



TRANSICIÓN HACIA **VEGETACIÓN NATIVA:** IMPACTOS EN LA SEGURIDAD HÍDRICA DE QUITO

TRANSICIÓN HACIA VEGETACIÓN NATIVA: IMPACTOS EN LA SEGURIDAD HÍDRICA DE QUITO

Créditos

Nature For Water, The Nature Conservancy

- Diana Madrigal, Coordinadora de Proyecto
- María Camila Moreno, Profesional del Componente Social y Económico
- Nactaly Posada, Profesional de ciencias (Consultor aliado - Gotta Ingeniería)
- Patricia Salamanca, Líder de Ciencias (Consultor aliado - Gotta Ingeniería)
- Silvana López, Profesional de Ciencias (Consultor aliado - Gotta Ingeniería)
- Thomas Skurtis, Director de Proyecto

The Nature Conservancy, Ecuador

- Lorena Coronel, Coordinadora de Estrategia de Cuencas Resilientes

FONAG

- Bert De Bièvre, Secretario Técnico
- Andrea Vera, Coordinadora del Programa de Gestión del Agua
- Gissela Chiquín, Coordinadora del Programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal
- Willian Benavides, Especialista de restauración
- Silvia Salgado, Programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal

Contenidos

Indice

Resumen Ejecutivo	4
1. Introducción y contexto	7
2. La metodología y ciencia detrás del análisis.	15
3. Cambios esperados como resultado de la transición de especies exóticas a nativas para el DMQ.	19
4. ¿Cuáles son las barreras y oportunidades institucionales para la transición de especies exóticas a especies nativas?.	35
5. Conclusiones	37
6. Referencias	39
7. Anexos	40

Figuras

Figura 1. Ubicación de Subcuencas San Pedro, Pita y Guayabamba Alto y cobertura - uso de la tierra.	11
Figura 2. Resumen metodología y líneas de trabajo	16-17
Figura 3. Coberturas de cada uno de los escenarios planteados, para los escenarios 100% (11480.22 ha intervenidas), 27% (3157.50 ha intervenidas) y 2.65% (307.92 ha intervenidas)	20-21
Figura 4. Delta de caudal para cada una de las cuencas respecto al escenario SEM. . . .	23

Figura 5. Susceptibilidad a incendios en escenario SEM (izquierda) y con remoción del 100% de las plantaciones de pinos y eucaliptos (derecha). 25

Figura 6. Calidad de hábitat para el escenario SEM (fila superior). Diferencias respecto de los escenarios 100%, 27% y 2.65% (fila inferior, de izquierda a derecha, respectivamente) comparado con escenario SEM. 28-29

Figura 7. Beneficio económico de la venta de la madera para el escenario 2,65%. 30

Figura 8. Resultados gráficos del Costo-Beneficio para los escenarios 100% y 27%. 34

Tablas

Tabla 1. Servicios ecosistémicos entre coberturas con especies exóticas y nativas en paisajes altoandinos	13
Tabla 2. Cambios promedio desde el año 2050 en adelante, del caudal medio en m3/año, respecto al escenario SEM	22
Tabla 3. Cambios promedio desde el año 2050 en adelante, del caudal mínimo en m3/año, respecto al escenario SEM.	22
Tabla 4. Resumen de costos del programa según los escenarios, valor actualizado a 55 años. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 5. Comparación SbN propuesta y alternativa empresa de agua.	31
Tabla 6. Resumen de resultados de costos y beneficios para los escenarios 100 y 27%.	32



Resumen ejecutivo

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) depende estrechamente de la funcionalidad ecológica de sus cuencas altoandinas. Los páramos, los bosques montanos y las zonas de transición constituyen la fuente principal de agua para más de 3 millones de personas, regulan los flujos hídricos y sostienen una biodiversidad única. En este contexto, el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) evalúa la incorporación de una nueva Solución Basada en la Naturaleza (SbN): la transición de plantaciones de especies exóticas, específicamente **eucalipto y pino**, a vegetación nativa en las cuencas del Pita, San Pedro y Guayllabamba Alto.

El análisis demuestra que esta SbN es altamente pertinente y con un claro potencial transformador para las cuencas altoandinas del DMQ¹. Contribuye a la regulación del agua en la cuenca y a revitalizar sus ecosistemas. **La remoción de especies exóticas incrementa el caudal medio anual, hasta 120 millones de m³/año en caso de transición completa, y eleva el caudal mínimo en todos los escenarios de tran-**

¹ Este análisis es complementario a un Retorno a la Inversión previamente realizado sobre las Soluciones basadas en la Naturaleza implementadas por FONAG, que demostraba los altos beneficios para EPMAPS.

sición planteados, con mayor impacto en la subcuenca de Guayllabamba Alto. Este incremento contribuye a la recarga de acuíferos y al fortalecimiento de la resiliencia climática del DMQ.

Complementariamente, existe una reducción significativa del riesgo de incendios: la transición total disminuye en 35.878 ha —un 99%— las áreas de susceptibilidad alta, reduciendo de forma notable el riesgo de ignición y propagación de incendios, especialmente en contextos de sequía. **Además, la vegetación nativa mejora la calidad del hábitat y la conectividad ecológica**, superando ampliamente los bajos valores de las plantaciones exóticas, lo que fortalece la resiliencia del paisaje y su biodiversidad.

Los resultados financieros muestran que incluso un programa de transición limitado, equivalente al 2,65% del total potencial de implementación y a una inversión de USD 2,1 millones, genera beneficios monetizables superiores, estimados en USD 2,6 millones². En otras palabras, **por cada dólar invertido, el programa genera beneficios de alrededor de 1,4 dólares**, impulsado principalmente por los aportes a la producción de agua potable para la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), gracias al aumento de caudales y la mejora en la regulación hídrica, así como por el aprovechamiento de madera, además de co-beneficios ambientales y sociales asociados.

² Valores actualizados a 55 años, con una tasa de descuento del 3,46%, tasa de proyectos ambientales EPMAPS



Transición a especies nativas

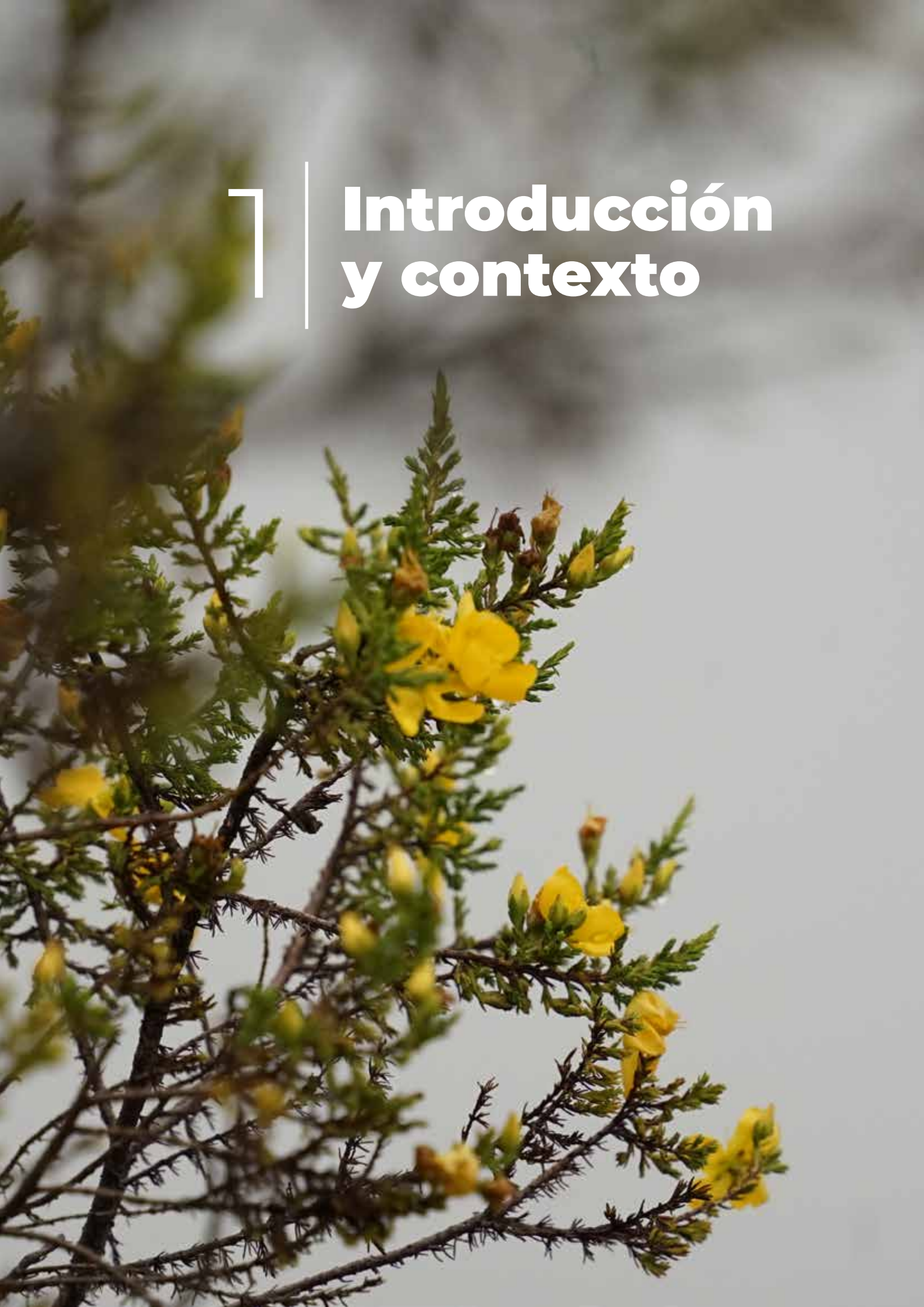
Beneficios para el Distrito Metropolitano de Quito



Bloque	Beneficio	Detalles
Hídrico 	Seguridad Hídrica Aumento del caudal medio anual en +120 millones m³/año	• Aumento de caudal mínimo en todas las cuencas • Mayor impacto en Guayllabamba Alto • Recarga de acuíferos
Incendios 	Reducción del Riesgo en un 99% en áreas de estudio	• Reducción drástica de ignición • Menor vulnerabilidad en sequías • Mejora calidad del hábitat
Financiero 	Inversión \$1 Beneficio \$1,40	• Hasta una inversión limitada puede generar grandes beneficios producidos por el aumento de caudales y venta de madera.

Con el fin de incentivar el desarrollo exitoso del proyecto, se identifican barreras y oportunidades que FONAG deberá considerar en su camino hacia la implementación de esta SbN. Entre las principales oportunidades destacan el alineamiento con las políticas nacionales y los compromisos internacionales, así como el creciente interés ciudadano en la protección ambiental. Como barreras se identifican la dispersión institucional, la percepción social acerca de las plantaciones exóticas, y la necesidad de fortalecer capacidades técnicas y de coordinación interinstitucional.

Estos hallazgos evidencian que incorporar esta SbN al portafolio del FONAG es viable, estratégico y claramente adicional a sus actividades actuales. La intervención genera beneficios significativos para la seguridad hídrica, la biodiversidad y la resiliencia del territorio, además de aportar retornos económicos y sociales de gran alcance.



7 | Introducción y contexto

Este análisis es una colaboración entre The Nature Conservancy, específicamente su iniciativa Nature for Water, y el Fondo para la Protección del Agua (FONAG), dos actores con amplia experiencia en la gestión sostenible de cuencas hidrográficas.

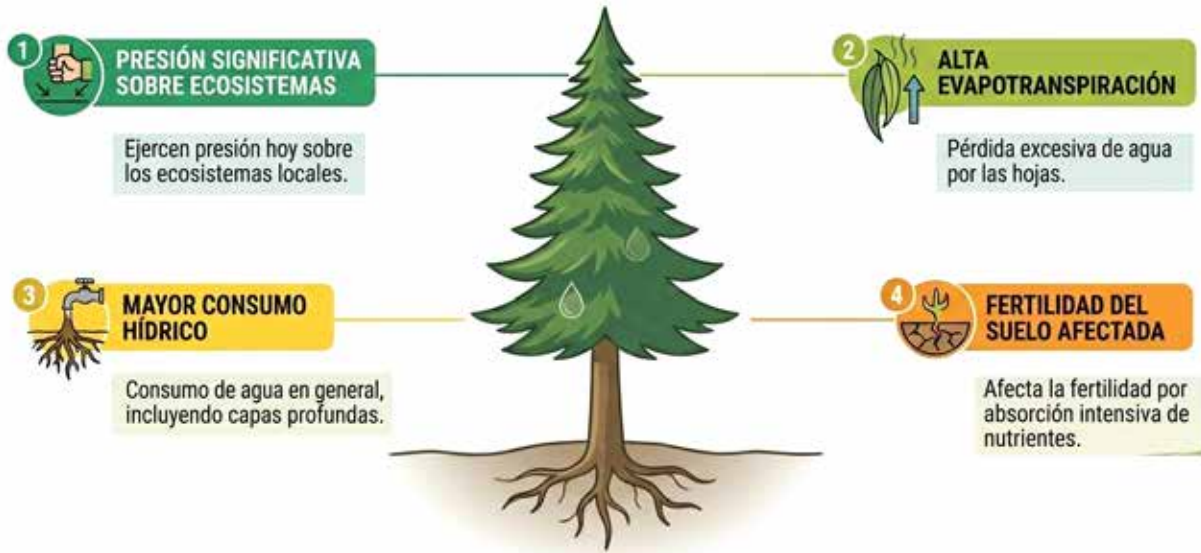
The Nature Conservancy (TNC) es una organización sin ánimo de lucro con presencia global, dedicada a crear un mundo en el que las personas y la naturaleza puedan prosperar. Una de sus estrategias prioritarias es apoyar los programas de inversión en cuencas hidrográficas (WIP, por sus siglas en inglés), también conocidos como Fondos de Agua. Este enfoque



parte de una premisa central: la restauración y protección de la naturaleza en zonas clave para la captación de agua puede generar beneficios humanos y medioambientales significativos, con una mayor rentabilidad de la inversión frente a las soluciones de infraestructura tradicionales. La adopción de esta estrategia a escala de cuenca resulta más efectiva, escalable y sostenible que la aplicación de soluciones proyecto por proyecto, y su éxito depende de análisis técnicos sólidos y una planificación verdaderamente colaborativa.

Con una trayectoria de 25 años en inversión en cuencas hidrográficas, TNC lanzó Nature for Water (N4W) en 2022 como parte de su estrategia Cuencas Resilientes. N4W apoya a socios locales con condiciones excepcionales para impulsar la inversión en naturaleza a escala de cuenca, con el objetivo de garantizar el suministro de agua, proteger la biodiversidad, mitigar el cambio climático y mejorar los medios de vida. Su equipo multidisciplinario —integrado por hidrólogos, economistas, cartógrafos y otros expertos— ha respaldado más de 40 proyectos en más de 25 países. N4W opera con un enfoque de fortalecimiento institucional: su rol es proporcionar apoyo técnico temporal a organizaciones locales y regionales, no sustituirlas ni liderar los programas.

Por su parte el FONAG, el primer Fondo de Agua del mundo, es una organización que trabaja para



conservar, proteger y mantener los ecosistemas fuentes de agua para Quito. Con 26 años de trayectoria, se ha convertido en un referente global en la implementación de soluciones innovadoras para la conservación hídrica, desarrollando enfoques como las soluciones basadas en la naturaleza, la creación de Áreas de Conservación Hídrica y la firma de acuerdos de conservación con comunidades locales y propietarios privados. Sus acciones de recuperación vegetal se han concentrado especialmente en ecosistemas de páramo y humedales, áreas fundamentales para la regulación del ciclo del agua. El portafolio de intervenciones también incluye monitoreo continuo, generación de información técnica para la toma de decisiones y programas de educación y sensibilización ambiental.

A través de estos esfuerzos, el FONAG ha logrado articular una alianza de largo plazo entre comunidades, autoridades locales, organizaciones gubernamentales

y no gubernamentales, instituciones académicas y empresas privadas, consolidando la protección de las fuentes de agua como una responsabilidad compartida.

El presente trabajo se enmarca en la Estrategia de Recuperar y rehabilitar la cobertura vegetal y suelos en áreas de interés hídrico. La vegetación nativa es el mejor aliado de las fuentes de agua, pero en muchos lugares ha sido reemplazada por vegetación exótica que — por lo general — tiene una evapotranspiración, o consumo de agua, mayor a la vegetación nativa, lo que redundaría en disminución del rendimiento hídrico o los caudales de las fuentes de agua. La transición de vegetación exótica a nativa es por lo tanto una intervención innovadora y prometedora para ser incluido en el portafolio de FONAG, sin embargo, sus aspectos técnicos, económicos, sociales y comunicacionales deben ser estudiados a fondo. Este estudio da pautas en esta ruta.

Para evaluar esta transición, el estudio analiza las subcuencas del Pita, San Pedro y Guayllabamba Alto, zonas prioritarias para FONAG y para la provisión de agua al DMQ. Mediante una combinación de modelación hidrológica, análisis económico y diagnóstico institucional. Nature for Water (N4W) busca responder tres preguntas clave:

- 1) ¿Es costo-efectiva la transición?
- 2) ¿Qué consideraciones técnicas y legales requiere FONAG?
- 3) ¿Cuáles son las barreras y oportunidades para implementar la medida?

El análisis toma como referencia el escenario *Sustainable Ecosystem Management* (SEM), que refleja las condiciones tendenciales de la cuenca y las intervenciones en curso de FONAG. Sobre esta base se evalúan tres niveles de intervención: 100%, 27% y 2,65% de remoción de especies exóticas y transición activa o pasiva a especies nativas, en las tres subcuencas.

La propuesta en consideración se alinea con la misión del FONAG de proteger los ecosistemas proveedores de agua, complementando sus líneas de trabajo tradicionales con una medida cuyo impacto se proyecta a largo plazo, y es especialmente relevante ante los retos climáticos emergentes.

Un paisaje altoandino con áreas de conservación y focos de degradación clave para la gestión hídrica

Las subcuencas del Pita, San Pedro y Guayllabamba Alto conforman un conjunto hidrológico esencial para el DMQ. Situadas entre 2,400 y 4,500 metros de altitud, integran zonas de páramo, de bosque montano y de producción agrícola. La variabilidad climática, marcada por la topografía y la altitud, influye de manera determinante en los procesos hidrológicos de la región. En la Figura 1 se observan las 3 subcuencas objeto del análisis junto con las coberturas de tierras y los puntos donde se obtienen series de caudal a partir de la modelación hidrológica.

La cuenca del río Pita, como se observa en la Figura 1, destaca por su buen estado de conservación: casi el 60% de su superficie corresponde a páramo, lo que favorece la regulación hídrica y la retención de agua en los suelos. En contraste, la subcuenca del San Pedro presenta una fragmentación ecológica significativa, con mosaicos agropecuarios que ocupan casi un tercio del territorio y una proporción menor de páramo. La subcuenca del Guayllabamba Alto combina zonas de vegetación arbustiva, áreas pobladas y parches de páramo, lo que refleja su carácter de zona de transición entre áreas conservadas y zonas urbano-productivas.

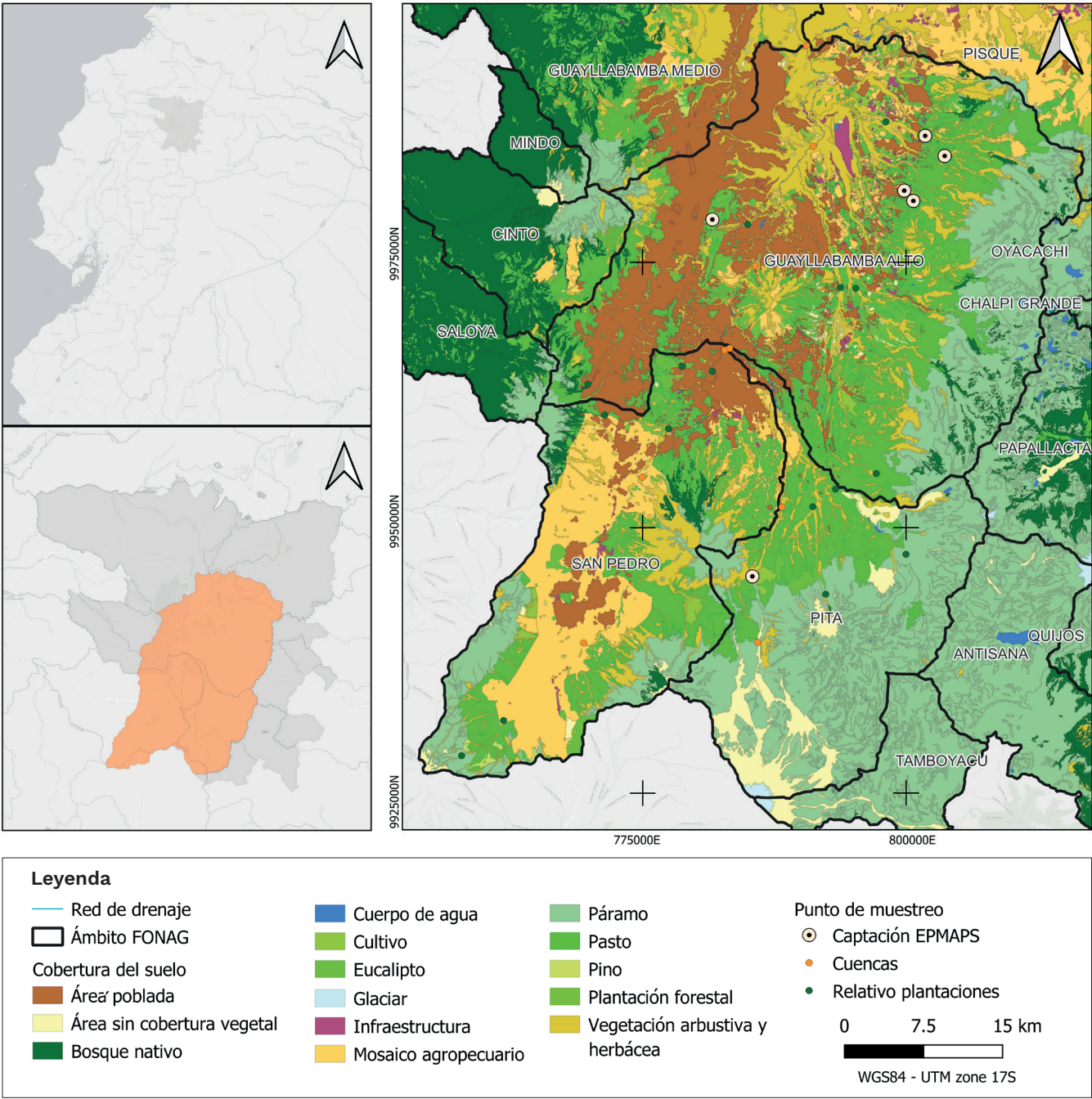


Figura 1. Ubicación de Subcuencas San Pedro, Pita y Guayabamba Alto y cobertura - uso de la tierra

Los suelos altoandinos, especialmente los de páramo, son ricos en materia orgánica y actúan como depósitos naturales de agua (Buytaert et al., 2006; Podwojewski et al., 2002). Su estructura porosa permite la infiltración y liberación gradual de humedad,

función que disminuye cuando los suelos se degradan por actividades agropecuarias intensivas o por la presencia de plantaciones exóticas (Farley et al., 2004; Céleri & Feyen, 2009). En zonas donde predominan los pastizales y áreas agrícolas, la compacta-



ción del suelo reduce la capacidad de retención, afectando la estabilidad de los caudales (Molina et al., 2012).

Estas cuencas albergan captaciones de agua superficial y subterránea que abastecen al DMQ, lo que convierte su conservación en una prioridad estratégica. La expansión histórica de pinos y eucaliptos en zonas de importancia hídrica plantea retos para la regulación del agua, la prevención de incendios y la conservación de la biodiversidad. En este contexto, la transición hacia la vegetación nativa se perfila como una opción de restauración ecológica alineada con las necesidades del territorio.

Especies exóticas e invasoras (*Eucalyptus globulus* Labill, *Pinus radiata* D. Don y *Pinus patula* Schltld. & Cham.) y sus implicaciones para Quito

Se entiende como especie exótica a una especie que se halla fuera de su área normal de distribución (Shine, Williams, & Gündling, 2000). Por tanto, la especie no pudo haber llegado a su nueva ubicación sin ayuda humana, cruzando barreras geográficas. Las especies exóticas invasoras (EEI), son aquellas que, además, se establecen, se propagan y afectan negativamente la biodiversidad nativa (Convenio sobre la Diversidad Biológica y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2024). Provocando

cambios drásticos y, en algunos casos, irreversibles en los ecosistemas. De acuerdo con FONAG, en Ecuador, no existe consenso de que el eucalipto y el pino sean consideradas EEI, ya que no se ha comprobado una propagación natural relevante, sino que son principalmente plantadas por grupos humanos, por lo que para efectos de este análisis se hace referencia únicamente a especies exóticas.

El eucalipto y el pino fueron introducidos en Ecuador a finales del siglo XIX y principios del XX. Su adopción se debió a su rápido crecimiento, a su utilidad en la producción de madera y a su aparente capacidad para estabilizar terrenos degradados. Sin embargo, investigaciones posteriores han demostrado que estas especies introducidas ejercen presiones significativas sobre los ecosistemas altoandinos.

En línea con la literatura existente, como se muestra en la Tabla 1. el análisis técnico realizado muestra que estas plantaciones modifican los procesos hidrológicos debido a su elevada demanda de agua. El consumo hídrico de estas especies puede superar en un 20 a un 50% de la vegetación nativa (A. Farley, Jobbágy, & Jackson, 2005). Esto se traduce en una reducción de los caudales, especialmente en época seca, cuando el agua es más escasa y necesaria para el consumo humano, el riego y el mantenimiento del funcionamiento ecológico del territorio.

Tabla 1. Servicios ecosistémicos entre coberturas con especies exóticas y nativas en paisajes altoandinos

Servicio ecosistémico	Coberturas exóticas (Eucalipto/Pino)	Coberturas nativas	Fuente
Regulación hídrica	Evapotranspiración 20–50% mayor que vegetación nativa. Disminuye caudales y recarga de acuíferos.	Mejor regulación del ciclo hidrológico. Mayor disponibilidad de agua.	Calder et al., 1993; Farley et al., 2005; Zhang & Zhao, 2022
Biodiversidad	Interacción limitada con fauna local. Reduce conectividad ecológica y hábitats.	Favorece fauna y flora autóctonas. Promueve corredores biológicos y resiliencia.	SER, 2004; Hobbs et al., 2011
Estabilidad de suelos	Degradación del suelo, menor infiltración y retención de humedad.	Mejora la estabilidad del suelo, estructura y capacidad de infiltración.	Aronson et al., 2014; Benítez et al., 2018
Captura de carbono	Captura moderada, pero con efectos limitados a largo plazo.	Captura más eficiente y sostenible en el tiempo.	Farley et al., 2005; Aronson et al., 2014
Resiliencia ante el cambio climático	Menor adaptación al clima local. Mayor vulnerabilidad a sequías y cambios climáticos.	Mayor adaptación y resiliencia gracias a la diversidad funcional y especies nativas.	SER, 2004; Hobbs et al., 2011
Valor socioeconómico	Valor maderero inmediato, pero con impacto negativo a largo plazo en servicios ecosistémicos.	Potencial para ecoturismo, agroforestería sostenible, producción de semillas nativas y participación comunitaria.	Charnley et al., 2008; Aronson et al., 2014
Tiempo de recuperación ecológica (sucesión natural)	No contribuyen a la sucesión natural. Requieren intervención activa para restauración.	Tiempos variables según tipo de ecosistema: - Bosque montano bajo: 5–20 años - Bosque montano alto: 80–120 años - Páramo: 50–150 años	Aguirre et al., 2003; Aguirre et al. 2006; Sklenář et al., 2011; Lozano et al., 2017
Costos de restauración	Altos costos de remoción y Restauración ecológica.	Bajos costos si hay matriz nativa para regeneración asistida.	SER, 2004; Martínez, 2007
Servicios culturales (identidad y percepción social)	Percepción negativa por impacto ambiental y reducción de servicios ecosistémicos.	Alto valor cultural y simbólico para comunidades locales.	Charnley et al., 2008; Berkes, 2012
Conectividad ecológica	Fragmentación del paisaje. Menor movimiento de especies.	Promueve la conectividad y el flujo genético entre poblaciones.	Hobbs & Harris, 2001; SER, 2004
Influencia en la calidad del suelo	Afecta negativamente la fertilidad y estructura del suelo.	Mejora la calidad del suelo y preserva la capa orgánica.	SER, 2004; Benítez et al., 2018
Efecto sobre la fauna local	Reducción de hábitats y fuentes de alimento para especies nativas.	Soporte de una mayor diversidad de fauna nativa.	SER, 2004; Hobbs et al., 2011
Contribución a la mitigación del cambio climático	Menor fijación de carbono a largo plazo.	Mayor captura de CO ₂ y almacenamiento en biomasa y suelo.	Farley et al., 2005; Aronson et al., 2014

Las especies exóticas también afectan la estructura del suelo. En este caso, la hojarasca, la acidez de sus compuestos y la forma en que sus raíces interactúan con la tierra pueden contribuir a la pérdida de fertilidad y a la disminución de la capacidad de infiltración (Farley et al., 2004). En ecosistemas de páramo, donde la infiltración es un proceso crítico, la presencia de estos árboles altera la disponibilidad de humedad del suelo y afecta la capacidad de regulación hídrica (Buytaert et al., 2007).

En términos de biodiversidad, estas especies forman rodales homogéneos que desplazan plantas nativas, reducen hábitats cruciales para la fauna local y fragmentan corredores ecológicos.

Al carecer de una historia evolutiva con estos ecosistemas, no integran las funciones ecológicas necesarias para sostener comunidades de flora y fauna adaptadas a las condiciones de alta montaña.

Estas especies consumen entre un 20% y un 50% más agua que la vegetación nativa, reduciendo los caudales en época seca, cuando el recurso es vital para el consumo humano, el riego y el equilibrio ecológico.



Eucalyptus globulus Labill, *Pinus radiata* D. Don

2 | La metodología y ciencia detrás del análisis

El análisis desarrollado por N4W se centra en la combinación de herramientas biofísicas y económicas para entender el impacto potencial de la transición de especies exóticas a especies nativas, como se resumen en la Figura 2. Adicionalmente se elaboró un Manual de implementación para esta SbN (Anexo C) y un Análisis institucional de barreras y oportunidades (Anexo D).

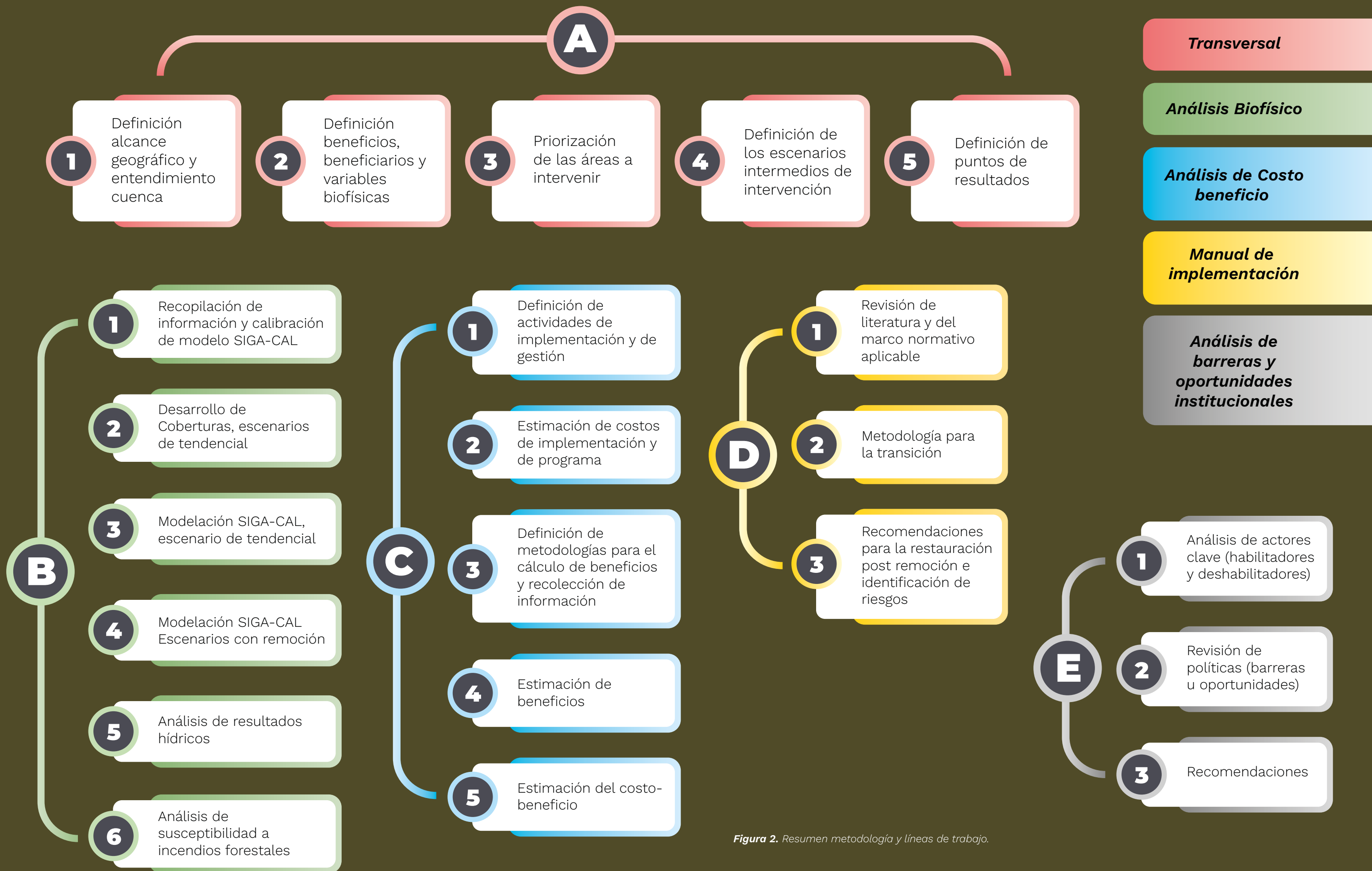


Figura 2. Resumen metodología y líneas de trabajo.



En el análisis biofísico (Anexo A) se utilizan modelos hidrológicos avanzados (SIGA-CAL), calibrados con datos locales e incorporando variables meteorológicas, hidrológicas y fenológicas, así como proyecciones de crecimiento poblacional y cambios en el uso del suelo. La capacidad dinámica del modelo permite evaluar diariamente los efectos acumulados de las intervenciones.

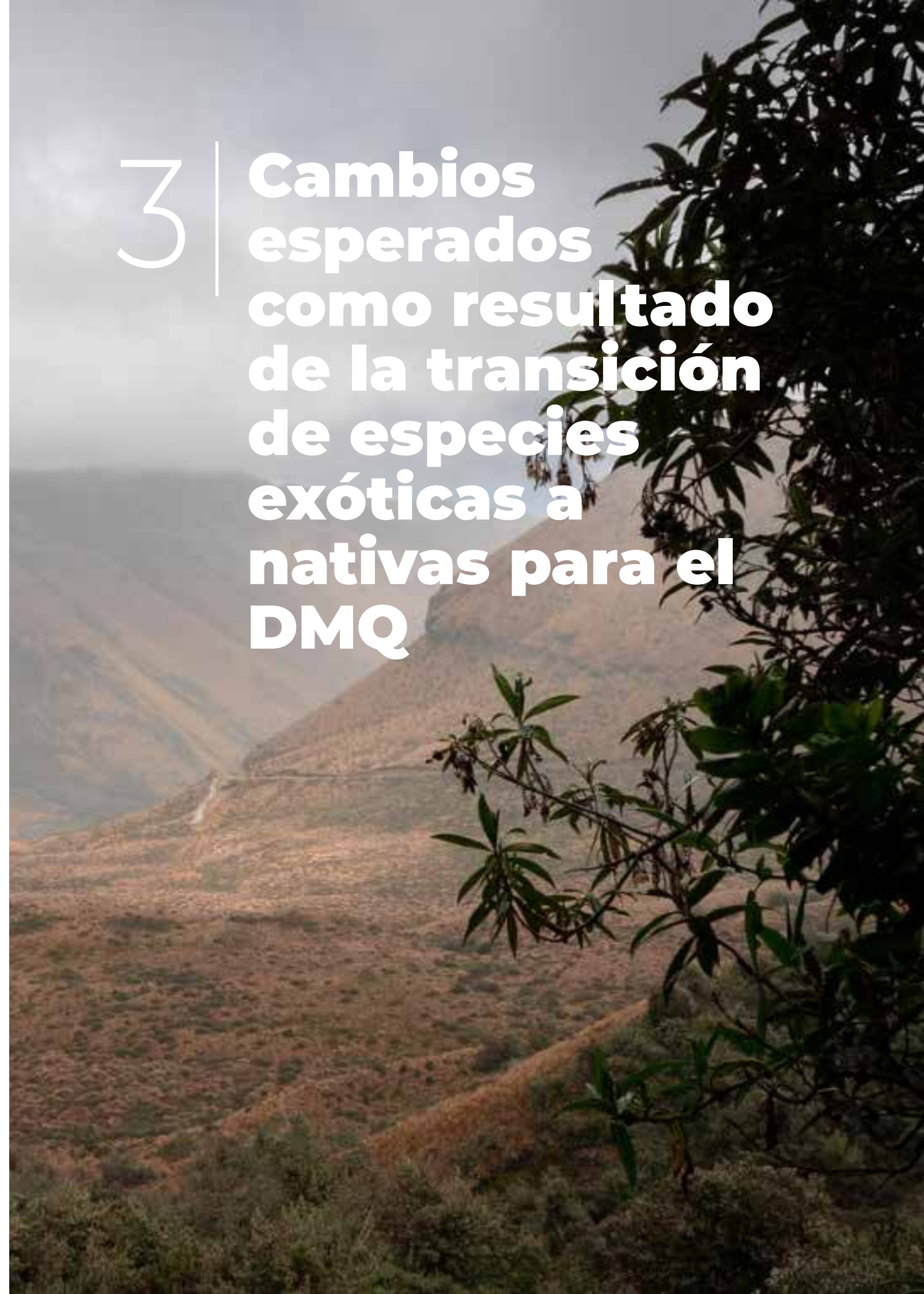
En el análisis financiero y económico (Anexo B), se utilizan metodologías reconocidas para evaluar el costo-beneficio de programas de restauración ecológica. Ambos análisis se distinguen por beneficiarios: el financiero, está orientado a los flujos monetarios directos para la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS); y el económico, incluye beneficios sociales más amplios, como pérdidas evitadas por incendios y efectos indirectos sobre el ecosistema. Esta combinación permite comprender los impactos para distintos grupos de actores y visualizar los retornos esperados en horizontes de tiempo de 30 y 55 años.

Los costos de implementación incluyen 13 actividades consideradas, que permiten la ejecución integral del programa, en donde se incluyen pasos previos como la gestión de permisos, el diagnóstico del área, el acercamiento a comunidades, pasos enfocados en la corta y gestión de la madera, y pasos posteriores, como la restauración, el control de rebro-

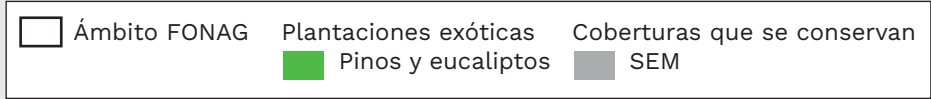
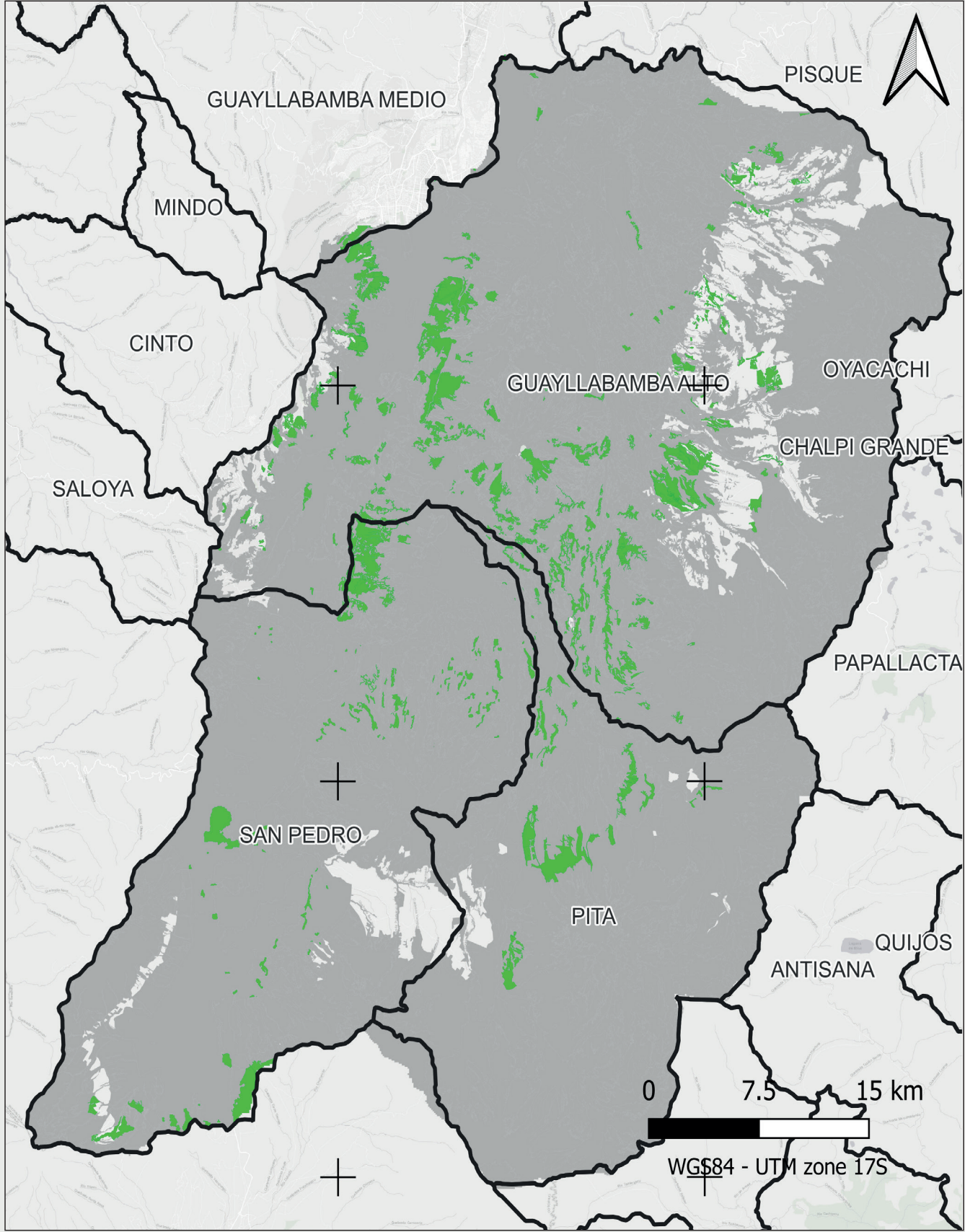
te, el mantenimiento y monitoreo de los ecosistemas. La estimación de estos costos se realizó en conjunto con el equipo técnico de FONAG y especialistas forestales. Mientras que los beneficios incluyen la monetización del aumento hídrico, la venta de madera y la medición del impacto evitado por incendios forestales, siempre que aplique según las condiciones de los escenarios. En conjunto, esta metodología integral permite comparar escenarios de intervención y cuantificar sus implicaciones hidrológicas, ecológicas y económicas a largo plazo.

El Manual de Implementación (Anexo C), brinda claridad sobre todos los requisitos legales e institucionales que FONAG debe contemplar para la remoción de especies exóticas, señala mejores prácticas y los posibles riesgos a considerar en la implementación de dicha SbN. El Manual contiene la base técnica para promover la implementación del programa que reduzca los riesgos y maximice los beneficios, y se espera pueda nutrirse con los aprendizajes que FONAG según aumente su experiencia en la implementación de esta SbN. Finalmente, en el análisis institucional (Anexo D) se identifican barreras y oportunidades que FONAG deberá considerar en su camino hacia la implementación de esta SbN.

3 | Cambios esperados como resultado de la transición de especies exóticas a nativas para el DMQ



100%



Cambios esperados como resultado de la transición de especies exóticas a nativas para el DMQ

Para evaluar la magnitud de los beneficios de la transición, se simularon tres escenarios de intervención: 100% (área completa de plantaciones exóticas de pino y eucalipto), 27% (zonas de amortiguamiento de las áreas de conservación hídrica, acuerdos de conservación y las laderas del AIER Pichincha Atacazo) y 2,65% (zonas de importancia hídrica con influencia directa en captaciones de EPMAPS), como se observa

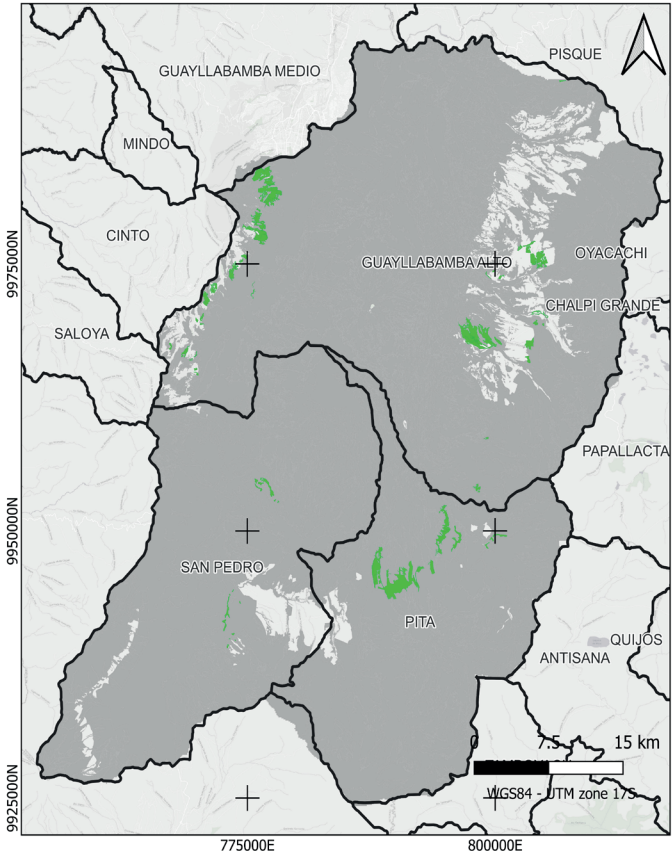
en la Figura 3. Cada escenario se compara con el escenario SEM. El escenario de 100%, que abarca más de 11.400 ha intervenidas permite visualizar el máximo potencial de beneficios hidrológicos, ecológicos y económicos.

Resiliencia hídrica para la cuenca

Los resultados hidrológicos constituyen uno de los componentes más relevantes del análisis, dado

Figura 3. Coberturas de cada uno de los escenarios planteados, para los escenarios 100% (11480.22 ha intervenidas), 27% (3157.50 ha intervenidas) y 2,65% (307.92 ha intervenidas), solo se resaltan en color aquellas áreas intervenidas, las sombreadas en color gris se mantienen igual que en el escenario SEM.

27%



2,65%

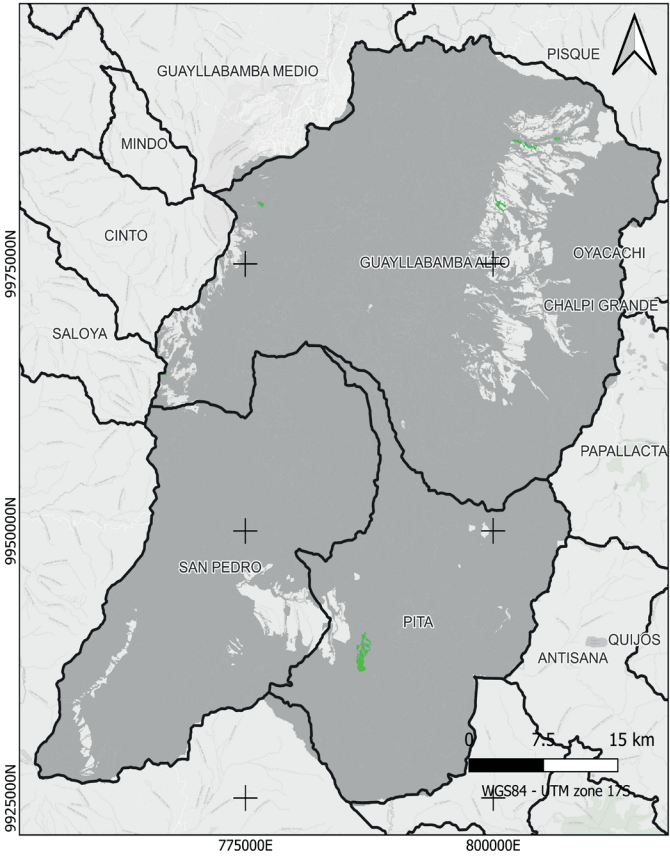




Tabla 2. Cambios promedio desde el año 2050 en adelante, del caudal medio en m3/año, respecto al escenario SEM

Cuenca / Escenario	100%	27%	2.65%
Toma Canal de Riego Pisque	186,837	145,778	147,036
Quebrada Iguiñaró - Ascazubi	691,423	691,423	691,419
Quebrada el Batán	5,619,120	3,345,222	80,583
Bocatoma Río Pita	850,909	850,909	850,909

Tabla 3. Cambios promedio desde el año 2050 en adelante, del caudal mínimo en m3/año, respecto al escenario SEM.

Cuenca / Escenario	100%	27%	2.65%
Toma Canal de Riego Pisque	122,511	104,372	105,626
Quebrada Iguiñaró - Ascazubi	310,455	310,455	310,454
Quebrada el Batán	3,859,315	2,080,694	33,636
Bocatoma Río Pita	19,205	19,205	19,205
Rumipamba	26,460	26,412	35,806

que la seguridad hídrica del DMQ depende en gran medida de la capacidad de las cuencas altoandinas para regular y almacenar el agua. Los modelos hidrológicos utilizados permiten estimar los efectos acumulativos de la transición de especies exóticas a nativas sobre los caudales medios y mínimos, dos indicadores esenciales para comprender el desempeño del sistema hídrico en estaciones húmedas y secas. Para mayor detalle sobre este análisis, ver Anexo A.

Los resultados muestran incrementos en caudales medios (Tabla 2) y mínimos (Tabla 3) en todos los escenarios. El aumento del caudal medio anual, varía según la cuenca y el escenario, aunque la tendencia es consistente: las áreas de intervención más grandes generan mayores incrementos en la disponibilidad

de agua. Las cuencas del Pita y Guayllabamba muestran incrementos particularmente significativos, donde incluso el escenario de menor intervención (2.65%) presenta aumentos moderados respecto al escenario base, mientras que los escenarios del 27% y 100% muestran incrementos sostenidos y de mayor magnitud a lo largo del periodo de simulación, esto debido a que a esta cuenca drenan las cuencas de San Pedro y Pita.

En la cuenca del río Pita, los aumentos en los caudales medios son consistentes entre los escenarios, con valores cercanos a 850.000 m³ por año. Esta estabilidad indica que la remoción de las especies exóticas, aunque se realice en áreas relativamente acotadas, genera mejoras significativas. En la cuenca del Guayllabamba, el incremento es aún

más pronunciado, especialmente en el escenario de 100%, donde el aumento puede superar los 5.000 m³ por año en algunas bocatomas.

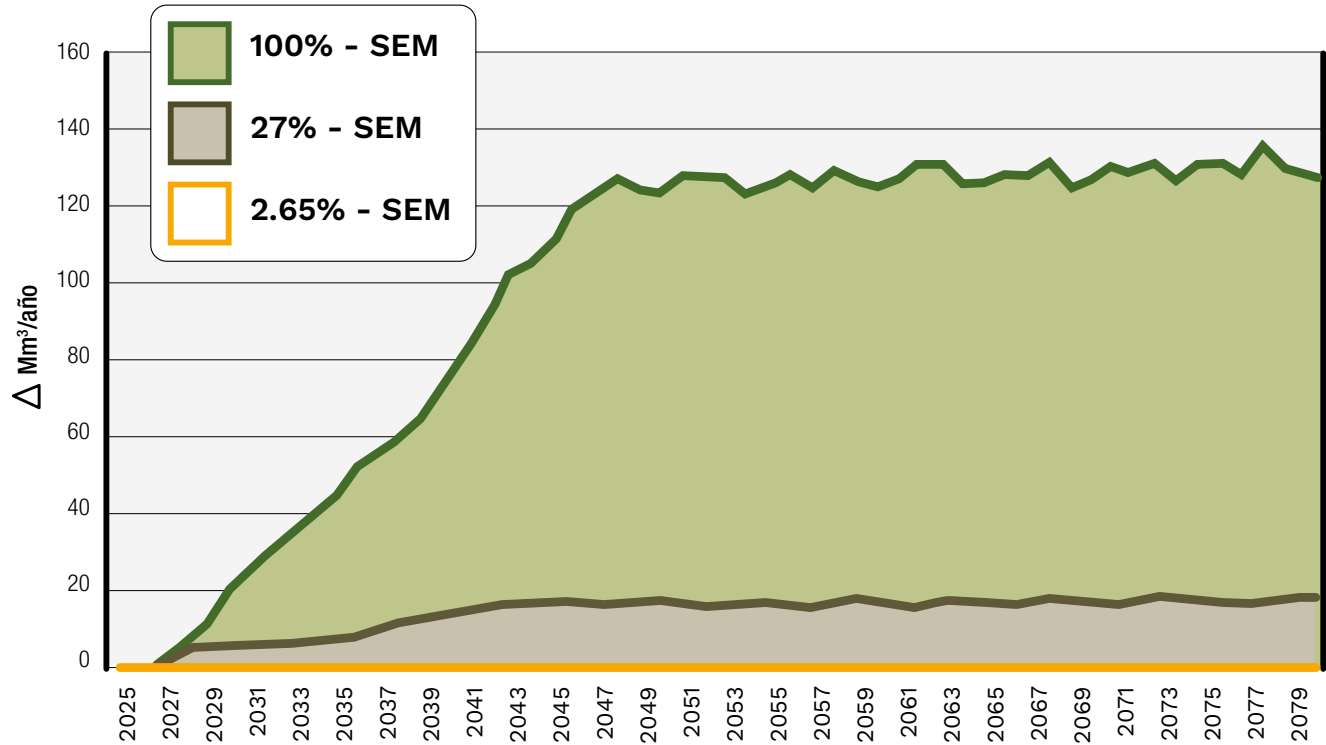
Los resultados sobre los caudales mínimos son especialmente importantes para la seguridad hídrica en épocas secas. En este caso, los incrementos en la Quebrada El Batán son particularmente altos, superando los 3 millones de m³ por año en el escenario completo (100%). En la bocatoma del Pita, los incrementos son más moderados, aunque sostenidos, con valores de alrededor de 19 mil m³ por año. Estos resultados son relevantes porque los caudales mínimos permiten una mayor

estabilidad en el suministro de agua potable y reducen la vulnerabilidad ante sequías.

La tendencia general observada en los modelos indica que incluso las intervenciones más acotadas pueden producir beneficios hidrológicos medibles. En el escenario del 2,65%, los aumentos son más modestos, pero aún significativos, especialmente considerando que estas áreas son de importancia hídrica con influencia directa a las captaciones de EPMAPS. La transición, por lo tanto, se perfila como una medida que generaría beneficios acumulativos en el tiempo y contribuiría a reforzar la resiliencia hídrica del DMQ.

Como se observa en la Figura 4, en los tres escenarios de intervención se observa un incremento en los caudales medios anuales.

Figura 4. Delta de caudal para cada una de las cuencas respecto al escenario SEM.



les con respecto al escenario SEM. Esto confirma que la remoción de pinos y eucaliptos favorece el aumento del agua disponible en las cuencas. La magnitud del incremento varía según la extensión intervenida y la ubicación específica dentro de cada cuenca. Este comportamiento refleja la importancia de las condiciones locales, como la proporción de diferentes coberturas nativas como paramos y bosques, la pendiente, la capacidad del suelo para infiltrar agua y la cercanía a puntos de captación.

Disminución en la susceptibilidad a incendios

La problemática de incendios forestales se ha intensificado en el DMQ durante los últimos años. Las condiciones climáticas más secas, junto con la presencia de plantaciones exóticas altamente inflamables, han incrementado el riesgo de incendios de alta intensidad. Este riesgo no solo afecta a la biodiversidad y al paisaje, sino que también tiene implicaciones directas para la seguridad hídrica, ya que los incendios alteran la capacidad de infiltración del suelo, aumentan la escorrentía superficial y provocan pérdidas de materia orgánica difíciles de recuperar.

Las especies de pinos y eucaliptos presentan características que favorecen tanto la ignición como la propagación del fuego: los eucaliptos contienen altos niveles de aceites esenciales volátiles y tienden a acumular grandes can-

tidades de hojarasca inflamable, mientras que los pinos poseen alto contenido de resinas y estructuras de copa que favorecen incendios de alta intensidad (Pausas et al., 2017). Esta relación resulta particularmente crítica para la seguridad hídrica, ya que los incendios en ecosistemas de montaña alteran drásticamente los procesos hidrológicos: reducen la infiltración hasta en un 70%, incrementan la escorrentía superficial entre 200-400% y aumentan exponencialmente la erosión (Shakesby & Doerr, 2006).

El análisis de susceptibilidad realizado emplea la metodología nacional, adaptada a las condiciones locales. Aunque los resultados son cualitativos, proporcionan una visión clara de las diferencias entre los escenarios. El escenario SEM, como se observa en la Figura 5 muestra amplias zonas presentan niveles de susceptibilidad medios y altos. Estas áreas coinciden en gran parte con regiones donde predominan plantaciones de pino y eucalipto, debido a la acumulación de material combustible fino y a la estructura de las copas, que facilita la propagación del fuego. Para mayor detalle ver Anexo A.

La figura 5 muestra que en el escenario de remoción del 100%, se observa una reducción drástica de las áreas clasificadas como de alta susceptibilidad. Las clases de susceptibilidad muy baja y baja aumentan significativamente, lo que indica una mejora importante en la seguridad del territorio. La

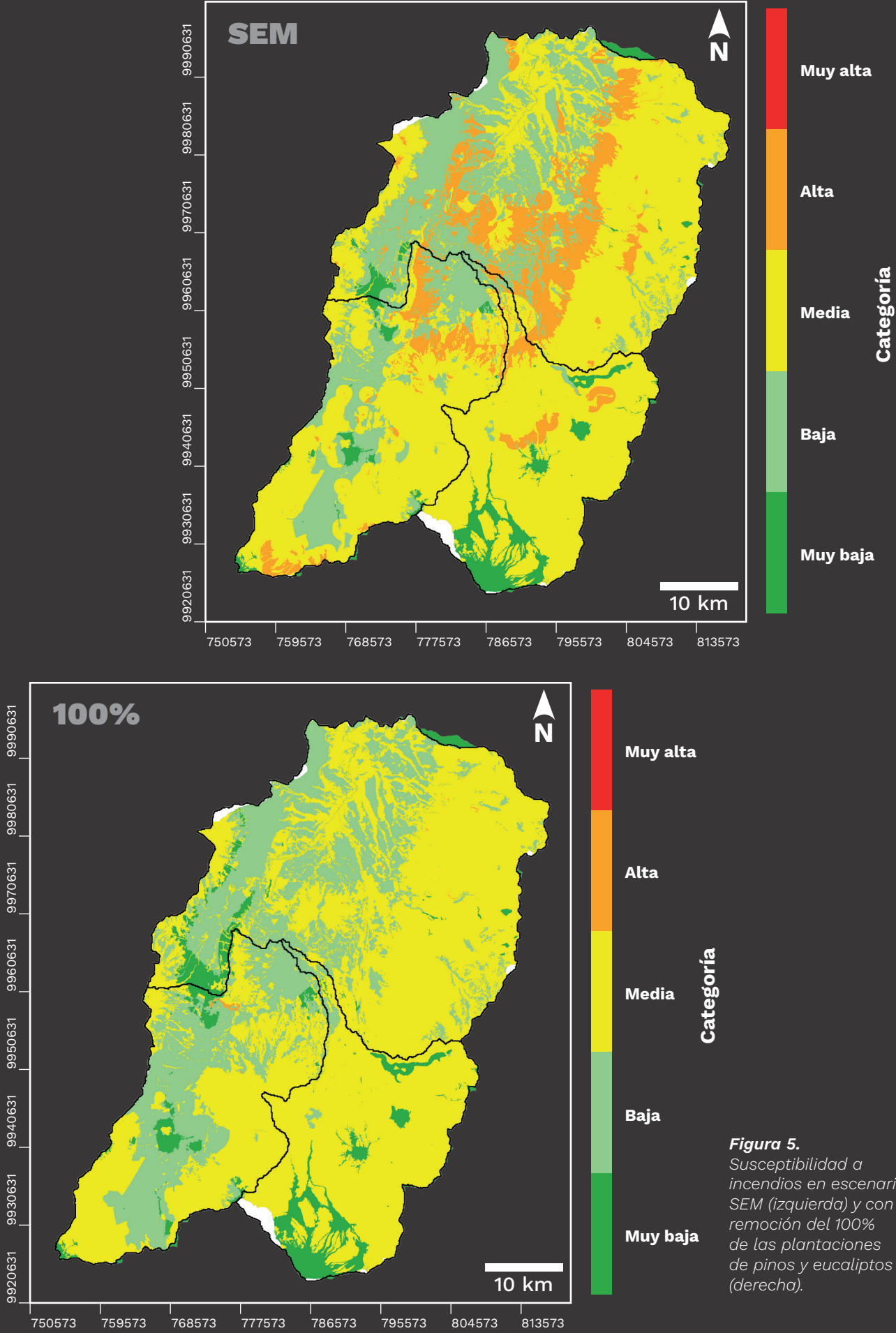


Figura 5. Susceptibilidad a incendios en escenario SEM (izquierda) y con remoción del 100% de las plantaciones de pinos y eucaliptos (derecha).

transición disminuye en más de 35.000 ha las zonas clasificadas como de alta y media susceptibilidad, lo que representa una reducción notable del riesgo de incendios. También se observan beneficios en los escenarios intermedios; por ejemplo, en el escenario del 27%, la reducción de la susceptibilidad es significativa, lo que sugiere que una intervención focalizada en zonas estratégicas tendría impactos positivos determinantes.

El análisis no cuantifica directamente los beneficios hidrológicos derivados de la reducción de incendios, pero estudios independientes han demostrado que las

áreas quemadas pueden perder hasta la mitad de su capacidad de regular el agua y que su recuperación puede tardar varios años. En consecuencia, la reducción del riesgo de incendios se traduce indirectamente en una mayor estabilidad hidrológica y en una disminución del deterioro de los suelos y la vegetación

Incluso en el escenario del 2,65%, se observan mejoras notables que contribuyen a disminuir el riesgo de eventos catastróficos y a proteger la infraestructura, los suelos y la calidad del agua. Los detalles completos de esta metodología se presentan en el Anexo A. Análisis Biofísico.

Calidad del hábitat: fortalecimiento del ecosistema y la biodiversidad

La calidad del hábitat es un indicador para evaluar el estado ecológico de las cuencas. El modelo Habitat Quality de InVEST, utilizado en este estudio, integra información sobre coberturas de suelo y amenazas ecológicas, lo que permite estimar la capacidad del entorno para sostener poblaciones de especies. La escala de calidad oscila entre cero, que representa condiciones altamente desfavorables, y uno, que indica condiciones óptimas.

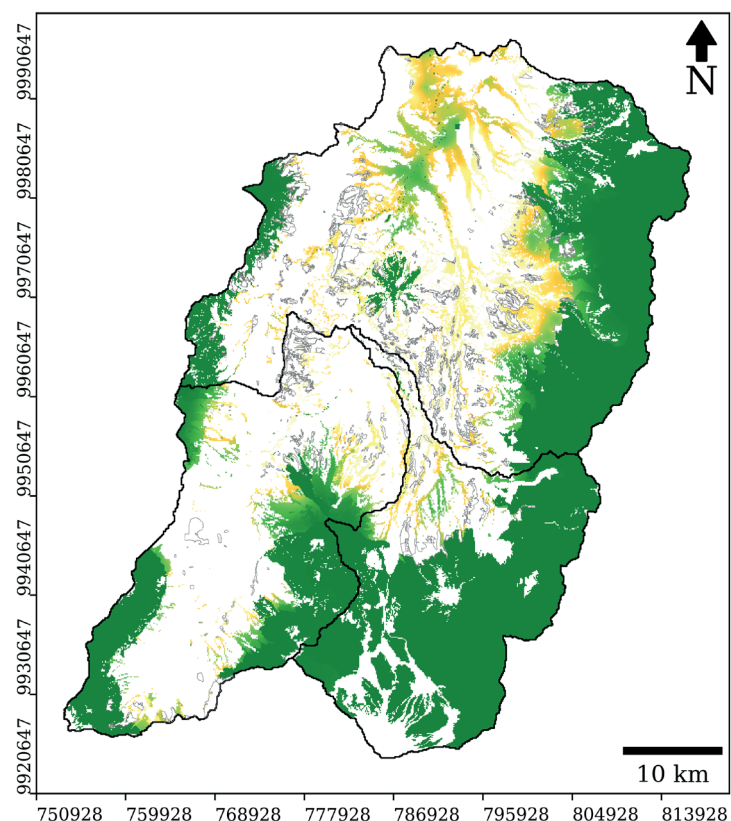
El escenario SEM muestra valo-

res de calidad de hábitat limitados en áreas dominadas por plantaciones con especies exóticas, debido a su baja diversidad estructural y funcional. Las especies exóticas generan una simplificación del paisaje que reduce la disponibilidad de hábitats para la fauna nativa y limita la conectividad entre parches de vegetación natural. Además, la presencia de amenazas asociadas a usos antrópicos en zonas cercanas agrava la fragmentación del ecosistema.

Cuando se simula la transición hacia la vegetación nativa, los valores de calidad de hábitat aumentan en todas las cuencas. En el



Figura 6. Calidad de hábitat para el escenario SEM (fila superior). Diferencias respecto de los escenarios 100%, 27% y 2.65% (fila inferior, de izquierda a derecha, respectivamente) comparado con escenario SEM.



escenario del 100%, los aumentos son significativos tanto en las zonas de intervención directa como en las áreas adyacentes. Esto se debe a que la restauración de vegetación nativa no solo mejora la calidad del sitio específico, sino que también contribuye a generar condiciones más favorables para la fauna y flora en áreas cercanas, fortaleciendo los corredores ecológicos. En los otros dos escenarios (27% y 2,65%), aunque los aumentos son más acotados, siguen siendo relevantes.

En el modelo utilizado (InVEST), la calidad de hábitat se expresa en una escala de 0 (condiciones muy desfavorables) a 1 (condiciones óptimas para la supervivencia de especies). La vegetación nativa alcanza valores de calidad de hábitat superiores a 0.9, mientras que las plantaciones de pinos y eucaliptos presentan los valores más bajos, fragmentando el paisaje y limitando la conectividad

ecológica. El análisis comparativo confirma, como se observa en la Figura 6. que, a mayor área intervenida, mayor es la recuperación de la integridad ecológica.

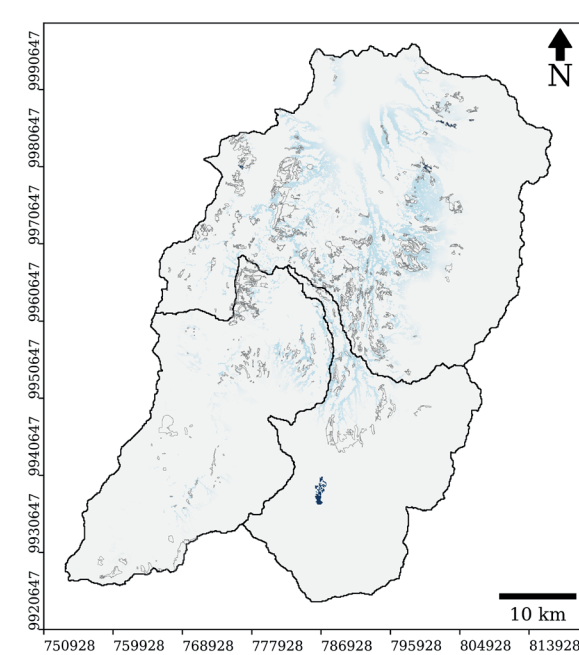
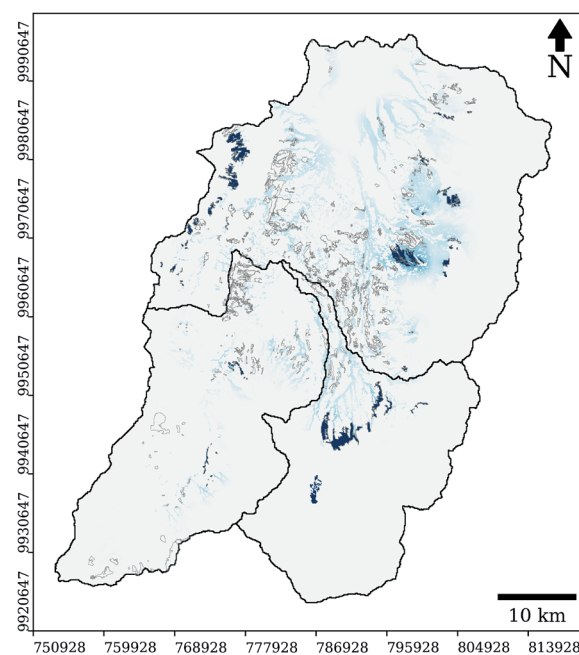
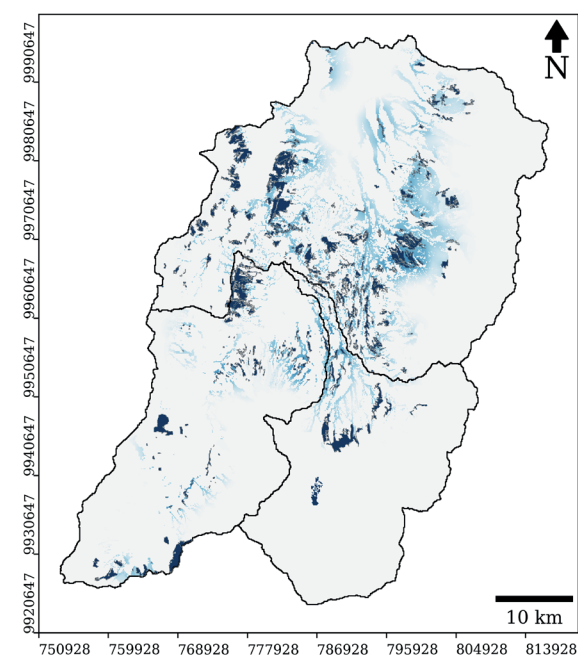
Estos resultados confirman que la transición hacia la vegetación nativa tiene un impacto positivo no solo en los aspectos hidrológicos, sino también en la salud general del ecosistema. **La calidad de hábitat es un factor que incide directamente en la resiliencia del paisaje frente al cambio climático, ya que ecosistemas más diversos y funcionales son capaces de adaptarse mejor a variaciones en temperatura, precipitación y perturbaciones naturales.**

¿Es costo-efectiva esta SbN? Una mirada financiera y económica.

Para determinar si la transición de especies exóticas a nativas es

costo-efectiva en el contexto de FONAG, se analizan los costos de la implementación y gestión de la transición de especies exóticas a nativas en las tres subcuencas; y a su vez se monetizan los beneficios anteriores. Para mayor detalle sobre este análisis y la metodología utilizada Ver Anexo B y D.

Los costos estimados incluyen actividades de implementación como: remoción de especies exóticas, manejo de residuos forestales, restauración con especies nativas y seguimiento técnico. Además, incorporan costos de gestión relacionados con la planificación, el monitoreo, la coordinación institucional y la formación de equipos técnicos. En todos los escenarios, los costos de gestión representan entre un 16% y un 26% del total, destacándose su importancia en la implementación del programa. Además, los costos por hectárea disminuyen a medida que aumenta el tamaño



Las áreas con especies exóticas presentan menor calidad y mayor fragmentación, mientras que la restauración con vegetación nativa mejora la conectividad ecológica y las condiciones para la flora y fauna.

Tabla 4. Resumen de costos del programa según los escenarios, valor actualizado a 55 años.

Escenario (VPN 55 años)	Costos de implementación (USD)	Costos de gestión (USD)	Total (USD)	Costo unitario (USD/ha)
100%	\$19.787.114	\$3.542.275	\$23.329.389	\$2.033
27%	\$7.049.477	\$1.658.538	\$8.708.015	\$2.761
2,65%	\$1.703.183	\$414.221	\$2.117.403	\$6.949

del proyecto. Esta economía de escala se debe a que muchas actividades requieren una inversión inicial que no se duplicaría con la expansión del área de intervención. Por tanto, el escenario del 100% resulta el más eficiente en términos de costo por hectárea, como se observa en la Tabla 4.

Enfoque Financiero: escenario pequeño, con grandes beneficios

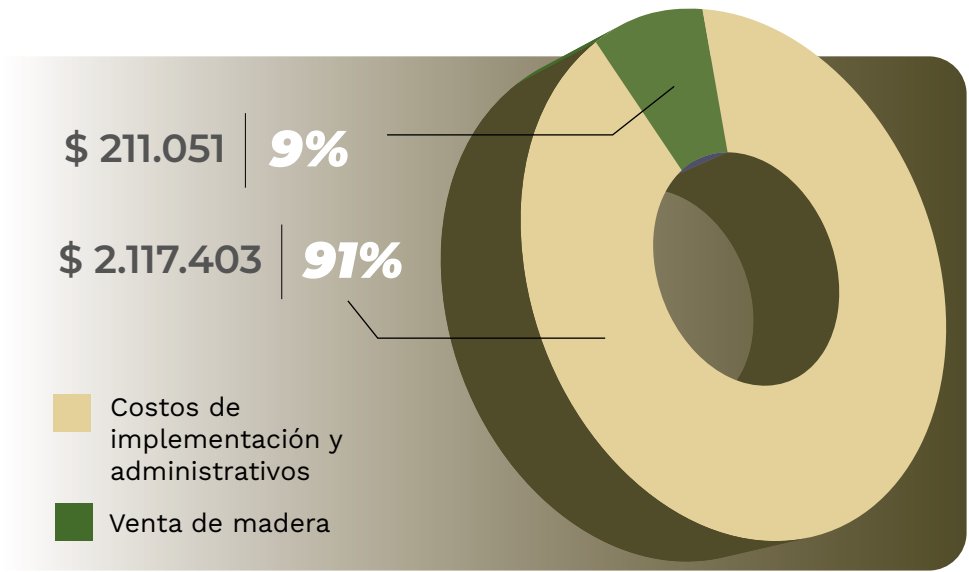
El principal beneficio financiero evaluado, se centra en EPMAPS y corresponde al aumento en dis-

ponibilidad de agua del escenario del 2,65%. Este beneficio solo puede evaluarse financieramente en este escenario debido a la ubicación de la bocatoma del río Pita respecto a las plantaciones intervenidas. Este análisis se realizó con una tasa de descuento del 3,46%, definida por EPMAPS para proyectos ambientales. El horizonte considerado es de 55 años, siendo este el principal por su alineación con la planificación estratégica del FONAG.

Monetización beneficio hídrico

Se analizó el volumen adicional de agua en la bocatoma Río Pita; el promedio esperado de aumento en esta bocatoma es de 703,850

Figura 7. Beneficio económico de la venta de la madera para el escenario 2,65%.



m³/año (21,12 l/s), empezando a mostrar resultados desde el año 3 de implementación y llegando a tener un beneficio máximo de 1,154,469 m³/año (36,61 l/s), en el año 39. Con esta información y teniendo en cuenta los ingresos por la venta de agua de la empresa se procede a calcular los beneficios esperados. **Los resultados finales para este beneficio, con valor a 55 años son de USD 2.440.552.** Este valor es comparable en orden de magnitud a los costos totales del programa (USD 2.117.403).

Monetización venta de la madera

Este beneficio se encuentra directamente relacionado con la cantidad de madera que se pueda extraer de las áreas de implementación y, por tanto, al ser el escenario más pequeño, se obtiene una porción pequeña del beneficio posible para el escenario total; sin embargo, se considera que este recurso puede apoyar la financiación parcial del programa y/o incentivar la participación de los dueños de los predios, esto según el acercamiento social planteado por FONAG en las primeras etapas del proyecto. El volumen total de madera esti-

mado para este escenario es de 38,036 m³, de los cuales se considera que el 30% es comercial (11,425 m³).

Comparación con otras alternativas de EPMAPS

Para este escenario se plantea la comparación del escenario de implementación de SbN con un proyecto de infraestructura gris en el mismo sector. EPMAPS ha identificado esta infraestructura como una fuente adicional necesaria para cubrir la demanda hídrica de la zona. La alternativa considerada corresponde a la instalación y uso de un pozo de agua subterránea que tiene una capacidad de 25 l/s. Con base en la información compartida por EPMAPS sobre la alternativa (capacidad, tiempo de uso, costos operativos y de gestión) y en los resultados de la modelación hidrológica para el escenario 2,65%, se presenta a continuación la comparación entre las diferentes alternativas.

La cantidad de agua extra para la alternativa del pozo subterráneo se calculó con la capacidad del pozo (25 l/s) y teniendo en cuenta el número estimado de días según el modelo hidrológico

Tabla 5. Comparación SbN propuesta y alternativa empresa de agua.

Comparativa	Costo total (NVP 55 años)	Agua “extra” en los 55 años (m3)	Costo unitario (USD/m3)
Pozo subterráneo	\$ 2.126.944	20.321.280	\$0,10
Transición de especies exóticas a plantas nativas	\$ 2.117.403	37.304.087	\$0,06

que la captación estará por debajo de 1.600 l/s (caudal mínimo en donde se requiere el uso del pozo subterráneo). La provisión de esta agua en los próximos 55 años está ligada a que la disponibilidad del agua subterránea se mantenga durante este periodo, la calidad del agua sea óptima según los estándares de la empresa y no existan cortes de energía que impidan el bombeo del agua durante su uso.

Los resultados presentados en la Tabla 5 indican que la disponibilidad de agua obtenida mediante la transición de especies exóticas a especies nativas es un 83% superior a la que se lograría con la perforación de un pozo subterráneo. Cabe destacar que los costos de ambas alternativas son muy similares, lo que hace que la relación costo-beneficio de la transición de especies exóticas sea más favorable y ofrezca beneficios comparables para la empresa.

En resumen, desde un enfoque financiero, se demuestra que los beneficios de un programa

de transición de especies exóticas a nativas son mayores a los costos que genera, teniendo que por cada dólar invertido en el programa se produce un retorno de aproximadamente 1,4 dólares, por tanto la estrategia es comparable a otras priorizadas por EPMAPS en costos y resultados esperados y que adicionalmente se incluyen co-beneficios para otros actores de la cuenca.

Enfoque Económico: un programa con alto retorno social y ambiental

Adicionalmente a la disponibilidad hídrica y la venta de la madera, el análisis económico incluye la monetización de los incendios forestales evitados. La Tabla 6 resume los costos totales estimados para ambos escenarios y los beneficios económicos evaluados en cada uno de los escenarios.

El análisis económico muestra que la transición de especies exóticas a vegetación nativa presenta una relación costo-beneficio claramente favorable cuando

se implementa a escala completa. En el escenario del 100%, los costos totales del programa ascienden a aproximadamente USD 23,3 millones, mientras que los beneficios monetizados, venta de madera y reducción del riesgo de incendios, se sitúan entre USD 60 y USD 99 millones. Esto implica que, por cada dólar invertido, se generan entre USD 2,84 y USD 4,54 en beneficios económicos, lo que evidencia un desempeño robusto desde la perspectiva económica.

El escenario del 27% también presenta beneficios cuantificables, aunque de menor magnitud debido a su escala reducida. Si bien los valores monetizados no compensan completamente los costos económicos del programa en este escenario, los resultados reflejan una parte proporcional del potencial económico total que podría alcanzarse mediante una implementación más amplia.

Es importante señalar que estos resultados reflejan únicamente los beneficios monetizados y, por tanto, subestiman el valor total de la intervención. Existen beneficios adicionales que no fueron cuantificados en esta fase, como mejoras en biodiversidad, conectividad ecológica, regulación de servicios ecosistémicos y resiliencia climática, así como impactos positivos para diversos beneficiarios, incluyendo comunidades, infraestructura, juntas de agua y de riego, y la fauna y flora del territorio. La suma de estos elementos ampliaría de manera significativa

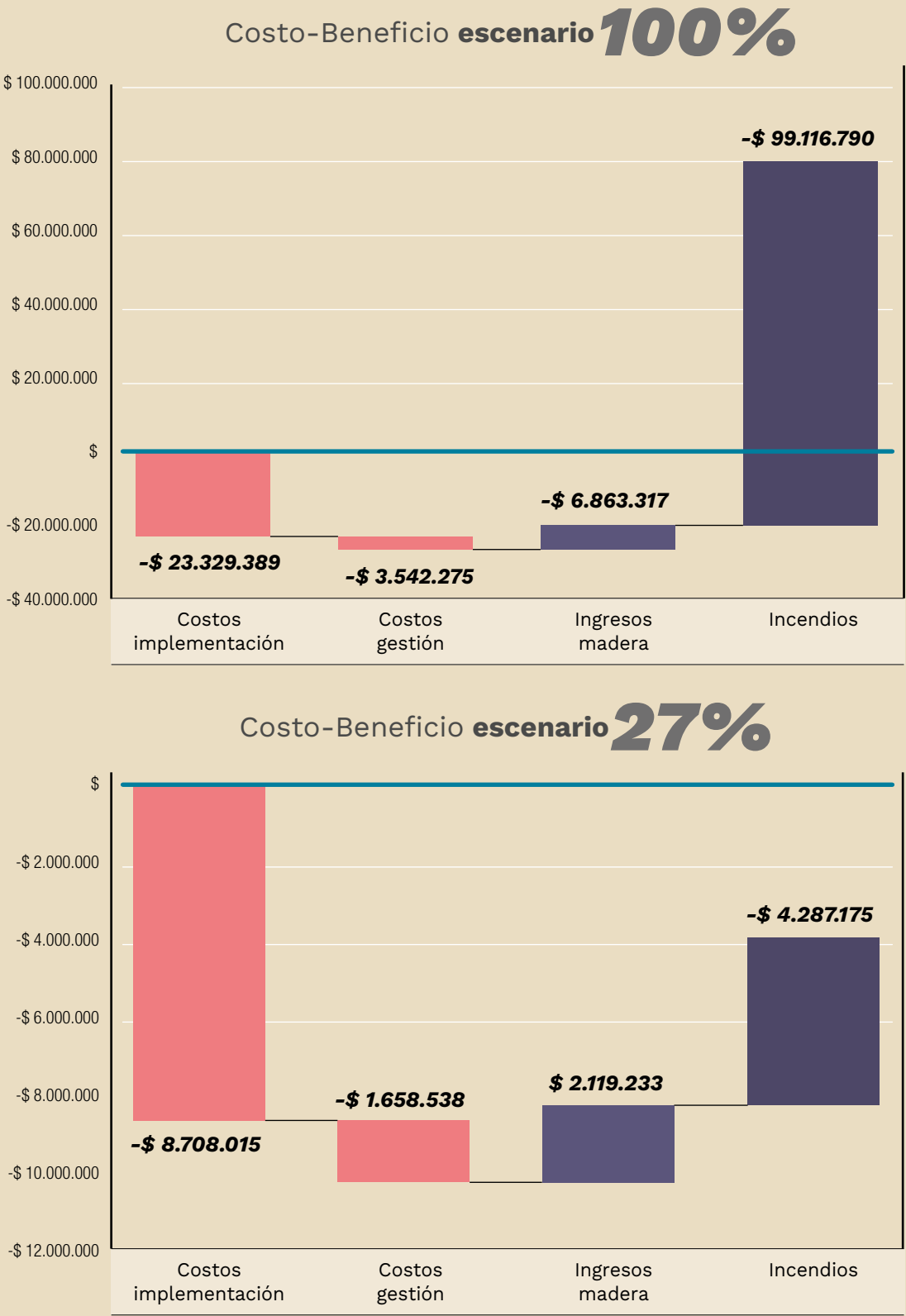
Tabla 6. Resumen de resultados de costos y beneficios para los escenarios 100 y 27%.

Costos y beneficios contemplados	Escenario 100% (NPV 55 años)	Escenario 27% (NPV 55 años)
Costos totales	\$23.329.389	\$8.708.015
Ingresos venta de la madera	\$6.863.317	\$2.119.233
Incendios rango máximo	\$99.116.790	\$4.287.175
Incendios rango mínimo	\$59.470.074	\$2.572.304
Costo beneficio mínimo	\$2,84	\$0,54
Costo beneficio máximo	\$4,54	\$0,74



la valoración económica del programa. La Figura 8 presenta estos resultados de manera gráfica y el Anexo B desarrolla con mayor detalle el análisis costo-beneficio.

Figura 8. Resultados gráficos del Costo-Beneficio para los escenarios 100% y 27%.



4

¿Cuáles son las barreras y oportunidades institucionales para la transición de especies exóticas a especies nativas?

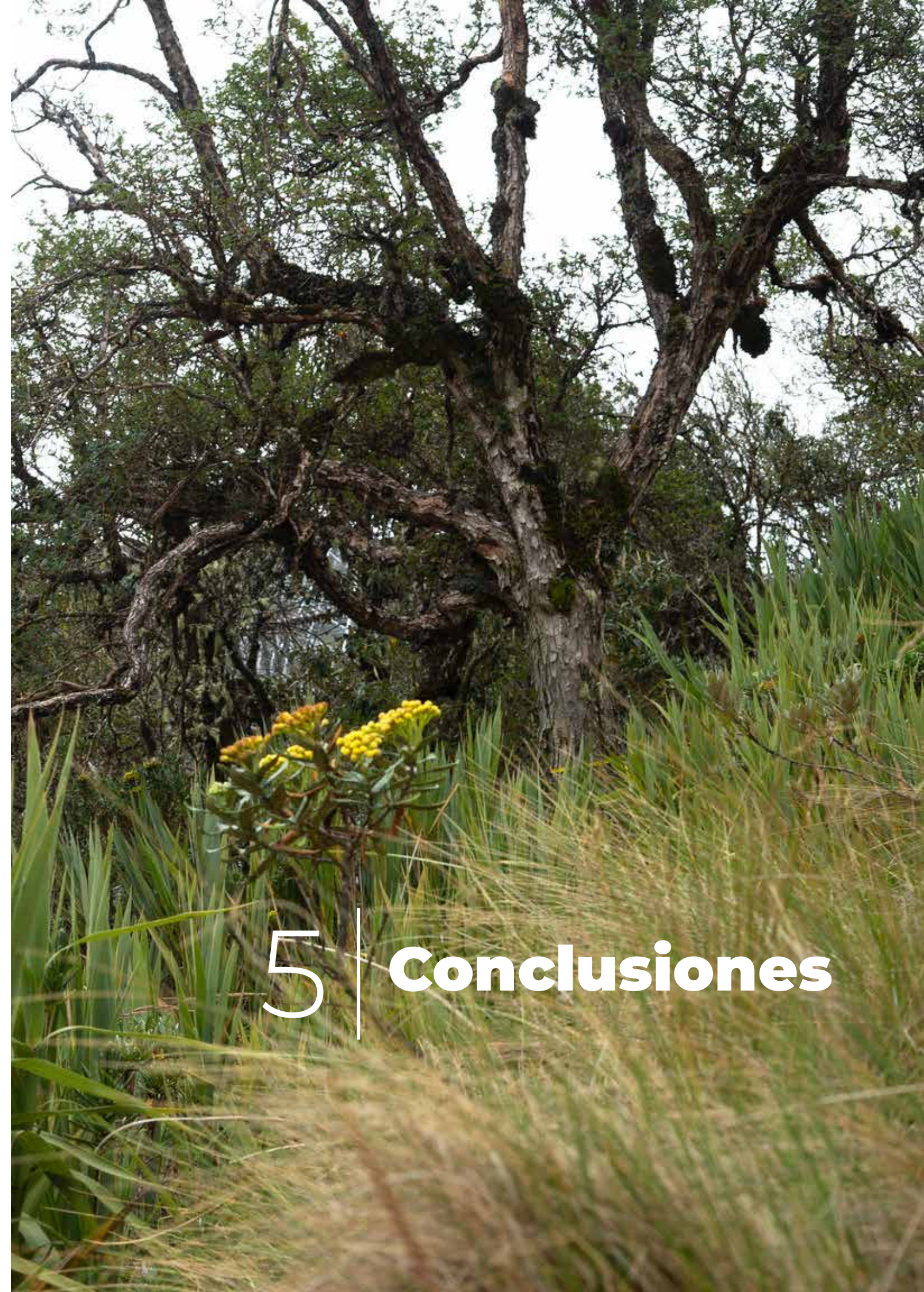


¿Cuáles son las barreras y oportunidades institucionales para la transición de especies exóticas a especies nativas?

Para responder a la pregunta anterior, se identificaron las barreras y oportunidades que influirían en la transición de especies exóticas a vegetación nativa. Entre las principales oportunidades institucionales se destaca la existencia de políticas marco que respaldan la restauración, como la Constitución, que establece principios que orientan la gestión ambiental y promueven la regeneración natural de los ecosistemas. Además, el país es signatario del Convenio de Diversidad Biológica (CDB), cuyo artículo 8 establece la obligación de prevenir, controlar y erradicar especies exóticas que amenacen los ecosistemas. El Código Orgánico del Ambiente establece que la introducción y manejo de especies exóticas debe basarse en análisis de riesgo y en principios de precaución. Por otro lado, existe el creciente interés en el país sobre las SbN y la trayectoria del FONAG como entidad técnica ha sido reconocida en esta materia.

Sin embargo, las competencias para la gestión de especies exóticas están distribuidas entre distintos niveles de gobierno. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) parroquiales tienen competencias en materia de reforestación, mientras que las provincias y los municipios poseen facultades en gestión ambiental. Esta distribución puede generar desafíos de coordinación, especialmente cuando se trabaja a escala de cuenca.

También se considera muy relevante la percepción ciudadana, que puede variar según el territorio. En algunas zonas, las plantaciones de pino o de eucalipto han estado presentes durante décadas y forman parte del paisaje percibido. La transición hacia la vegetación nativa requerirá procesos de comunicación que expliquen sus beneficios y respondan a posibles inquietudes de actores locales. Para mayor detalle, ver Anexo E. Análisis Institucional



5 | Conclusiones



Conclusiones

El análisis demuestra de manera consistente que la transición de especies exóticas hacia vegetación nativa es una opción técnica, económica y ambientalmente viable. En todos los escenarios simulados se observan beneficios claros: incremento en caudales, reducción de riesgo de incendios, mejora en la calidad del hábitat y retornos financieros. En conjunto, la evidencia confirma que esta transición representa una oportunidad concreta para consolidar una gestión hídrica más robusta, proteger los valores de conservación prioritarios y generar retornos sostenibles para el territorio y para la sociedad.

La transición es una medida urgente si se consideran el aumento de los incendios, la presión urbana sobre las cuencas y las proyecciones climáticas. La restauración con vegetación nativa permite recuperar funciones ecológicas, fortalecer la resiliencia del territorio y asegurar un suministro hídrico más estable para Quito. Las oportunidades institucionales existentes ofrecen un marco favorable para iniciar la implementación de esta solución, sin obviar las barreras identificadas, que pueden abordarse mediante coordinación estratégica, comunicación y fortalecimiento técnico.

El FONAG, con su trayectoria, experiencia y liderazgo, se encuentra en una posición óptima para

impulsar este proceso. La transición no solo complementa su portafolio actual, sino que también consolida su rol como agente clave en la protección de las fuentes de agua del DMQ.

Es importante destacar que cualquier inversión en la naturaleza genera beneficios que trascienden lo cuantificable. Entre los más reconocidos más no incluidos en este análisis por limitaciones se encuentra la captura de carbono, la estabilidad de los suelos y los servicios ecosistémicos culturales, entre otros. Su inclusión en futuras evaluaciones podría incrementar significativamente el valor del análisis costo-beneficio, reforzando aún más la pertinencia y el impacto de esta SbN.

Confirmando su viabilidad, se recomienda a FONAG ir adelante con la implementación de esta nueva actividad, posicionándose como referente en procesos de transición de especies exóticas hacia vegetación nativa en Ecuador y a nivel global. Esta iniciativa no solo fortalecerá su rol como fondo de agua líder, sino que también se convertirá en un piloto emblemático, observado desde fuera como un modelo innovador. Para ello, será fundamental contar con una evaluación rigurosa y un sistema de monitoreo continuo, que permita aprender, ajustar y optimizar cada etapa del proceso.

6 | Referencias

- A. Farley, K., Jobbágy, E., & Jackson, R. (2005). *Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy*. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical Andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Convenio sobre la Diversidad Biológica y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2024). *Conjunto de herramientas sobre especies exóticas invasoras para la meta 6 del Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal*. Obtenido de <https://www.cbd.int/invasive/cbdtoolkit>
- Farley, K. A., Kelly, E. F., & Hofstede, R. G. M. (2004). Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729-739. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5>
- Molina, A., Vanacker, V., Balthazar, V., Mora, D., & Govers, G. (2012). Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded Andean environment. *Journal of Hydrology*, 472-473, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.012>
- Pausas, J. G., Keeley, J. E., & Schwilk, D. W. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*, 105(2), 289-297. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691>
- Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*, 18(1), 45-55. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00049.x>
- Shakesby, R. A., & Doerr, S. H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74(3-4), 269-307. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2005.10.006>
- Shine, C., Williams, N., & Gündling, L. (2000). *Guía para la elaboración de marcos jurídicos e institucionales relativos a las especies exóticas invasoras*. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/EPLP-040-Es.pdf>

7 | **Anexos**

Anexo A. Análisis Biofísico

Anexo B. Análisis Costo-Beneficio

Anexo C. Manual de Transición

Anexo D. Modelo Financiero y Económico

Anexo E. Análisis Institucional: barreras y oportunidades



Nature for Water
FACILITY Local solutions. Global impact.

