- CVC Y EL INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. (2018). CVC . Obtenido de <https://www.cvc.gov.co/diplomadoparamos#:~:text=%E2%80%9DP%C3%A1ramos%3A%20Biodiversidad%20y%20Recursos%20H%C3%ADdricos%20en%20los%20Andes,Hermosas%20y%20Chil%C3%AD>

Barrag%C3%A1n%2C%20a%20trav%C3%A9s%20de%20diferentes%20acciones.

Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana . (Julio de 2019). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS* . Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Caja_Herramientas_Gestion_Ambiental_Urbana_Disenio_y_base_documental_2.pdf

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022). *El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de <https://www.undp.org/es/colombia/projects/paramos-para-la-vida>

Entre Ojos. (2020). Obtenido de <https://entreojos.co/paramo-de-bijagual-un-ecosistema-vital-que-reclama-acciones-para-su-conservacion/>

Galvis, S. R. (2015). *Subdirección de Servicios Científicos y Proyectos Especiales* . Obtenido de <https://repository.humboldt.org.co/server/api/core/bitstreams/34380c6b-da0e-4d18-b748-d3d6b221371f/content#:~:text=El%20Convenio%20de%20Diversidad%20Biol%C3%B3gica%2C%20la%20Convenci%C3%B3n%20de,su%20contribuci%C3%B3n%20a%20la%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cam>

Gonzales, G. N., & Vargas, F. M. (s.f.). *Repositorio Sena*. Obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1500#:~:text=Este%20documento%20proporciona%20orientaciones%20t%C3%A9cnicas%20y%20b%C3%A1sicas%20para,como%20el%20mejoramiento%20y%20recuperaci%C3%B3n%20de%20microcuencas%20deterioradas>

ISO (Organización Internacional de Normalización). (2020). Obtenido de <https://www.iso.org/es/cambio-climatico/sistema-de-gestion-ambiental-sga>

Massolo, L. (2015). *Editorial de la Universidad de la Plata*. Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46750/Documento_completo_.pdf?sequence=1

Maya, A. M., Becoche, J. M., & Gómez, L. G. (2022). *Biota Colombiana*. Obtenido de <http://scielo.org.co/pdf/biota/v24n1/2539-200X-biota-24-01-e1095.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/sistema-de-gestion-ambiental/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1771-de-2016/>
- Montenegro, I. E. (2015). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Obtenido de <https://repository.humboldt.org.co/server/api/core/bitstreams/7777ff98-eed4-4867-a9c5-c2410193d276/content>
- Montenegro, I. E. (2015). *Subdirección de Servicios Científicos y Proyectos Especiales*. Obtenido de <https://repository.humboldt.org.co/server/api/core/bitstreams/7777ff98-eed4-4867-a9c5-c2410193d276/content>
- NATIONAL GEOGRAPHIC. (Julio de 2023). Obtenido de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/07/los-3-problemas-ambientales-mas-urgentes-que-sufre-latinoamerica-y-el-mundo>
- ONU programa para el medio ambiente. (06 de Enero de 2022). Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/2022-en-modo-emergencia-por-el-medio-ambiente>
- Ortega, M. G. (2019). *Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/items/6337915a-41d3-4483-9877-cf285262535f>
- Puentes, M. E. (2021). *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Obtenido de https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=flora_bijagual_boyacabio
- Entre Ojos. (2020). Obtenido de <https://entreojos.co/paramo-de-bijagual-un-ecosistema-vital-que-reclama-acciones-para-su-conservacion/>
- Rodrigo, D., Picó, M. J., & Dimuro, G. (Octubre de 2018). *Reladyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5045/504558496002/>

Rueda, D. F., & Hurtado, J. D. (2021). *Universidad El Bosque* . Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/04c34a18-a680-496d-90d8-ec2001ac5957/content>

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (1 de Febrero de 2020). *Gobernación de Boyacá*. Obtenido de <https://www.boyaca.gov.co/secretariaambientedesarrollosostenible/secretaria-de-ambiente-y-desarrollo-sostenible/>

Tierra Viva Escarabajos. (s.f.). *Tierra Viva* . Obtenido de <https://tierravivaescarabajos.com/>

Velandia, Á. Y., & Gómez, P. A. (21 de Junio de 2022). *Universidad Externado de Colombia*. Obtenido de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/contad/article/view/7912>

ANEXOS

Anexo 1 Presupuesto del suministro del vivero

SUMINISTRO, DOTACIÓN Y OPERACIÓN DE VIVERO. INCLUYE DOS OPERADORES AUXILIARES DE EQUIPO Y TECNÓLOGO EN ÁREAS DE INGENIERÍA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	UND	VALOR TOTAL	\$ 285,603,200.20
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Humus	Litro	800	\$ 9,736.00	\$ 7,788,800.00
Micorrizas	Kg	1000	\$ 2,000.79	\$ 2,000,786.67
Rebrote	Kg	400	\$ 23,180.00	\$ 9,272,000.00
Hormonagro	Kg	40	\$ 237,500.00	\$ 9,500,000.00
Safer Soil	Kg	15	\$ 122,500.00	\$ 1,837,500.00
Safermix	Kg	15	\$ 134,000.00	\$ 2,010,000.00
Tijera podadora manual sencilla	UND	2	\$ 31,083.59	\$ 62,167.18
Bolsa vivero 8x160cm o similar	UND	280000	\$ 28.00	\$ 7,840,000.00
Turba por paca de 300 litros	Paca	20	\$ 347,666.75	\$ 6,953,335.07
Sustrato coco bloque por 4 kilogramos	Bloque	60	\$ 50,740.50	\$ 3,044,430.00
Tarjeta de monitoreo tipo T 10 cm x 20 cm ó similar	UND	300	\$ 5,240.26	\$ 1,572,078.30
Fumigadora capacidad 20 litros	UND	2	\$ 352,900.03	\$ 705,800.07
Tanque de almacenamiento de agua plástico, capacidad 2000 litros	UND	1	\$ 981,499.46	\$ 981,499.46
Tela cubresuelo negra, 3.80 x 100 metros	m	1000	\$ 12,333.06	\$ 12,333,056.67
Bandeja semillero x 200 cavidades	UND	100	\$ 11,232.95	\$ 1,123,294.73
Abono orgánico	Kg	2500	\$ 536.50	\$ 1,341,250.00
Tierra negra	m3	56	\$ 14,000.00	\$ 784,000.00
Pala	UND	4	\$ 68,000.00	\$ 272,000.00
Palines	UND	4	\$ 53,000.00	\$ 212,000.00

Canastillas	UND	8	\$ 26,200.00	\$ 209,600.00
Matababosa	Kg	10	\$ 41,130.00	\$ 411,300.00
Azadon	UND	2	\$ 68,000.00	\$ 136,000.00
Pica	UND	2	\$ 68,000.00	\$ 136,000.00
Regaderas	UND	8	\$ 26,500.00	\$ 212,000.00
Estacas de madera o plasticas	UND	100	\$ 12,500.00	\$ 1,250,000.00
Fibra cuerda para cultivo	km	6	\$ 5,966.67	\$ 35,800.00
Oxicloruro de cobre	Kg	10	\$ 36,900.00	\$ 369,000.00
Polisombra negra al 80%, rollo de 4 metros de ancho x 100 metros de largo	Rollo	4	\$ 650,000.00	\$ 2,600,000.00
Balde	UND	12	\$ 21,500.00	\$ 258,000.00
Fumigadora estacionaria, 7.0 Hp o similar	UND	1	\$ 2,700,000.00	\$ 2,700,000.00
Motobomba	UND	1	\$ 2,925,000.00	\$ 2,925,000.00
Manguera en polietileno peletizada Ø1 1/2" para riego	m	340	\$ 2,429.41	\$ 826,000.00
Manguera en polietileno peletizada Ø1/2" para riego	m	700	\$ 680.00	\$ 476,000.00
Nebulizador 5mm	UND	480	\$ 4,900.00	\$ 2,352,000.00
Filtro disco Ø1 1/2" para riego	UND	2	\$ 78,000.00	\$ 156,000.00
Tee aluminio Ø1 1/2"	UND	6	\$ 17,650.00	\$ 105,900.00
Acople rapido Ø1 1/2" parte c, parte f	UND	2	\$ 46,250.00	\$ 92,500.00
Tapones de Ø½"	UND	72	\$ 1,215.00	\$ 87,480.00
Tapones de Ø1 ½"	UND	10	\$ 8,400.00	\$ 84,000.00
Union L Ø1 1/2"	UND	6	\$ 3,600.00	\$ 21,600.00
Union con registro Ø1/2"	UND	56	\$ 1,400.00	\$ 78,400.00
Tanque caneca plástico 200 litros	UND	2	\$ 225,000.00	\$ 450,000.00
Nebulizador 4 salidas	UND	10	\$ 12,850.00	\$ 128,500.00
Instalación sistema de riego	UND	1	\$ 8,000,000.00	\$ 8,000,000.00
Protector auditivo tipo copa	UND	2	\$ 27,750.00	\$ 55,500.00
Mascarilla con filtros para gas marca 3M o similar	UND	2	\$ 152,350.00	\$ 304,700.00
Gafas de seguridad	UND	2	\$ 10,790.00	\$ 21,580.00
Tapabocas N95	UND	100	\$ 3,200.00	\$ 320,000.00
Guantes de seguridad poliuretano	UND	6	\$ 6,550.00	\$ 39,300.00

Botas de caucho de seguridad con puntera	UND	2	\$ 67,250.00	\$ 134,500.00
Botas de seguridad en cuero panzer	UND	2	\$ 97,900.00	\$ 195,800.00
Careta esmerilar	UND	2	\$ 47,500.00	\$ 95,000.00
Casco de seguridad dieléctrico	UND	2	\$ 35,000.00	\$ 70,000.00
Guantes de seguridad de carnaza corto	UND	10	\$ 15,000.00	\$ 150,000.00
Guantes de caucho cal 35	UND	10	\$ 12,000.00	\$ 120,000.00
Overoles impermeables para sustancias químicas tyvex	UND	40	\$ 28,000.00	\$ 1,120,000.00
SUBTOTAL MATERIALES				\$ 96,361,458.14
MANO DE OBRA				
OPERADOR AUXILIAR DE EQUIPO #1	meses	22	\$ 2,480,827.82	\$ 54,578,212.02
OPERADOR AUXILIAR DE EQUIPO #2	meses	22	\$ 2,480,827.82	\$ 54,578,212.02
TECNOLOGO EN AREAS DE INGENIERIA	meses	22	\$ 3,640,241.73	\$ 80,085,318.02
SUBTOTAL- MANO DE OBRA				\$ 189,241,742.06
EQUIPO				
				\$ 0.00
				\$ 0.00
SUBTOTAL- EQUIPO				\$ 0.00
OTROS				
				\$ 0.00
SUBTOTAL OTROS				\$ 0.00
COSTO DIRECTO				\$ 285,603,200.20
INCREMENTO POR DISTANCIA	%	0.00%		-
TOTAL COSTOS DIRECTO+INCREM. DIST				\$ 285,603,200.20
ADMINISTRACION		0%		\$ 0.00
IMPREVISTOS		0%		\$ 0.00
UTILIDAD		0%		\$ 0.00

TOTAL COSTOS INDIRECTOS:	\$ 0.00
TOTAL COSTOS ACTIVIDAD (INCLUYE AIU E INCREMENTO POR DISTANCIA)	\$ 285,603,200.20

Fuente: El autor.

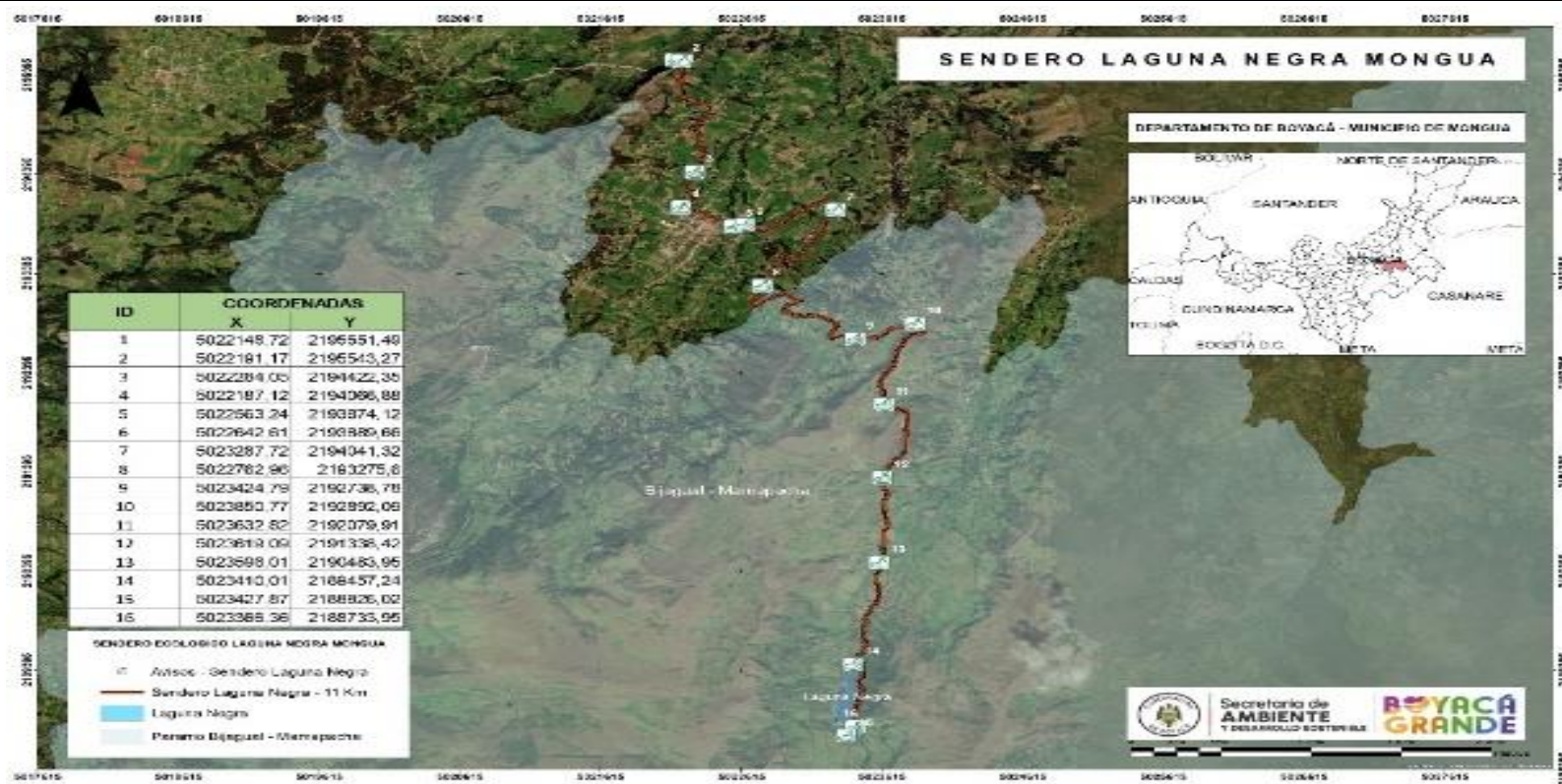
Anexo 2 Senderos Ecológicos

Senderos ecológicos
Sendero Mágico Municipio de Aquitania



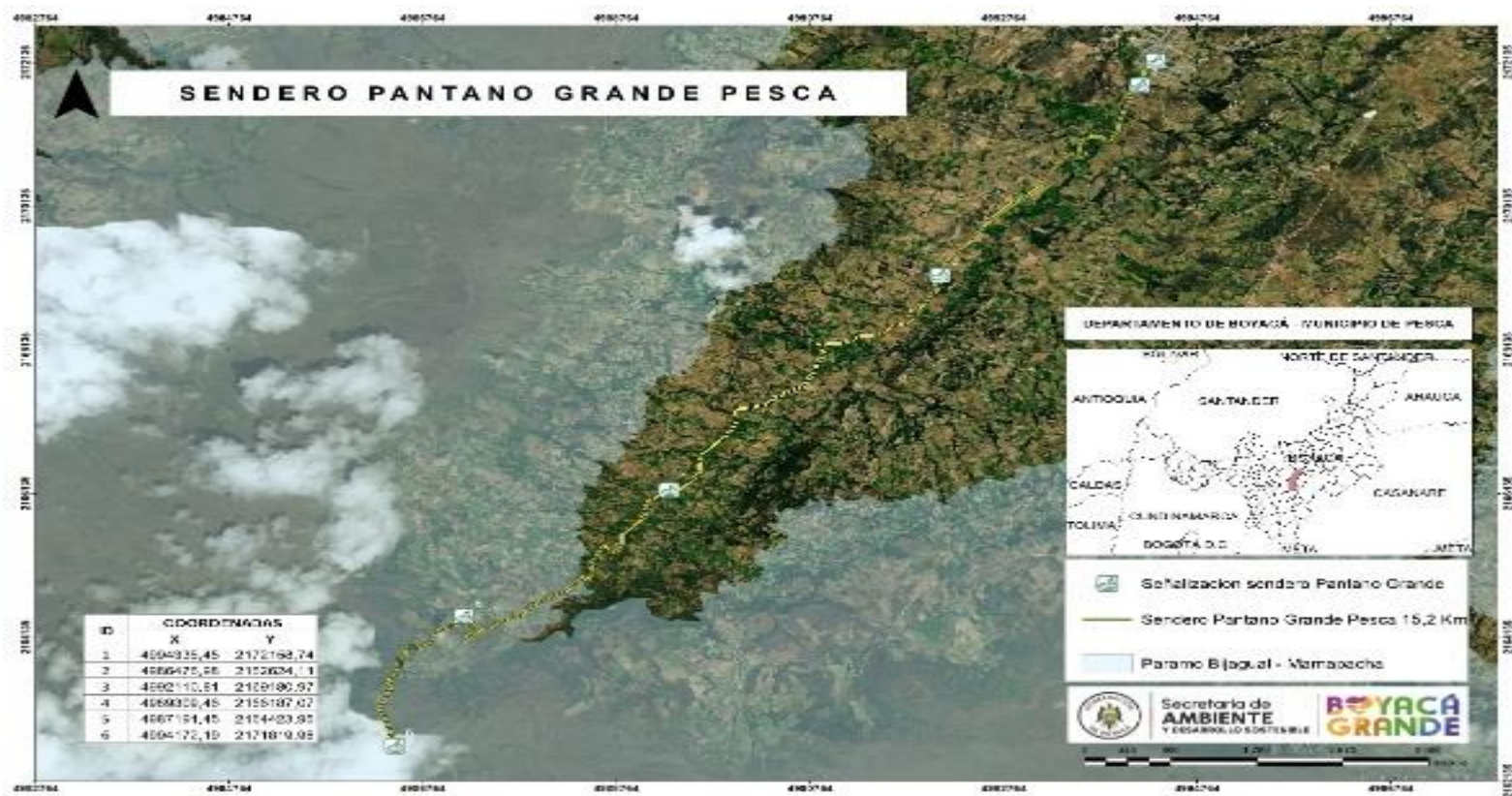
Fuente: Secretaria de medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá

Sendero Laguna Negra Municipio de Mongua



Fuente: Secretaria de medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá

Sendero Pantano Grande Municipio de Pesca



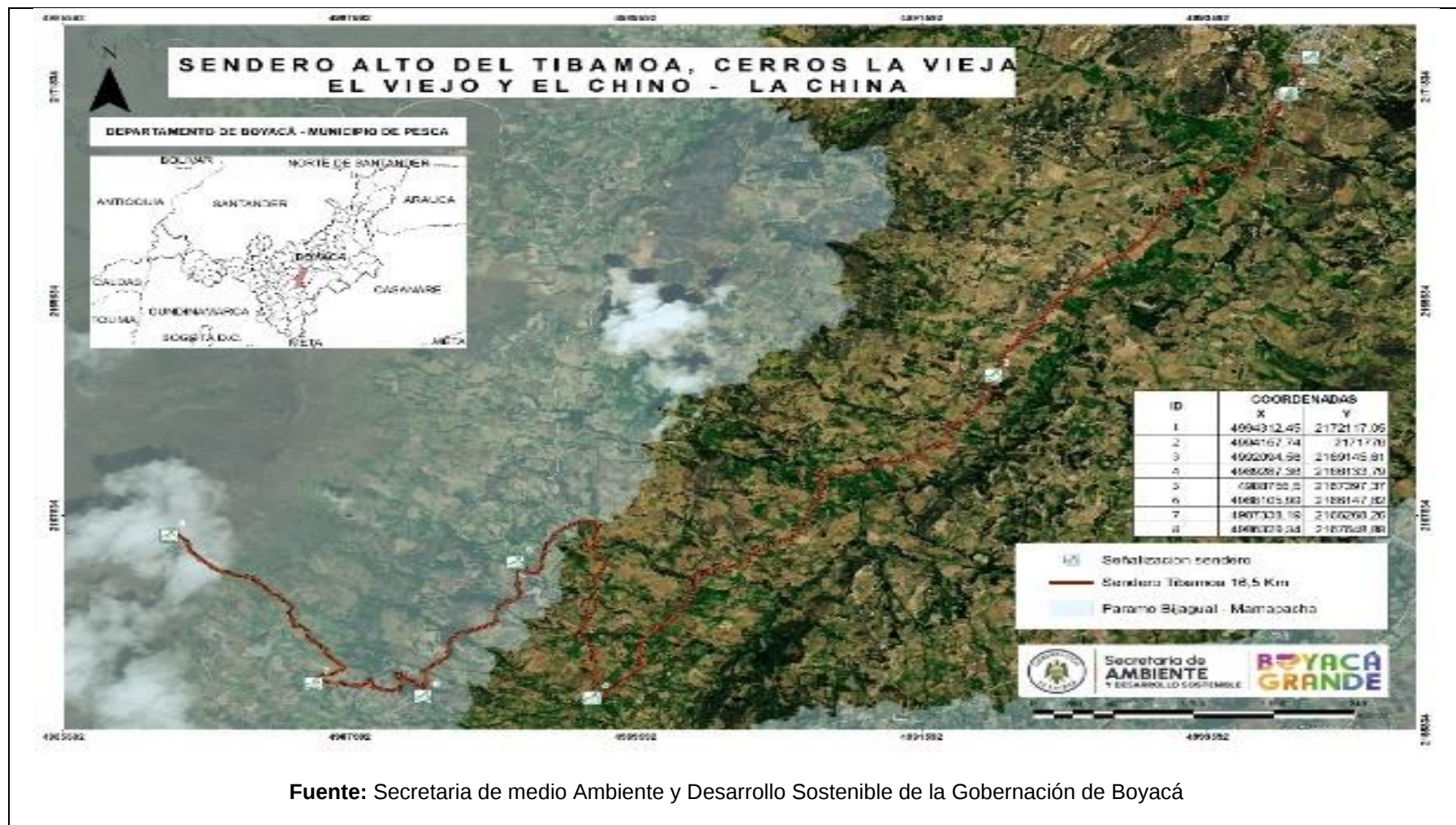
Fuente: Secretaria de medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá

Sendero Las Moyas Municipio de Pesca



Fuente: Secretaria de medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá

Sendero Alto Del Tibamocha Municipio de Pesca



Fuente: Secretaria de medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Boyacá

Fuente: El auto

