



RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL PÁRAMO DE SANTURBÁN COMO SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA.

Laura Milena Vidales Suarez

Especialización en Gestión Integral Ambiental

Docente: Adriana Hernández Guzmán

Fecha de entrega: 30 noviembre 2025

Sede Bogotá: carrera 11 n° 101-80
Sede Campus Nueva Granada: kilómetro 2, vía Cajicá-Zipacquirá
PBX. (571) 601 6500 000
www.umng.edu.co
Colombia • Sur América



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SGBC-CERO
107365

Cuida la vida: ¡ahorra el agua y la energía!





2. Resumen

El páramo de Santurbán, ecosistema estratégico que provee agua a más de dos millones de habitantes en el nororiente colombiano, ha experimentado décadas de degradación por actividades mineras y agropecuarias. Esta revisión documental identifica ventajas y limitaciones de las estrategias de restauración ecológica implementadas para mitigar estos impactos. Mediante análisis sistemático de literatura académica, documentos oficiales e informes técnicos publicados entre 2010-2024, se sistematizaron estrategias de restauración implementadas, analizando sus ventajas ecológicas, sociales y económicas, así como limitaciones técnicas, institucionales y comunitarias. Los hallazgos revelan que la restauración pasiva—eliminación de presiones antrópicas sin intervenciones activas costosas—puede recuperar funciones hidrológicas en 2-3 décadas. Sin embargo, esta capacidad de resiliencia enfrenta limitaciones críticas: el cambio climático proyecta condiciones inadecuadas para 39-52% del área actual de páramos para 2050, mientras que características fisiológicas de especies emblemáticas como los frailejones limitan su adaptación rápida. Se concluye que la restauración efectiva requiere integrar dimensiones biofísicas, socioeconómicas y de adaptación climática, transitando desde paradigmas de restauración "hacia condiciones históricas" hacia enfoques de "restauración adaptativa" que preparen ecosistemas para escenarios climáticos sin precedentes.

Palabras clave: restauración ecológica, páramo de Santurbán, resiliencia ecosistémica, servicios hidrológicos, cambio climático, conflictos socioambientales



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365



3. Introducción

El páramo de Santurbán, ubicado entre los departamentos de Norte de Santander y Santander en el nororiente colombiano, constituye uno de los ecosistemas estratégicos más importantes del país debido a su función como regulador hídrico para más de dos millones de habitantes. Este complejo paramuno, que abarca aproximadamente 142.610 hectáreas distribuidas en el 72% en Norte de Santander y 28% en Santander, enfrenta presiones antrópicas significativas derivadas principalmente de actividades mineras y agropecuarias que han comprometido su integridad ecológica (Basto Torrado, 2017, p. 10). La degradación del ecosistema se manifiesta en la alteración de coberturas vegetales, compactación de suelos, contaminación de fuentes hídricas y pérdida de biodiversidad, problemáticas que han motivado la implementación de diversas estrategias de restauración ecológica orientadas a recuperar la funcionalidad del sistema. Como señalan Galván-Carvajal et al. (2023), "el páramo de Santurbán presenta una riqueza de 252 especies agrupadas en 157 géneros y 72 familias, configurando una diversidad en vegetación que incluye frailejonales, pajonales, chuscales y matorrales" (p. 281), diversidad que resulta fundamental para la provisión de servicios ecosistémicos pero que se encuentra amenazada por las intervenciones humanas históricas.

La restauración ecológica del páramo de Santurbán trasciende el ámbito puramente biofísico para inscribirse en dimensiones sociales, económicas y políticas complejas. Basto Torrado (2017) evidencia que "los conflictos socioambientales en América Latina están en aumento debido a políticas extractivistas gubernamentales que priorizan la explotación de recursos naturales sin considerar el detrimento ecosistémico ni la calidad de vida de las poblaciones locales" (p. 9), situación que caracteriza precisamente la tensión entre conservación y desarrollo en Santurbán. La Resolución 2090 de 2014 delimitó 98.994 hectáreas del complejo, estableciendo zonas de preservación, restauración y uso sostenible, marco normativo que demanda estrategias técnicamente fundamentadas para garantizar tanto la recuperación ecológica como la viabilidad socioeconómica de las comunidades paramunas. Ramírez y Plata-Díaz (2008) destacan la importancia de comprender las relaciones ecológicas del páramo al documentar que "las diatomeas perifíticas fueron afectadas principalmente por diferencias en el hábitat entre tramos, enfatizando la relevancia de las condiciones ambientales en sistemas acuáticos tropicales de alta montaña" (p. 199),



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365



conocimiento esencial para diseñar intervenciones de restauración ecológicamente coherentes.

La presente revisión documental se estructura en ocho componentes principales que permitirán abordar sistemáticamente el estado del conocimiento sobre restauración ecológica en Santurbán. Tras la introducción, se formula el problema de investigación delimitando espacial y temporalmente el análisis, seguido de los objetivos que orientan la sistematización de estrategias, el análisis de ventajas y limitaciones, y la identificación de buenas prácticas replicables. El marco teórico-referencial establece los fundamentos conceptuales sobre restauración ecológica, páramos andinos y servicios ecosistémicos, mientras que el diseño metodológico explicita el enfoque de revisión documental cualitativa adoptado. Los resultados presentarán la caracterización de experiencias de restauración implementadas, sus logros y obstáculos, finalizando con conclusiones que sintetizen los hallazgos y propongan recomendaciones para la gestión ambiental del páramo y su potencial extensión a otros ecosistemas paramunos colombianos afectados por perturbaciones antrópicas similares.

4. Formulación del Problema

El Páramo de Santurbán ha experimentado décadas de degradación por actividades mineras y agropecuarias intensivas. Aunque la Resolución 2090 de 2014 delimitó zonas de preservación, restauración y uso sostenible, persiste incertidumbre sobre la efectividad de las estrategias de restauración implementadas. La intervención antropogénica ha alterado la estructura y función del ecosistema, comprometiendo servicios vitales como la regulación hídrica que beneficia a millones de personas. Resulta crucial evaluar sistemáticamente qué estrategias de restauración han demostrado mayor efectividad y cuáles son sus limitaciones operativas, técnicas y sociales.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de las estrategias de restauración ecológica implementadas en el Páramo de Santurbán para mitigar los impactos de la minería y la agricultura, y qué experiencias presentan mayor potencial de replicabilidad en otros páramos colombianos?

Delimitación espacial y temporal



Espacial: Complejo de páramo Jurisdicciones Santurbán-Berlín (98.994 hectáreas delimitadas), ubicado entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, específicamente en los municipios afectados por la Resolución 2090 de 2014.

Temporal: El análisis abarca desde 2010 (expedición Ley 1450) hasta 2024, priorizando intervenciones posteriores a la delimitación oficial de diciembre de 2014, periodo en el cual se han implementado las principales estrategias de restauración y reconversión productiva.

5. Objetivos

Objetivo general

Identificar ventajas y limitaciones de las estrategias de restauración ecológica que se han llevado a cabo en el páramo de Santurbán para mitigar los impactos de la minería y la agricultura.

Objetivos específicos

1. Sistematizar las estrategias de restauración ecológica implementadas en el páramo de Santurbán.
2. Analizar ventajas y limitaciones observadas durante la planificación y ejecución de dichas estrategias.
3. Identificar las experiencias y buenas prácticas con mayor potencial de replicabilidad en otros páramos del país.

6. Justificación

La presente investigación posee relevancia académica, social, ambiental y práctica al abordar un conflicto socioambiental emblemático que expone las tensiones entre modelos de desarrollo extractivista y la conservación de ecosistemas estratégicos. Como señalan Cárdenas y Ortiz-Riomalo (2018, p. 2), el caso Santurbán representa "un caldo de cultivo apropiado para un aumento de las tensiones y la generación de conflictos entre los intereses de quienes defendían la minería de oro como una estrategia de crecimiento económico, y quienes defendían a los páramos como una estrategia de sostenibilidad ambiental". Este estudio cobra especial importancia al sistematizar estrategias de restauración ecológica en un territorio que provee agua para más del 70% de la población de Santander y Norte de Santander (Vergara-Buitrago, 2020, p. 168), permitiendo generar conocimiento transferible



para la gestión de los 36 complejos de páramos que Colombia debe delimitar y proteger según mandato constitucional.

Desde una perspectiva práctica y social, esta investigación responde a la necesidad urgente de documentar experiencias de restauración que permitan orientar políticas públicas efectivas en contextos donde, como describe Acevedo-Tarazona (2020, p. 113), "el páramo de Santurbán se configura como un espacio de encuentros y desencuentros, de pasiones confundidas con ideologías y fricciones alimentadas por la diferencia". El análisis de ventajas y limitaciones de las estrategias implementadas resulta fundamental para construir alternativas que integren tanto la conservación ecosistémica como el bienestar de comunidades históricamente marginadas, contribuyendo así a superar la polarización entre "agua sí, oro no" que ha caracterizado el conflicto (Parra-Romero, 2019, p. 188), y avanzando hacia modelos de gobernanza territorial más incluyentes y sostenibles.

7. Marco Teórico y Referencial

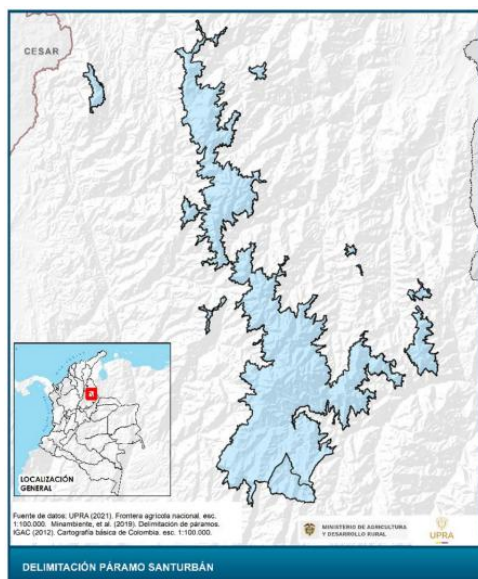
Los páramos constituyen ecosistemas únicos de alta montaña tropical con características biofísicas distintivas. Técnicamente se definen como "ecosistema de alta montaña, ubicado entre el límite superior del bosque andino y, si se da el caso, con el límite inferior de los glaciares o nieves perpetuas, en el cual domina una vegetación herbácea y de pajonales, frecuentemente frailejones" (Ministerio de Ambiente, 2002, citado en Mahecha et al., 2018, p.16). Esta caracterización distingue tres zonas altitudinales: subpáramo (3.201-3.600 msnm), páramo propiamente dicho (3.601-4.100 msnm) y superpáramo (4.101-4.800 msnm). La importancia estratégica de estos ecosistemas radica fundamentalmente en su función hidrológica. Los páramos "proveen de agua para consumo humano y actividades agropecuarias a más del 70% de la población colombiana, incluyendo a Bogotá y a otras 20 ciudades intermedias" (Vergara-Buitrago, 2020, p. 168). En el caso específico de Santurbán, "48 municipios colombianos se abastecen con agua proveniente de Santurbán, 15 en Santander y 33 en Norte de Santander" (Molina et al., 2019, p. 3), lo que convierte su restauración en una cuestión de seguridad hídrica regional.

Esta capacidad de provisión hídrica se fundamenta en características climáticas y del suelo particulares: "la precipitación en estos lugares es relativamente alta, la evapotranspiración es baja y la humedad relativa del aire es alta. Así mismo, las características del suelo otorgan a estos ecosistemas la capacidad de retener el agua por largos períodos y liberarla lentamente"

(Güiza-Suárez & Aristizabal-González, p.17). Esta combinación explica por qué los páramos funcionan como verdaderas "fábricas de agua" cuya degradación compromete directamente el bienestar de millones de personas.

De acuerdo con la Unidad de Planificación de Tierras Rurales Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA), el páramo de Santurbán se encuentra ubicado en la cordillera oriental, entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, se encuentra delimitado mediante la Resolución 2090 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual permitió delimitar el 73% de su área (UPRA, 2022). En cuanto a la jurisdicción territorial, tiene responsabilidades compartidas entre la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), dichas autoridades deben velar por su manejo y restauración (CDMB, 2019). en la figura 1, se presenta la ubicación geográfica del páramo

Figura. 1. Ubicación geográfica del páramo de Santurbán



Nota: Tomado de Caracterización de ordenamiento social de la propiedad del Páramo de Santurbán-Berlín, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), 2022.

La minería representa una de las principales amenazas para la integridad del páramo de Santurbán, generando tensiones entre modelos de desarrollo extractivista y conservación. El proyecto Angosturas ejemplifica la magnitud de impactos potenciales: "El proyecto



Angosturas intervendría 1.104 hectáreas... utilizaría 230 ton diarias de explosivos ANFO (mezcla de nitrato de amonio y combustible) y 40 ton de cianuro" (Contreras, 2024, p. 347). Estas cifras ilustran la escala de transformación ecosistémica que implicaría la megaminería, afectando no solo la estructura del paisaje sino la funcionalidad hidrológica del sistema.

Los impactos trascienden lo ambiental para afectar la salud de poblaciones: "La funcionalidad y estructura de la zona de estudio presenta actividades ganaderas, mineras y de subsistencia alterando la regulación hídrica, su calidad, evidenciando un aumento de enfermedades ligadas a las prácticas" (Duque & Gutiérrez, 2019, p. 95). Es importante distinguir entre escalas de minería: "El proyecto abrirá un tajo de doscientos veinte hectáreas con una profundidad de doscientos metros en la parte más alta de la montaña... ambas quebradas van a dar al río Suratá, el cual alimenta de agua potable al área metropolitana de Bucaramanga" (Mahecha et al., 2018, p.208). La megaminería difiere radicalmente de la minería artesanal tradicional, tanto en escala de impacto como en compatibilidad con funciones ecosistémicas.

Estos ecosistemas de alta montaña proveen múltiples servicios ecosistémicos que justifican tanto su protección como las inversiones en restauración. Más allá del servicio hídrico, estos ecosistemas contribuyen al "almacenamiento y captación de carbono atmosférico" (Molina et al., 2019, p. 2), función crucial en el cambio climático. Por lo tanto, es importante que se realice un monitoreo integrado que considere las relaciones entre el ecosistema y las dimensiones socio ecológicas (política, cultura, social, económica) (Llambí et al., 2019, p. A14).

La narrativa social sobre estos servicios ha sido fundamental para su defensa pública. "El páramo se convierte en una fábrica de agua y necesita protegerse" el Comité para la Defensa del Agua del Páramo de Santurbán, moviliza mensajes con diferentes niveles de complejidad: el riesgo por la cianuración de las aguas, el daño ecológico, el impacto en flora y fauna" (Parra-Romero, 2019, p.189-190). Estas acciones han permitido una articulación entre actores: "El Comité logró aliar a diferentes instituciones gubernamentales... organizaciones sociales... y sensibilizar a la opinión pública del país" (Méndez et al., 2020, p. 7) y ha generado presión política suficiente para influir en decisiones de política pública.



El conflicto ha fortalecido el tejido social: "La comunidad fortaleció su capital social al integrarse, definir objetivos y generar confianza entre ellos respecto de una amenaza común" (Rangel & Villamizar, 2022, p. 48). La movilización ha logrado impactos medibles: "El 25 de febrero de 2011 entre 30.000 y 40.000 ciudadanos del área metropolitana de Bucaramanga se hicieron presentes en la movilización por la defensa del Páramo de Santurbán" (Parra-Romero, 2019, p.188). Esta movilización precedió logros concretos como el retiro de la licencia ambiental a Greystar (2011), la delimitación oficial del páramo (2014) y la prohibición constitucional de minería en páramos (2016), demostrando que la acción colectiva puede traducirse en cambios normativos que sustentan la restauración ecológica.

La Procuraduría General de la Nación, dio a conocer su posición por medio de un pronunciamiento, donde manifiesta que las actividades antrópicas que se han desarrollado hace aproximadamente 40 años y han generado cambios en el uso del suelo, contaminación de acuíferos, pérdida de semillas, alteración en corredores biológicos, pérdida de biodiversidad. (Procuraduría General de la Nación, 2008), por lo anterior, surge la necesidad de iniciar con la implementación de diferentes estrategias que permitan la conservación de los ecosistemas degradados. En este contexto, se presentan las soluciones basadas en la naturaleza (SBN); definidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como acciones que aprovechan la naturaleza para afrontar desafíos ambientales (2023).

En este contexto, la restauración ecológica surge como una de las principales soluciones basadas en naturaleza y está orientada a recuperar la estructura y dinámica de ecosistemas degradados; el objetivo es reestablecer los servicios ecosistémicos con el fin de fortalecer la resiliencia ambiental y la equidad entre el ser humano y la naturaleza. A continuación, en la figura 2 se presentan los 13 pasos fundamentales para llevar a cabo este proceso bajo un enfoque adaptativo, en donde la comunidad tiene un papel fundamental y de monitoreo continuo. (Vargas Ríos, 2011)



SC4420-1



OS-CER508440

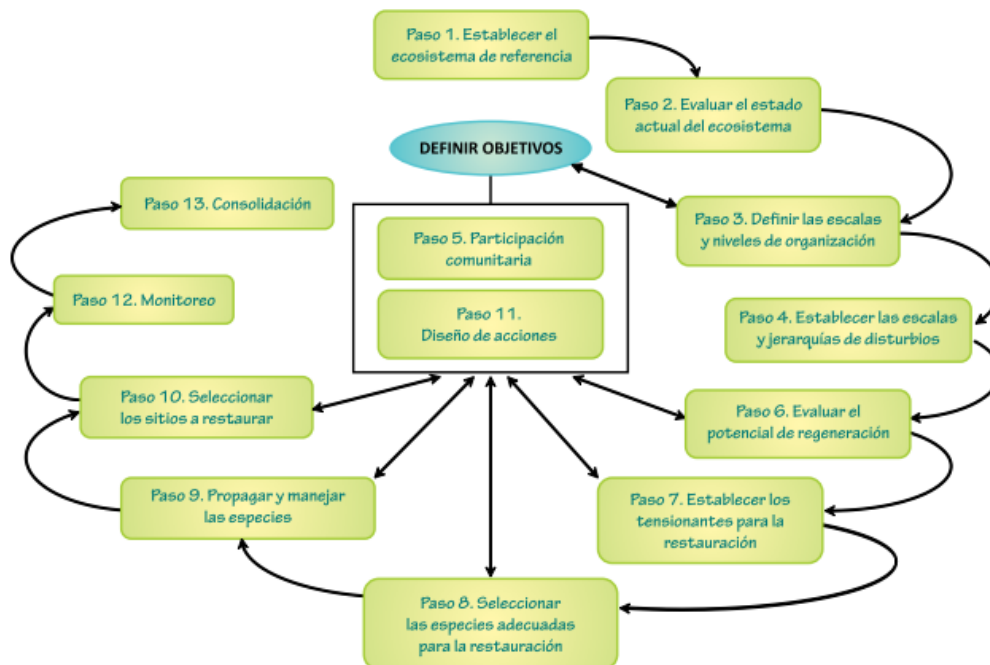


SA-CER502658



SBGC-CERO
107365

Figura. 2. 13 pasos para la restauración ecológica según Vargas Ríos (2011)



Nota: Tomado de “RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN” por O. Vargas Ríos, 2011, *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), p. 217.
<http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v16n2/v16n2a17.pdf>

Esta metodología garantiza el éxito de un proyecto de restauración, ya que abarca todos los aspectos del proceso desde la planificación hasta la evaluación; promoviendo la participación activa de las comunidades aledañas y asegurando que las estrategias se ejecuten a largo plazo, adicionalmente promueve la confianza de las entidades que apoyan este tipo de actividades y se establece como mecanismo para la recuperación de corredores biológicos, adicionalmente se convierte en una aliada para el cumplimiento de algunos objetivos de desarrollo sostenible (Aguilar-Garavito et al., 2021, p. 12).

En el marco de la agenda 2023 se establecen metas específicas directamente relacionadas con la restauración de paramos: el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) reconoce la función hídrica de ecosistemas de alta montaña; el ODS 13 (Acción por el clima) demanda estrategias de adaptación que incluyen la conservación de sumideros naturales de carbono; y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) establece la meta 15.4 de "asegurar la conservación de los



ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica" (Molina et al., 2019, p. 2). Estos compromisos se traducen en políticas nacionales específicas. La Ley 1450 de 2011 ordenó al Ministerio de Ambiente "acoger la delimitación a escala 1:25.000 de los ecosistemas de páramos" (Serrano & Serrano, 2015, p. 53), prohibiendo actividades mineras y agropecuarias en estos ecosistemas.

La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), adoptada en 2012, orienta la acción del Estado hacia la integración de la biodiversidad en la planificación del desarrollo territorial, reconociéndola como base del bienestar humano y de la economía nacional. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Esta política favorece la articulación de diferentes sectores y alienta la intervención de las comunidades en la administración de los recursos naturales, fomentando prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la minería.

De forma complementaria, se establece la Estrategia Nacional de Restauración Ecológica (2023–2026) la cual, traduce los principios de la PNGIBSE en acciones concretas de restauración. Esta estrategia define lineamientos técnicos y metodológicos para recuperar ecosistemas degradados bajo un enfoque adaptativo, que ajusta las intervenciones según los resultados y las condiciones del territorio. Sus ejes estratégicos incluyen la priorización de ecosistemas estratégicos, la generación de conocimiento científico y local, y la articulación con los instrumentos de planificación ambiental y territorial. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024). En el contexto del páramo de Santurbán, la estrategia orienta la implementación de proyectos de restauración ecológica alineados con las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

La Resolución 2090 de 2014 materializó estos mandatos legales al delimitar 98.994 hectáreas del complejo Santurbán-Berlín (Serrano & Serrano, 2015, p. 44), estableciendo tres categorías de manejo: zonas de preservación estricta, áreas de restauración ecológica, y espacios de uso sostenible. Esta zonificación reconoce que la restauración "requiere de estrategias de uso, manejo y conservación de los recursos naturales, que estén articuladas con las leyes y políticas actuales, además de incluir a los diferentes actores sociales" (Güiza-Suárez & Aristizabal-González, p.26), integrando así dimensiones técnicas con participación comunitaria.



Aquí es importante considerar la resiliencia ecosistémica, definida como la capacidad que tiene el páramo de recuperarse de disturbios y mantener sus funciones esenciales. Las investigaciones han demostrado que "los páramos alterados pueden restaurar sus funciones hidrológicas en pocas décadas, incluso, bajo esquemas de restauración pasiva" (Cardenas & Tobon, 2017, p. 410).

Por lo anterior, Colombia ha desarrollado instrumentos de política específicos para la restauración de ecosistemas degradados. Las zonas identificadas como 'Áreas para la restauración del ecosistema de páramo' requieren "acciones tendientes a recuperar la funcionalidad ecológica que permita la óptima prestación de los servicios ecosistémicos" (Molina et al., 2019, p. 11). Esta definición establece que la restauración no busca únicamente recuperar elementos estructurales del ecosistema, sino garantizar que el páramo vuelva a cumplir sus funciones ecológicas esenciales, particularmente la regulación hídrica. Sin embargo, esta resiliencia enfrenta amenazas críticas; en un estudio realizado en el Parque Nacional Natural Chingaza determinó que "el aumento en las temperaturas medias mensuales y el cambio en la precipitación harán que entre el 39%-52% de la extensión actual de páramo no sea apta para estos ecosistemas durante la época seca" (Cresso et al., 2020, p. 10). Esto respalda la necesidad de integrar escenarios climáticos en los planes de restauración.

Múltiples factores interactúan afectando la resiliencia: "Los páramos y las actividades humanas que en ellos tienen lugar se ven afectados por estos cambios globales y al mismo tiempo contribuyen a exacerbarlos" (Acevedo & Correa, 2017, p.213). Esta retroalimentación subraya la complejidad de mantener la resiliencia y la necesidad de estrategias que aborden múltiples escalas temporales y espaciales.

Los conflictos en Santurbán representan tensiones históricas entre diferentes actores con visiones incompatibles del territorio. "Por motivos de utilidad pública o interés social definidos por el legislador, podrá haber expropiación mediante sentencia judicial e indemnización previa" (Serrano & Serrano, 2015, p. 48, citando CP Art. 58). Esta disposición constitucional establece el marco legal para resolver conflictos entre derechos de propiedad privada y necesidades de conservación, aunque su implementación ha sido compleja.

El modelo FPEIR (Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) ha permitido sintetizar estos conflictos evidenciando que "Las principales amenazas en estos ecosistemas corresponden a las actividades extractivas que han ocasionado desequilibrios, afectando



negativamente la calidad del suelo y de las fuentes hídricas, disminución acelerada de la biodiversidad y en la calidad de vida a mediano y largo plazo de los habitantes" (Lis-Gutiérrez et al., 2023, Figura 2). Este enfoque identifica no solo presiones directas sobre el ecosistema, sino impactos en cascada sobre sistemas sociales y ecológicos.

Las propuestas de solución negociada reconocen esta complejidad: "El área óptima a conservar es por lo menos el 74% del área total del Páramo y que el resto debe dedicarse a actividades agrícolas y mineras" (Rincón Ruiz et al., 2020, p. 62). Esta propuesta, construida participativamente, busca equilibrar conservación con actividades productivas, aunque enfrenta desafíos políticos y sociales. De hecho, "incluir el valor de los servicios ecosistémicos en las decisiones de uso del suelo hace que resulte óptimo conservar por lo menos el 74% del área del páramo" (Calderón, 2014, p. 43), demostrando que la conservación mayoritaria es no solo ambientalmente necesaria sino económicamente óptima.

En este contexto, surge el concepto de justicia hídrica, fundamental para estrategias equitativas de restauración. "La disyuntiva entre la necesidad de preservar el agua que llega del páramo de Santurbán y la importancia de conservar la tradición minera... generó tensión entre pobladores del páramo y habitantes de Bucaramanga" (Acevedo-Tarazona, 2020, p. 112-113). Esta tensión evidencia diferencias entre beneficiarios urbanos del agua y comunidades rurales que enfrentan restricciones económicas debido a la conservación. "La justicia hídrica debe ser entendida comprendiendo las diversas escalas sociales y ambientales que se constituye según las relaciones de los sistemas socio-ecológicos" (Abadia & Avendaño, 2014, p. 8). Esta perspectiva reconoce que la justicia hídrica es un proceso dinámico que debe negociarse continuamente entre múltiples actores.

Las estrategias de restauración deben incorporar mecanismos que garanticen justicia: "Para el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga existe un problema de costo y de tecnología para potabilizar agua con altos niveles de contaminación. Para las organizaciones en defensa de los derechos humanos es fundamental defender que las comunidades puedan acceder de forma integral a los derechos, como el agua y el medio ambiente sano" (Osorio & Mazuera, 2024, p.399). Por lo tanto es necesario que las estrategias de restauración incluyan mecanismos de compensación, participación equitativa y reconocimiento de múltiples usos legítimos del agua.



Comprender los mecanismos hidrológicos del páramo es esencial para diseñar restauración efectiva. Los frailejones (*Espeletia* spp.) desempeñan un papel central: "La transpiración de *Espeletia* es muy baja, lo que contribuye a mantener el alto rendimiento hídrico de estos ecosistemas... El páramo produce agua no solo por las lagunas, sino por todo el ecosistema" (Cárdenas et al., 2018, p. 193).

La capacidad de almacenamiento en los tejidos de frailejones es notable: "El agua almacenada en el núcleo parenquimático puede mantener la intensidad promedio de transpiración por aproximadamente 2.5 horas continuas... El páramo no es solo las lagunas, es toda la montaña con sus acuíferos y turberas" (Cárdenas et al., 2018, p. 186, 193). Esta característica permite al ecosistema mantener flujos hídricos incluso durante períodos secos regulando temporalmente la disponibilidad de agua.

La evidencia demuestra que la restauración puede recuperar estas funciones: "Los páramos alterados pueden restaurar sus funciones hidrológicas en pocas décadas, incluso, bajo esquemas de restauración pasiva" (Cardenas & Tobon, 2017, p. 410). Este potencial sugiere que estrategias de restauración pueden ser efectivas si se protegen las condiciones básicas para que el ecosistema se recupere de manera natural, vinculando así el conocimiento científico sobre la variedad de plantas y la dinámica del páramo con aplicaciones prácticas de manejo. Conocer estos procesos permite diseñar estrategias más efectivas, asegurando que el páramo recupere sus funciones ecológicas.

8. Diseño Metodológico

Tipo y enfoque de investigación

Investigación cualitativa de tipo revisión documental, con enfoque descriptivo-analítico. En donde se interpretan documentos científicos, técnicos y normativos sobre restauración ecológica en Santurbán, buscando comprender la complejidad socio ecológica de las intervenciones.

Técnicas de recolección de datos

Revisión sistemática de literatura mediante búsqueda en bases académicas (Scopus, Web of Science, SciELO), repositorios institucionales (Humboldt, CDMB, Corponor), documentos oficiales (resoluciones, planes de manejo), informes técnicos y tesis. Criterios de inclusión: publicaciones 2010-2024, foco en Santurbán, temática de restauración/reconversión



productiva. Análisis documental mediante matrices de sistematización que registren estrategias, ventajas, limitaciones y resultados.

Población y muestra

Universo documental: totalidad de publicaciones sobre restauración en Santurbán. Muestra intencional: documentos que describan estrategias concretas implementadas (reforestación, reconversión agropecuaria, pagos por servicios ambientales), con información verificable sobre resultados, desafíos o lecciones aprendidas. Se priorizan fuentes primarias y estudios con respaldo institucional.

Procedimientos de análisis

Análisis de contenido temático en tres fases: (1) identificación y codificación de estrategias de restauración; (2) categorización de ventajas (ecológicas, sociales, económicas) y limitaciones (técnicas, institucionales, comunitarias); (3) evaluación comparativa para determinar potencial de replicabilidad mediante criterios de efectividad, viabilidad y aceptación social. Triangulación entre fuentes para validar hallazgos

Para finalizar, la metodología de este trabajo se basa en lo planteado según Hernández Sampieri et al. (2014), quienes explican que la investigación cualitativa es una herramienta útil cuando se requiere entender alguna temática compleja a partir de la búsqueda y análisis de diversas fuentes y documentos. Por lo anterior en este estudio, se articulan procesos de búsqueda y selección que garantizan la veracidad del estudio y la coherencia entre los objetivos formulados y el análisis realizado, ofreciendo una base sólida para comprender los procesos de restauración ecológica en el páramo de Santurbán.

9. Resultados Esperados

La sistematización de estrategias de restauración ecológica en el Páramo de Santurbán revela un panorama complejo donde convergen intervenciones institucionales, procesos participativos y acciones comunitarias, desarrolladas principalmente entre 2014 y 2020. Las estrategias identificadas se pueden agrupar en cuatro categorías principales: restauración ecológica directa, reconversión productiva, gobernanza participativa y conservación mediante áreas protegidas.



En el ámbito de la restauración ecológica directa, Cárdenas y Tobón (2017) documentan que los páramos alterados pueden restaurar sus funciones hidrológicas en pocas décadas, incluso bajo esquemas de restauración pasiva. Su investigación en tres páramos colombianos, incluido el complejo Santurbán-Berlín, demuestra que ecosistemas sometidos históricamente a ganadería extensiva y minería recuperaron propiedades físicas del suelo comparables a páramos conservados tras aproximadamente 27 años de protección. Esta capacidad de resiliencia sugiere que estrategias de restauración pasiva—enfocadas en la eliminación de disturbios sin intervenciones activas costosas—pueden ser efectivas para recuperar servicios ecosistémicos críticos, particularmente la regulación hídrica.

La reconversión productiva constituye una segunda línea estratégica fundamental. Molina Benavides et al. (2019) identifican que las zonas designadas como "Áreas para la restauración del ecosistema de páramo" requieren acciones tendientes a recuperar la funcionalidad ecológica que permita la óptima prestación de los servicios ecosistémicos. Esta estrategia implica la transición de actividades agropecuarias y mineras hacia prácticas sostenibles compatibles con la conservación. Los autores proponen políticas integradas de educación ambiental, pagos por servicios ecosistémicos (PSA) y reforestación como mecanismos para lograr la sostenibilidad del páramo, reconociendo que mantener la población en el área debe diseñarse como parte del ecosistema.

La gobernanza participativa emerge como estrategia transversal en el proceso de construcción de acuerdos colectivos. Cárdenas y Ortiz-Riomalo (2018) documentan un proceso participativo implementado entre 2014-2015 para facilitar la construcción de acuerdos colectivos y un sistema de monitoreo ciudadano en las cuencas asociadas al CPJSB (Complejo de Páramo Jurisdicciones Santurbán-Berlín). Este proceso, que empleó talleres comunitarios, juegos económicos y ejercicios de mapeo participativo, permitió identificar consensos en torno a cinco acciones prioritarias: implementación de esquemas de pago por servicios ambientales, protección de nacimientos de agua, educación ambiental, adopción de tecnologías de bajo impacto y reforestación con especies nativas. Los autores destacan que la metodología de juegos económicos y construcción participativa de mapas facilitó el diálogo entre actores históricamente polarizados.

Rincón Ruiz et al. (2020) profundizan en esta línea mediante un análisis de escenarios participativos realizado en la provincia de Soto Norte. Su trabajo identifica que los actores del territorio visualizaron cuatro escenarios futuros: tendencial ("continuando con la trayectoria actual"), posible 1 ("crecimiento sin sostenibilidad-minería a gran escala"), posible 2 ("restricción ambiental") y el escenario ideal, en el cual se integran los tres aspectos:



económico, social y ecológico. En el escenario ideal consensuado por los participantes, las actividades económicas tradicionales (agricultura y minería a pequeña y mediana escala) continuarían, pero con mejoras técnicas que permitan la compatibilidad entre ecosistema y población, incluyendo la progresiva disminución del uso de cianuro y la implementación de programas de agricultura orgánica.

La conservación mediante áreas protegidas representa la cuarta estrategia principal. Vergara-Buitrago (2020) documenta que 51.57% de los complejos de páramos en Colombia está incluido en áreas naturales protegidas, siendo la categoría de parque nacional natural la que abarca mayor extensión con 914,683.96 hectáreas. En el caso específico de Santurbán, la Resolución 2090 de 2014 delimitó 98,994 hectáreas del complejo, estableciendo zonas de preservación estricta, áreas de restauración ecológica y espacios de uso sostenible. Sin embargo, la autora señala que las autoridades ambientales deben implementar estrategias de conservación complementarias para el 48.43% de los complejos de páramos que no cuenta aún con esta herramienta.

Bacca Contreras et al. (2018) analizan críticamente las consecuencias de la declaratoria del Páramo de Santurbán como Parque Natural Regional, evidenciando que el abandono estatal continúa siendo la causa principal de la ambivalencia actual. Los autores documentan que después de la delimitación persisten 28 títulos mineros en zonas adyacentes y 33,978 hectáreas utilizadas inadecuadamente para actividades agropecuarias, y que los despidos masivos de 1,500 trabajadores tras las restricciones mineras, la falta de implementación efectiva de programas de reconversión productiva y la demanda de Eco Oro ante el CIADI por USD 764 millones evidencian que la "victoria" ambiental no se ha traducido en bienestar para comunidades locales.

Las estrategias de restauración ecológica implementadas en Santurbán integran: (1) restauración pasiva mediante eliminación de presiones antrópicas; (2) reconversión productiva con educación ambiental, PSA y adopción de tecnologías de bajo impacto; (3) construcción participativa de acuerdos colectivos mediante metodologías innovadoras que facilitan el diálogo entre actores polarizados; y (4) conservación mediante la delimitación de áreas protegidas con zonificación diferenciada. No obstante, la efectividad de estas estrategias está condicionada por la capacidad institucional para su implementación real y el involucramiento genuino de las comunidades locales en todos los niveles de toma de decisiones.



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365

El análisis de ventajas y limitaciones de las estrategias implementadas revela una compleja interacción entre logros técnico-ecológicos y desafíos socio-institucionales. La Tabla 1 sintetiza de manera comparativa las principales ventajas y limitaciones identificadas en la literatura revisada, organizadas según las cuatro categorías estratégicas principales.

Tabla 1. Ventajas y limitaciones de las estrategias de restauración ecológica en el Páramo de Santurbán

Estrategia	Ventajas	Limitaciones
Restauración Ecológica Pasiva	* Recuperación de funciones hidrológicas en 2–3 décadas con intervenciones mínimas (Cárdenas & Tobón, 2017) * Bajo costo comparado con la restauración activa * Rendimiento hídrico (Q/P) de 0.60, comparable a páramos conservados * Restauración natural de propiedades físicas del suelo sin inversiones costosas	* El cambio climático proyecta condiciones inadecuadas para el 39–52% del área actual para 2050 (Cresso et al., 2020) * Características fisiológicas de frailejones (crecimiento lento: 3.8–6.9 cm/año) limitan la adaptación rápida * Requiere la eliminación completa de presiones antrópicas durante décadas * La recuperación lenta puede no ser compatible con las urgencias socioeconómicas locales
Reconversión Productiva	* Integra dimensiones sociales y ecológicas, manteniendo a la población en el territorio (Molina et al., 2019) * El PSA ofrece una alternativa económica para las comunidades * La educación ambiental fortalece las capacidades locales * Las tecnologías de bajo impacto permiten continuar con las actividades tradicionales	* Falta de implementación efectiva de programas de reconversión (Bacca et al., 2018) * Inversiones prometidas (10 mil millones COP para 2015) no materializadas * Despidos masivos (1,500 trabajadores) sin alternativas económicas viables * Ausencia de acompañamiento técnico efectivo para la transición tecnológica * Los tiempos de transición no consideran las necesidades inmediatas de subsistencia

Gobernanza Participativa	* Construcción de consensos en torno a 5 acciones prioritarias (Cárdenas & Ortiz-Riomalo, 2018) * Metodologías innovadoras (juegos económicos) facilitaron el diálogo entre actores polarizados * - Identificación participativa de un escenario ideal integrando aspectos económicos, sociales y ecológicos (Rincón Ruiz et al., 2020) * - Fortalecimiento del capital social comunitario	* Ausencia de participación constante de algunos sectores ambientalistas clave * - Cansancio y descontento comunitario por múltiples intervenciones externas sin resultados concretos * - Brecha entre los acuerdos construidos y su traducción en políticas públicas efectivas * - Falta de continuidad institucional trascendiendo ciclos electorales * - Desconfianza comunitaria en procesos gubernamentales
Conservación mediante Áreas Protegidas	* Delimitación de 98,994 ha del CPJSB mediante la Resolución 2090/2014 * - Marco legal que prohíbe actividades mineras y agropecuarias en el ecosistema * - Zonificación diferenciada (preservación, restauración, uso sostenible) * - El 51.57% de los páramos colombianos está bajo alguna figura de protección (Vergara-Buitrago, 2020)	* Persistencia de 28 títulos mineros en zonas adyacentes (Bacca et al., 2018) * 33,978 ha utilizadas inadecuadamente para actividades agropecuarias * - El proceso de delimitación excluyó e invisibilizó a los habitantes (Sentencia T-361/2017) * - Falta de “contenido” real a la delimitación: planes de manejo pendientes * 4 permisos de explotación minera vigentes dentro de la zona delimitada (Contraloría, 2017) * - La demanda de Eco Oro ante el CIADI por USD 764 millones genera presión sobre el Estado

Nota: Tabla de elaboración propia basada en Cárdenas & Tobón (2017), Molina Benavides et al. (2019), Cárdenas & Ortiz-Riomalo (2018), Rincón Ruiz et al. (2020), Vergara-Buitrago (2020) y Bacca Contreras et al. (2018).



El análisis comparativo de experiencias de restauración ecológica en diferentes páramos colombianos permite identificar buenas prácticas con alto potencial de transferibilidad a otros ecosistemas paramunos del país. La sistematización realizada revela que las estrategias implementadas en Santurbán, presentan características técnicas, metodológicas y adaptativas que las hacen particularmente replicables en contextos con presiones antrópicas similares a los diferentes paramos andinos de Colombia.

Estrategias de manipulación del componente suelo

Las intervenciones sobre el componente edáfico implementadas en Chingaza demuestran efectividad para superar barreras ecológicas críticas. La descompactación mecánica del suelo y el trasplante de mantos de suelo provenientes de zonas conservadas constituyen estrategias que facilitan la creación de micrositios favorables para el establecimiento de especies nativas (Insuasty-Torres et al., 2011; Vargas et al., 2009). La siembra de *Lupinus bogotensis* como especie fijadora de nitrógeno y facilitadora mejora las condiciones microambientales y favorece la dinámica y estructura de la vegetación (Insuasty-Torres et al., 2011). Los resultados preliminares indican que, tras 18 meses, la supervivencia de *Espeletia grandiflora* alcanzó el 77.9% y de macollas de pajonal el 100% cuando se trasplantaron junto a *L. bogotensis*, evidenciando el efecto facilitador de esta leguminosa (Vargas et al., 2009).

Trasplante de especies estructuradoras del ecosistema

La reubicación de individuos de *Espeletia grandiflora* y macollas de gramíneas se constituye como una buena estrategia debido a que facilitan la creación de núcleos de regeneración (Insuasty-Torres et al., 2011). Después de 24 meses, el 74.62% de los individuos de *E. grandiflora* trasplantados sobrevivieron, con mayores niveles de supervivencia en las categorías de tamaño medio y grande (Vargas et al., 2009). Esta estrategia resulta particularmente relevante para Santurbán, donde la restauración debe recuperar elementos estructurales característicos de comunidades de frailejón-pajonal. La totalidad de las macollas reubicadas (n=576) se encontraron vivas luego de 10 meses después de la siembra sin importar la zona de procedencia (Vargas et al., 2009), demostrando alta plasticidad ecológica de estas especies.

Propagación vegetativa de especies clave

La propagación vegetativa de especies como *Chusquea tessellata* es una herramienta eficaz para obtener abundante material vegetal de plantas de lento crecimiento o de plantas claves para la generación de núcleos de regeneración (Insuasty-Torres et al., 2011). Los resultados

demuestran que tratar los culmos únicamente con agua y mantenerlos en tierra húmeda influye positivamente en la producción de raíces y brotes, siendo un método económico y efectivo (Insuasty-Torres et al., 2011; Vargas et al., 2009). La técnica de usar secciones basales con tres o más entrenudos logró porcentajes de enraizamiento del 71%, superando significativamente el uso de fitohormonas sintéticas (Vargas et al., 2009).

Lecciones del contexto normativo y político

Desde 1993 se hace explícito el interés estatal por proteger los páramos como áreas de importancia ambiental, siendo junto con los bosques el único ecosistema mencionado explícitamente en la Ley General Ambiental (Murillo-Martín, 2022). La delimitación de páramos entre 2014 y 2018 fue un proceso que definió no solo los límites de un ecosistema, sino espacios llenos de significado social y cultural (Murillo-Martín, 2022). Esta experiencia normativa subraya la necesidad de que las estrategias de restauración trasciendan lo meramente técnico para incorporar dimensiones participativas y de justicia territorial desde su concepción.

Tabla 2. Buenas prácticas de restauración ecológica con alto potencial de replicabilidad en páramos colombianos

Estrategia	Descripción técnica	Indicadores de éxito	Contextos de aplicabilidad	Consideraciones para replicabilidad
Descompactación mecánica + trasplante de suelo	Remoción de vegetación epigea, descompactación con herramientas manuales y adición de suelo de zonas conservadas	Mayor riqueza de especies (31 vs 24 especies); expresión del banco de propágulos nativos	Áreas con compactación severa por ganadería extensiva; zonas con matriz de pastos exóticos dominante	Requiere disponibilidad cercana de fuentes de suelo conservado; efectividad a mediano plazo (>12 meses); bajo costo operativo



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

Uso de especies facilitadoras (<i>L. bogotensis</i>)	Siembra intercalada de leguminosa fijadora de nitrógeno con especies objetivo	Supervivencia >75% en <i>E. grandiflora</i> ; 100% en macollas; incremento de N, P, K, Ca, Mg en suelo tras 18 meses	Suelos degradados con baja disponibilidad de nutrientes; áreas en transición agroecológica	Producción previa en vivero; seguimiento del efecto facilitador; compatible con modelos de reconversión productiva
Trasplante de frailejones juveniles	Reubicación de individuos de 13-17 cm de altura con porción de suelo rizosférico	Supervivencia 74.62% a 24 meses; tasa de crecimiento relativo 0.158-0.341 año ⁻¹	Enriquecimiento de áreas potrerizadas; creación de núcleos de regeneración	Extracción cuidadosa minimizando daño radicular; plantación en diseño espaciado (50 cm); control de pastos exóticos esencial
Trasplante de macollas de pajonal	Reubicación de macollas de 8 cm diámetro basal, podadas al nivel del suelo	Supervivencia 100% a 10 meses; rebrote y floración desde el sexto mes	Restauración de cobertura herbácea; protección contra erosión; recuperación rápida de biomasa	Alta plasticidad ecológica; independiente de zona de procedencia; técnica de bajo costo y alta efectividad
Propagación vegetativa de <i>C. teselara</i>	Secciones basales con 3+ entrenudos, inmersión en agua, siembra en tierra húmeda	Enraizamiento 71% en secciones basales; supervivencia 100% a 3 meses	Obtención masiva de propágulos de especies de lento crecimiento; restauración de chuscales degradados	No requiere fitohormonas sintéticas (método económico); colecta no destructiva; aplicable a otras

Sede Bogotá: carrera 11 n° 101-80
Sede Campus Nueva Granada: kilómetro 2, vía Cajicá-Zipacquirá
PBX. (571) 601 6500 000
www.umng.edu.co
Colombia • Sur América



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SGBC-CERO 107365

Cuida la vida: ¡ahorra el agua y la energía!





				bambusoideas paramunos
--	--	--	--	---------------------------

Nota: Tabla de elaboración propia basada en Insuasty-Torres et al. (2011), Vargas et al. (2009) y Murillo-Martín (2022). Los indicadores de éxito corresponden a resultados documentados en el PNN Chingaza durante periodos de seguimiento de 6-24 meses.

Criterios de replicabilidad y escalabilidad

Las experiencias sistematizadas comparten características que facilitan su transferencia a otros contextos: (1) emplean técnicas de bajo costo y complejidad operativa moderada, aplicables con herramientas manuales y capacitación básica; (2) utilizan especies nativas con funciones ecológicas clave (fijación de nitrógeno, estructuración del paisaje, regulación hídrica); (3) demuestran efectividad en plazos relativamente breves (6-24 meses), generando resultados visibles que fortalecen la apropiación comunitaria; y (4) son compatibles con enfoques participativos y de reconversión productiva gradual.

En la última década se ha modificado la representación estatal del páramo, reconociéndose como un espacio de significativa importancia ambiental e incorporándose, no sin tensiones, la dimensión social (Murillo-Martín, 2022). Esta transformación política subraya que la replicabilidad de estrategias técnicas debe acompañarse de procesos participativos que garanticen legitimidad social. La efectividad de las estrategias está condicionada por la capacidad institucional para su implementación real y el involucramiento genuino de las comunidades locales en todos los niveles de toma de decisiones (Murillo-Martín, 2022).

Para Santurbán, estas experiencias sugieren priorizar: (a) estrategias de enriquecimiento mediante trasplante de especies estructuradoras en áreas con potencial de recuperación; (b) incorporación de especies facilitadoras para mejorar condiciones edáficas y micro ambientales; (c) propagación masiva de material vegetal nativo mediante técnicas económicas y accesibles; y (d) diseño participativo que integre conocimiento científico con saberes locales y necesidades socioeconómicas de comunidades paramunas. La escalabilidad de estas prácticas dependerá de la articulación interinstitucional, la continuidad del financiamiento y el fortalecimiento de capacidades técnicas locales para el monitoreo adaptativo de largo plazo.



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SGBC-CERO
107365



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

10. Discusión

La sistematización de estrategias implementadas en el páramo de Santurbán reveló que la restauración ecológica pasiva constituye una de las alternativas más prometedoras desde el punto de vista técnico y económico. Los hallazgos del primer objetivo confirman que la eliminación de presiones antrópicas sin intervenciones activas costosas puede efectivamente recuperar funciones hidrológicas críticas, coincidiendo con la evidencia de Cárdenas y Tobón (2017) quienes demostraron que "los páramos alterados pueden restaurar sus funciones hidrológicas en pocas décadas, incluso bajo esquemas de restauración pasiva" (p. 410). En el caso del páramo de Belmira, sometido históricamente a ganadería extensiva y minería, se recuperaron propiedades hidrofísicas del suelo comparables a páramos conservados tras aproximadamente 27 años de protección, evidenciando que estos ecosistemas "presentan un alto rendimiento y buena regulación hídrica" una vez reducidas las presiones antrópicas (Cárdenas y Tobón, 2017, p. 403), con rendimientos hídricos de 0.60 en Belmira y 0.64 en Chingaza. Este potencial de resiliencia natural sustenta la viabilidad técnica de las estrategias identificadas en Santurbán, particularmente aquellas enfocadas en la reconversión productiva y la protección mediante delimitación oficial.

Sin embargo, el análisis de limitaciones realizado en el segundo objetivo evidencia que esta capacidad de recuperación enfrenta amenazas críticas que comprometen su sostenibilidad a largo plazo. La principal limitación identificada corresponde a la vulnerabilidad climática proyectada, confirmada por Cresso et al. (2020) quienes proyectaron que "entre 39 y 52% de la extensión actual de páramo en el Parque Nacional Chingaza resultará inadecuada para estos ecosistemas durante la estación seca, y entre 13 y 34% durante la estación húmeda" (p. 1) bajo escenarios de cambio climático para 2041-2060. Los modelos indican incrementos de temperatura entre 1.8°C (RCP 4.5) y 2.4°C (RCP 8.5), con modificaciones en precipitación que intensificarán la estacionalidad: "estaciones secas más secas y estaciones húmedas más húmedas, con ambas estaciones volviéndose más cálidas" (Cresso et al., 2020, p. 8). Esta realidad climática cuestiona la efectividad de las estrategias identificadas cuando se proyectan más allá de 2-3 décadas, sugiriendo que incluso páramos exitosamente restaurados enfrentarán desafíos para mantener su integridad ecológica.

La identificación de buenas prácticas replicables desarrollada en el tercer objetivo debe contextualizarse considerando las características fisiológicas de especies emblemáticas que, aunque cruciales para la funcionalidad hidrológica actual, presentan limitaciones adaptativas frente al cambio acelerado. Las estrategias de trasplante de frailejones y propagación de especies clave sistematizadas como buenas prácticas deben considerar que, según Cárdenas



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SGBC-CERO
107365



et al. (2018), "aunque los factores ambientales favorecen la transpiración, el flujo de savia tiende a decrecer—un comportamiento particular de los procesos de transpiración de *Espeletia*—ya que esto ocurre caóticamente en el tiempo, incluyendo flujo de savia nocturno" (p. 185). Esta eficiencia permite a los frailejones contribuir mínimamente a la evapotranspiración (aproximadamente 21% de salidas hídricas totales), explicando parcialmente el alto rendimiento hídrico de los páramos (Cárdenas et al., 2018, p. 194). No obstante, estas adaptaciones—desarrollo lento ($3.8\text{--}6.9\text{ cm año}^{-1}$) y especialización a rangos estrechos de temperatura—limitan la capacidad de respuesta rápida ante cambios ambientales abruptos, sugiriendo que la migración altitudinal podría ser insuficiente para compensar el calentamiento proyectado.

La integración de los resultados obtenidos en los tres objetivos revela una tensión fundamental entre la resiliencia ecológica demostrada a corto-mediano plazo y la vulnerabilidad climática proyectada a largo plazo. Mientras las estrategias de restauración pasiva identificadas pueden recuperar funciones hidrológicas en 2-3 décadas, como demostró Belmira (Cárdenas y Tobón, 2017, p. 410), las proyecciones climáticas indican que más de un tercio del área actual de páramos podría experimentar condiciones fuera de los rangos históricos de idoneidad para 2050 (Cresso et al., 2020, p. 8). Esta discrepancia temporal entre capacidad de recuperación y velocidad del cambio climático plantea interrogantes sobre la efectividad de invertir recursos en restauración de áreas que podrían volverse climáticamente inadecuadas en pocas décadas. Las experiencias sistematizadas sugieren la necesidad de transitar desde paradigmas de "restauración hacia condiciones históricas" hacia enfoques de "restauración adaptativa" que consideren no solo la recuperación de funcionalidad actual, sino la facilitación de transiciones ecosistémicas hacia configuraciones más resilientes. Las buenas prácticas identificadas con potencial de replicabilidad deben incorporar criterios de adaptación climática y selección de áreas con mayor idoneidad proyectada, integrando las ventajas técnicas de la restauración pasiva con las limitaciones impuestas por el cambio climático.

11. Conclusiones y Recomendaciones

La sistematización de estrategias implementadas en Santurbán identificó cuatro líneas principales: restauración pasiva, reconversión productiva, gobernanza participativa y conservación mediante áreas protegidas. El análisis de ventajas y limitaciones revela una tensión crítica: mientras la restauración pasiva puede recuperar funcionalidad hidrológica en 2-3 décadas con bajo costo, enfrenta limitaciones severas por cambio climático (39-52% del



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365



área actual será inadecuada para 2050) y características biológicas de especies clave (crecimiento lento de frailejones: 3.8-6.9 cm/año). Las estrategias de reconversión productiva y gobernanza participativa, aunque prometedoras, enfrentan falta de implementación efectiva, ausencia de financiamiento materializado y desconfianza comunitaria por múltiples procesos sin resultados concretos.

La identificación de buenas prácticas replicables como la descompactación de suelo, trasplante de frailejones, propagación vegetativa de *Chusquea*, uso de especies facilitadoras demuestra efectividad técnica en plazos de 6-24 meses con supervivencias de 74-100%. Sin embargo, estas prácticas deben contextualizarse considerando que la recuperación estructural del ecosistema puede resultar insuficiente si las condiciones climáticas futuras exceden los rangos de tolerancia de especies estructuradoras. Los resultados evidencian que el factor determinante es la eliminación sostenida de presiones antrópicas, más que intervenciones técnicas aisladas.

Se recomienda para Santurbán: (a) priorizar restauración pasiva en áreas con alta idoneidad climática proyectada, aplicando las buenas prácticas identificadas (trasplante, propagación vegetativa) como complemento acelerador; (b) implementar efectivamente los programas de reconversión productiva identificados pero no materializados, con acompañamiento técnico y financiamiento sostenido; (c) fortalecer la gobernanza participativa documentada como exitosa en la construcción de consensos, asegurando continuidad institucional más allá de ciclos electorales; y (d) establecer monitoreo hidro climático que permita ajustes adaptativos. La replicabilidad de estas estrategias en otros páramos colombianos dependerá de integrar las ventajas técnicas identificadas con mecanismos que superen las limitaciones institucionales, socioeconómicas y climáticas documentadas en Santurbán.



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365



12. Referencias Bibliográficas

- Abadia, B. D., & Avendaño, T. R. (2014). El dilema del páramo: diferentes concepciones en un contexto de justicia hídrica. El caso del páramo de Santurbán. *Revista Universidad Javeriana*, 3, 1-9. https://totumasymaracas.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/art_bibianatatiana_dilema-de-los-paramos_rfinal.pdf
- Acevedo-Tarazona, Á. (2020). Bucaramanga, entre la sobreexplotación minera o la preservación del agua en el páramo de Santurbán. *Entramado*, 16(2), 112-124. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032020000200112&script=sci_arttext
- Aguilar-Garavito, M., Avella Rodríguez, C., Cabrera, M., De Lima Niebles, V., Franco Morales, M. A., Hernández Palma, A. M., Herrera Varón, Y., León, O. A., Londoño, M. C., Pinzón Arias, M., Ramírez Hernández, W. A., Sánchez Clavijo, L. M., Rojas, S. L., & Vargas-Ríos, O. (2021). *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino* [Informe técnico]. https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Aguilar-Garavito/publication/358107733_EVALUACION_Y_SEGUIMIENTO_DE_LA_RESTAURACION_ECOLOGICA_EN_EL_PARAMO_ANDINO/links/61f07356c5e3103375bef7c5/EVALUACION-Y-SEGUIMIENTO-DE-LA-RESTAURACION-ECOLOGICA-EN-EL-PARAMO-ANDINO.pdf
- Bacca Contreras, R. E., García Mantilla, E., & Pinto Mantilla, J. A. (2018). Los ambivalentes resultados de una lucha socioambiental: Parque Natural Regional Páramo de Santurbán, Colombia. *Sociedad y ambiente*, (17), 201-220. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-65762018000200201&script=sci_arttext
- Calderón, L. (2014). *Conflictos asociados al uso del suelo: una aproximación al área de conservación óptima en el Páramo de Santurbán*. <https://ageconsearch.umn.edu/record/209406/>
- Cárdenas, J. C., & Ortiz-Riomalo, J. F. (2018). *Acción Colectiva Para Abordar Conflictos Socio-Ambientales. El Caso De Santurbán (Collective Action to Address Social-*



Environmental Conflicts the Case of Santurbán) (Documento CEDE, 2018-29).
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3203922

Cárdenas, M. F., Tobón, C., Rock, B. N., & del Valle, J. I. (2018). Ecophysiology of frailejones (*Espeletia* spp.), and its contribution to the hydrological functioning of páramo ecosystems. *Plant Ecology*, 219(2), 185-198. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0787-x>

Cardenas, M., & Tobon, C. (2017). Recuperación del funcionamiento hidrológico de ecosistemas de páramo en Colombia. *Revista Actualidad & Divulgación Científica*, 20. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.381>

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023, diciembre 4). *Colombia lidera compromiso global sobre soluciones basadas en naturaleza en la COP28*. <https://www.minambiente.gov.co/colombia-lidera-compromiso-global-sobre-soluciones-basadas-en-naturaleza-en-la-cop28/>

Contreras Santos, M. J. (2024). Santurbán Conflicto socioambiental. *Revista Trabajo Social*, 26(2).
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=01234986&asa=N&AN=182562389&h=L%2FIX8z%2BSNSu7xlycOt09a43UDO2gGJtVAU8HerjsA415o%2BUDBft1f3ZrDiMJQ4OZXAJFQXt0tizes%2B2dqnP7S%2Bg%3D%3D&crl=c>

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (2019, octubre). *Plan de manejo del Parque Natural Regional Páramo de Santurbán* (Versión 1). Bucaramanga.
https://www.cdm.gov.co/images/documentos/institucional/areas_protegidas/DOCUMENTO TECNICO PM PNR 25 10 19.pdf

Cresso, M., Clerici, N., Sanchez, A., & Jaramillo, F. (2020). Future Climate Change Renders Unsuitable Conditions for Paramo Ecosystems in Colombia. *Sustainability*, 12(20), 8373. <https://doi.org/10.3390/su12208373>

Duque, I. M., & Gutiérrez, D. S. (2019). *Expresión territorial de la salud ambiental por actividades mineras en ecosistemas de alta montaña. Caso de estudio Páramo Jurisdicciones Santurbán-Berlín* [Tesis doctoral, Universidad El Bosque]. ProQuest Dissertations Publishing.



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

<https://search.proquest.com/openview/876de73ce8d785427ac7388fabde7eb5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>

- Galván-Carvajal, S. Y., Ortiz-Rodriguez, N. Y., Pinto-Zárate, J., Rangel-Ch, J., & Sánchez, R. (2023). Patrón de riqueza de flora y vegetación del páramo El Romeral-macizo de Santurbán. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(183), 281-300. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082023000200281&script=sci_arttext
- García, X. A., & Ruiz, D. F. H. (2013). Situación Actual del Páramo Santurbán. Abordaje desde los costos ambientales, las instituciones constitucionales y legales. *Principia Iuris*, 20(20). <http://revistas.santototunja.edu.co/index.php/piuris/article/view/811>
- Güiza-Suárez, L., & Aristizabal-González, J. D. (s.f.). Identificación de áreas de importancia ecológica y proyectos de minería: el caso de los páramos. En *Mitos y realidades de la minería aurífera en Colombia* (p. 1). https://www.viaminera.com/uploads/1/2/5/9/125973241/mitos_y_realidades_de_la_mineria_aurifera_en_colombia_compressed_1.pdf#page=19
- Gutiérrez, M. L., Gutiérrez, J. P. L., Parra, J. J., & Rodríguez, C. H. (2023). Environmental impact of the páramo in Colombia: an approach from the FPEIR model. *Salud, Ciencia y Tecnología-Serie de Conferencias*, (2), 155. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9871867>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Insuasty-Torres, J., Gómez-Ruiz, P. A., Rojas-Zamora, O., & Cárdenas, C. de los Á. (2011). Estrategias para la restauración ecológica de los páramos en áreas afectadas por pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). En O. Vargas-Ríos & S. P. Reyes (Eds.), *La restauración ecológica en la práctica: memorias I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica* (pp. 507–525). Universidad Nacional de Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/342840047>



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SOBC-CERO
107365



- Llambí, L. D., Becerra, M. T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M., & Díaz, L. J. (2019). Monitoring Biodiversity and Ecosystem Services in Colombia's High Andean Ecosystems: Toward an Integrated Strategy. *Mountain Research and Development*, 39(3), A8. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-19-00020.1>
- Mahecha Laiton, Y. A., Púa Olivo, A. M., & Ortiz Ruiz, F. E. (2018). *Minería, medio ambiente y desarrollo. Efectos socio ambientales de la delimitación del Páramo de Santurbán en los municipios de Vetás y California, durante el periodo de 2006-2016.* <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/6ab4f867-7885-45c4-8ada-d49179bddabf/full>
- Méndez Villamizar, R., Mejía Jerez, A., & Acevedo Tarazona, Á. (2020). Territorialidades y representaciones sociales superpuestas en la dicotomía agua vs. oro: El conflicto socioambiental por minería industrial en el páramo de Santurbán. *Territorios*, (42-Especial), 1-25. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.7563>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. República de Colombia. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Poli%CC%81tica-Nacional-de-Gestio%CC%81n-Integral-de-la-Biodiver.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Estrategia Nacional de Restauración 2023-2026: Juntos para recuperar la naturaleza perdida*. República de Colombia. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/03/ENR_3032025-1.pdf
- Molina Benavides, R. A., Campos Gaona, R., Sánchez Guerrero, H., Giraldo Patiño, L., & Atzori, A. S. (2019). Sustainable Feedbacks of Colombian Paramos Involving Livestock, Agricultural Activities, and Sustainable Development Goals of the Agenda 2030. *Systems*, 7(4), 52. <https://doi.org/10.3390/systems7040052>
- Murillo-Martín, D. C. (2022). De marginales a estratégicos: representación y gestión estatal de los páramos en Colombia (1959-2022). *Encrucijadas: Revista Crítica de Ciencias Sociales*, 22(1), a2202. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8556747>
- Osorio, A., & Mazuera, M. (2024). La dimensión humana de los espacios naturales protegidos. Una revisión de la producción académica sobre los páramos. *Cuadernos*



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 33(2), 393-411.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10093406>

Parra-Romero, A. (2019). "AGUA SÍ, ORO NO". PRODUCCIÓN DE UNA NARRATIVA POR LA DEFENSA DEL AGUA Y DEL PÁRAMO DE SANTURBÁN (COLOMBIA). En *Ciencia, tecnología y sociedad en América Latina* (p. 177).
<https://doi.org/10.2307/j.ctvt6rmtj.10>

Parra-Romero, A. (2023). *Narrativas de Santurbán. Producción de conocimientos en conflictos ambientales*.
https://www.researchgate.net/publication/371937143_Narrativas_de_Santurban_Produccion_de_conocimientos_en_conflictos_ambientales/citation/download

Parra-Romero, A., & Gitahy, L. (2017). Movimiento social como actor-red: ensamblando el Comité para la Defensa del Agua y del Páramo de Santurbán. *Universitas humanística*, (84), 113-139. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-48072017000200113&script=sci_arttext

Procuraduría General de la Nación. (2008). *Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático: Informe preventivo*.

Ramírez, A. M., & Plata-Díaz, Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, 13(1), 199-216. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2008000100014&script=sci_arttext

Rangel, É. A. V., & Villamizar, R. M. (2022). Transformaciones por el conflicto socioecológico generado por los cambios en el uso del suelo en el capital social de las comunidades del páramo de Santurbán. El caso de California, Santander. *Análisis: revista colombiana de humanidades*, 54(101), 34-66.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9086080>

Resolución 2090 de 2014. (2014). *Por la cual se delimita el páramo de Santurbán y se dictan disposiciones para su protección* [Resolución nacional, Colombia]. Recuperado de https://santurban.minambiente.gov.co/images/Pdf_santurban/antecedentes/res_2090_2014-santurban.pdf



SC4420-1



OS-CER508440



SA-CER502658



SGBC-CERO 107365



- Rincón Ruiz, A., Duarte Hurtado, G. A., Agudelo, C., Riaño, A., & Sánchez, Z. (2020). *Análisis de escenarios y los retos de la inclusión en conflictos socioambientales: Páramo de Santurbán* (SSRN Scholarly Paper 3701866). https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3701866
- Santos, M. J. C. (2024). Debate público y producción de conocimiento científico. Estado del arte: Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. *Trabajo social (Universidad Nacional de Colombia)*, 26, 346-351. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9650810.pdf>
- Serrano, M. R., & Serrano, Y. T. R. (2015). Incidencias de la resolución no. 2090 de 2014 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, frente a los derechos adquiridos de propietarios—caso páramo de Santurbán. *Hipótesis Libre*, (11), 43-60. http://revistas.unilibre.edu.co/index.php/hipotesis_libre/article/view/3740
- Tarazona, Á. A., & Lugos, A. D. C. (2017). Páramo de oro: neoextractivismo y movilización social ambientalista en Santurbán. *Revista Controversia*, (208), 193-221. <https://revistacontroversia.com/index.php/controversia/article/view/1087>
- Torrado, S. P. B. (2017). El conflicto socioambiental del páramo Santurbán. Un análisis bioético con enfoque de ecología política. *Revista Colombiana de Bioética*, 12(1), 8-24. <https://www.redalyc.org/journal/1892/189251526003/html/>
- Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA). (2025). *Caracterización del ordenamiento productivo y social de la propiedad – Páramo de Páramo de Santurbán-Berlín* https://upra.gov.co/sites/default/files/2025-08/14_Santurban.pdf
- Vergara-Buitrago, P. A. (2020). Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 167-176. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962020000100167
- Vargas, O., de los Ángeles Cárdenas, C., Gómez-Ruiz, P., Insuasty-Torres, J., & Rojas-Zamora, O. (2009). Estrategias para la restauración ecológica de los páramos andinos (PNN Chingaza-Colombia). <https://www.researchgate.net/profile/Orlando-Vargas-Rios/publication/262935104>