

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2023.12.01>

Volumen 6, Número 12/julio-diciembre 2023

Basto-Monsalve, M.B., Pascuas-Rengifo, E., Fontalvo-Buelvas, J.C. (2023). Evaluación de la resiliencia ecosistémica del área protegida Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi en Caquetá, Colombia. *Revista Científica Del Amazonas*, 6(12), 5-18. <https://doi.org/10.34069/RA/2023.12.01>

Evaluación de la resiliencia ecosistémica del área protegida Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi en Caquetá, Colombia

Assessment of the ecosystem resilience of the Alto Fragua Indi Wasi National Natural Park protected area in Caquetá, Colombia

Recibido: 7 de abril de 2023

Aceptado: 30 de mayo de 2023

Autores:

Mary-Brigén Basto-Monsalve¹

Edward Pascuas-Rengifo²

Juan-Camilo Fontalvo-Buelvas³

Resumen

Las áreas protegidas como los parques naturales cada vez son más susceptibles a las variaciones ambientales generadas por el fenómeno mundial de cambio climático; sin embargo, muchos de estos ecosistemas tienen el potencial de resiliencia para hacer frente a estos escenarios de perturbación. En este sentido, el objetivo de este estudio consistió en evaluar la resiliencia ecosistémica del área protegida Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi (PNNAFIW) en Caquetá, Colombia. Entre los principales resultados se destaca que la calificación de la resiliencia ecosistémica para las zonas de vida del parque evaluado fue de 2.6, la cual corresponde a una resiliencia media alta, por tanto, se requiere la intervención de acciones en el corto, mediano y largo plazo, que permitan el restablecimiento de los niveles de las dinámicas ecológicas para el funcionamiento del área protegida y sus servicios ecosistémicos. Esto hace posible que se faciliten las condiciones para que el parque y sus reservas contiguas desarrollen capacidades de adaptación y resiliencia, para así afrontar diversos factores de alteración que puedan darse con el paso del tiempo. No obstante, algunas recomendaciones de manejo sugieren implementar una red de corredores biológicos en las áreas que presentan alta fragmentación, restaurar hábitats de zonas de vida que podrían presentar cambios potenciales y ampliar la superficie del parque con el fin de favorecer la conectividad de zonas de vida.

Palabras clave: adaptación, cambio climático, comunidades, ecosistemas, transdisciplina.

Abstract

Protected areas such as natural parks are increasingly susceptible to environmental variations generated by the global phenomenon of climate change; However, many of these ecosystems have the resilience potential to cope with these perturbation scenarios. In this sense, the objective of this study was to evaluate the ecosystem resilience of the protected area Alto Fragua Indi Wasi National Natural Park (PNNAFIW) in Caquetá, Colombia. Among the main results, it should be noted that the rating of ecosystem resilience for the areas of life of the park evaluated was 2.6, which corresponds to a medium high resilience, therefore, action is required in the short, medium and long term, that allow the restoration of levels of ecological dynamics for the functioning of the protected area and its ecosystem services. This makes it possible to facilitate the conditions for the park and its contiguous reserves to develop adaptive and resilient capacities, to face various factors of alteration that may occur over time. However, some management recommendations suggest implementing a network of biological corridors in areas with high

¹ Universidad Surcolombiana, Neiva, Huila, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4837-3183>

² Universidad Surcolombiana, Neiva, Huila, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9917-4822>

³ Universidad Nacional Autónoma de México, ENES, Unidad Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9818-0489>



fragmentation, restoring habitats in areas of life that could present potential changes and enlarge the park's surface to promote the connectivity of living areas.

Keywords: adaptation, climate change, communities, ecosystems, transdiscipline.

Introducción

En la actualidad, el conocimiento de la resiliencia de los ecosistemas es considerado esencial para comprender las respuestas colectivas de las comunidades ecológicas, así como el comportamiento individual de las especies a los procesos de alteración medioambiental (Johnstone et al., 2016). Generalmente, las perturbaciones provocan una reorganización entre el mismo orden taxonómico, o de estas con otras cadenas tróficas, siendo posible que los cambios ecológicos presentes y futuros puedan modificar la estructura y la composición de las comunidades ecológicas (Keith et al., 2023). Este tipo de procesos complejos pueden llegar a interrumpir la productividad y las interacciones bióticas, cambiar la abundancia relativa y los rangos de distribución de las especies, causar extinciones y crear comunidades nuevas (Baruah et al., 2022). Por tanto, cuando hay resiliencia en un ecosistema determinado, este puede recuperarse rápidamente para mantener en el tiempo sus funciones, flujos de energía y servicios ambientales; esto resulta clave en términos de manejo y adaptación (Lavorel et al., 2019).

En términos ecológicos, la resiliencia ha sido descrita como la capacidad que tienen los ecosistemas para absorber, persistir y retornar a su estado de equilibrio, después de una perturbación natural o antrópica (Yi & Jackson, 2021). En este sentido, Cuevas (2010) puntualiza que la resiliencia podría considerarse como un posible indicador biológico del estado de conservación de los ecosistemas y como un factor de regeneración de la diversidad biológica. Incluso la evolución y las dinámicas de los sistemas socioecológicos dependen en gran medida de la capacidad de resiliencia, pero también, de la capacidad de adaptación (Vargas-Hernández & Vargas-González, 2023). En sentido similar, los ecosistemas bien manejados tienen un amplio potencial de adaptación, ya que resisten y se recuperan más fácilmente a los procesos de perturbación natural o antrópica (Viñals et al., 2023). Por el contrario, ecosistemas con manejo inadecuado, fragmentados y degradados, generan graves repercusiones a los sistemas naturales e incrementan la vulnerabilidad de las poblaciones humanas (Lloret, 2012). Por tanto, comprender los componentes esenciales que mantienen la resiliencia de las áreas naturales protegidas es fundamental para monitorear el comportamiento de sus procesos ecológicos y promover la adaptación ante nuevos sucesos de variabilidad ambiental (Thompson, 2011).

Para Poiani et al., (2000), un área natural protegida es más que biomasa, se trata de un dominio geográfico que mantiene ecosistemas, especies, procesos e interacciones ecológicas dentro de sus rangos de variabilidad. Las áreas naturales protegidas son altamente funcionales para la conservación, por lo que requieren procesos de planificación y gestión que aseguren la interacción de la biodiversidad a largo plazo (Pellizzaro et al., 2015). No obstante, aunque los ecosistemas presentan una amplia diversidad biológica, no todas las especies que los conforman se constituyen como parte integral de la dinámica de los procesos ecológicos, de manera que, ciertas especies o grupos funcionales, también conocidas como “especies clave o dominantes”, desempeñan una labor crucial para el equilibrio ecológico (Verma, 2018). Eso debe conducir a su priorización dentro de las acciones de planificación territorial, de tal forma que se les provea hábitats acordes con espacio, conectividad y alimento suficiente para su libre reproducción y desarrollo (Tymchuk & Potasheva, 2021).

En este punto, es importante resaltar que la biodiversidad genética, específica y ecosistémica en su conjunto permiten la generación de servicios ecosistémicos como soporte, provisión, regulación y culturales (Takacs & O'Brien, 2023). Por lo tanto, la conservación de las áreas protegidas y particularmente, el mantenimiento de su capacidad de resiliencia es vital para promover la salud de los ecosistemas y el desarrollo sustentable de las comunidades (Bareille et al., 2023). Este tipo de espacios naturales proporcionan aire, suelo, agua, alimentos, combustibles, medicinas, medios de vida, paz, tranquilidad y otros aspectos intangibles que hacen posible la subsistencia y el bienestar de la humanidad (Aziz, 2023). A pesar de ello, algunos países difieren de la connotación que han tenido las áreas protegidas y su valor incalculable para garantizar la vida, en diversas ocasiones se les ha tildado equívocamente de “tierras improductivas” (INE, 1995). Esto ha propiciado la necesidad de realizar grandes esfuerzos globales para avanzar en el desarrollo de información de base científica que contribuya al conocimiento de la biodiversidad y así orientar la toma de decisiones acerca de su conservación (Chaplin-Kramer et al., 2022; Rincón-Ruíz et al., 2014).

Históricamente, los gobiernos en todos sus niveles administrativos enfrentan el reto de gestionar el patrimonio natural de sus áreas protegidas, esto en el contexto de una población creciente y con el sector productivo en su máxima expansión (Hensler & Merçon, 2020). En este escenario, orientar lineamientos mundiales junto con estrategias nacionales, para la identificación de acciones locales que permitan optimizar el manejo y aprovechamiento sostenible de las áreas protegidas, es un verdadero desafío para las autoridades departamentales y municipales (Petit et al., 2018). Por ello, cada vez es más imprescindible generar nuevos conocimientos en los territorios a partir de estudios que giren en torno a estas áreas y lograr una mejor comprensión de sus dinámicas evolutivas, para tomar decisiones acertadas que incrementen su capacidad adaptativa (Audefroy & Sánchez, 2017). Sin embargo, es necesario precisar que este tipo de procesos deben estar orientados desde la formalidad de los gobiernos, pero con la injerencia de la academia para lograr no solo la vinculación intersectorial, sino también un alto grado de participación de las comunidades, quienes han sentido en los últimos años las inclemencias del clima (Bazant-Fabre et al., 2022).

Esto resulta más urgente en regiones donde las áreas naturales son altamente vulnerables por el fenómeno mundial de cambio climático, ya que las variaciones en los patrones de temperaturas y precipitaciones pueden afectar drásticamente la funcionalidad de los ecosistemas y sus especies asociadas (Heikkinen et al., 2020). Por ejemplo, para Colombia se esperaría que la magnitud de los cambios de la temperatura media manifieste un aumento de aproximadamente de 1,0 °C a 3,5 °C entre 2071-2100. Los mayores aumentos se presentarían en la región Andina, especialmente para zonas como Sogamoso, Catatumbo, Medio Magdalena y la Sabana de Bogotá; así como en la parte oriente del país. En cuanto a las precipitaciones, las proyecciones muestran que, para el periodo 2011-2100, la región Caribe y la Amazonia presentarían una disminución entre el 10 y el 40 % (IDEAM, 2015). En concordancia con lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar la resiliencia ecosistémica del área protegida Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi (PNNAFIW) en Caquetá, Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

El PNNAFIW se encuentra ubicado en el extremo sur occidental del departamento de Caquetá (Colombia), específicamente en la región del Piedemonte Amazónico o zona de Transición Andino Amazónica en la Cordillera Oriental en jurisdicción de los municipios de San José del Fragua y Belén de los Andaquíes (Figura 1). Limita al norte con el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos y la Reserva Forestal de la Amazonía, al occidente y sur con el Parque Nacional Natural Serranía de los Churumbelos Auka Wasi y al suroriente con el Distrito de Conservación de Suelos y Aguas de Caquetá. El PNNAFIW fue declarado en el 2002 como área protegida de carácter nacional, mediante Resolución 0198 emanada por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se localiza entre los 900 y 2.895 m.s.n.m. y tiene un área total geográfica de 76.094,17 hectáreas (RUNAP, 2022).

El PNNAFIW está integrado a la Subregión del Piedemonte Andino-Amazónico de gran importancia ecológica, que se caracteriza por la confluencia y conectividad de ecosistemas Andinos y Amazónicos. En esta subregión convergen elementos biogeográficos que proveen una alta variedad de especies de flora y fauna que son consideradas de gran interés para la conservación de la diversidad biológica. También hace parte del corredor biológico Serranía de los Churumbelos Auka Wasi-Cueva de los Guácharos y del núcleo central de la reserva de la Biósfera del Cinturón Andino.



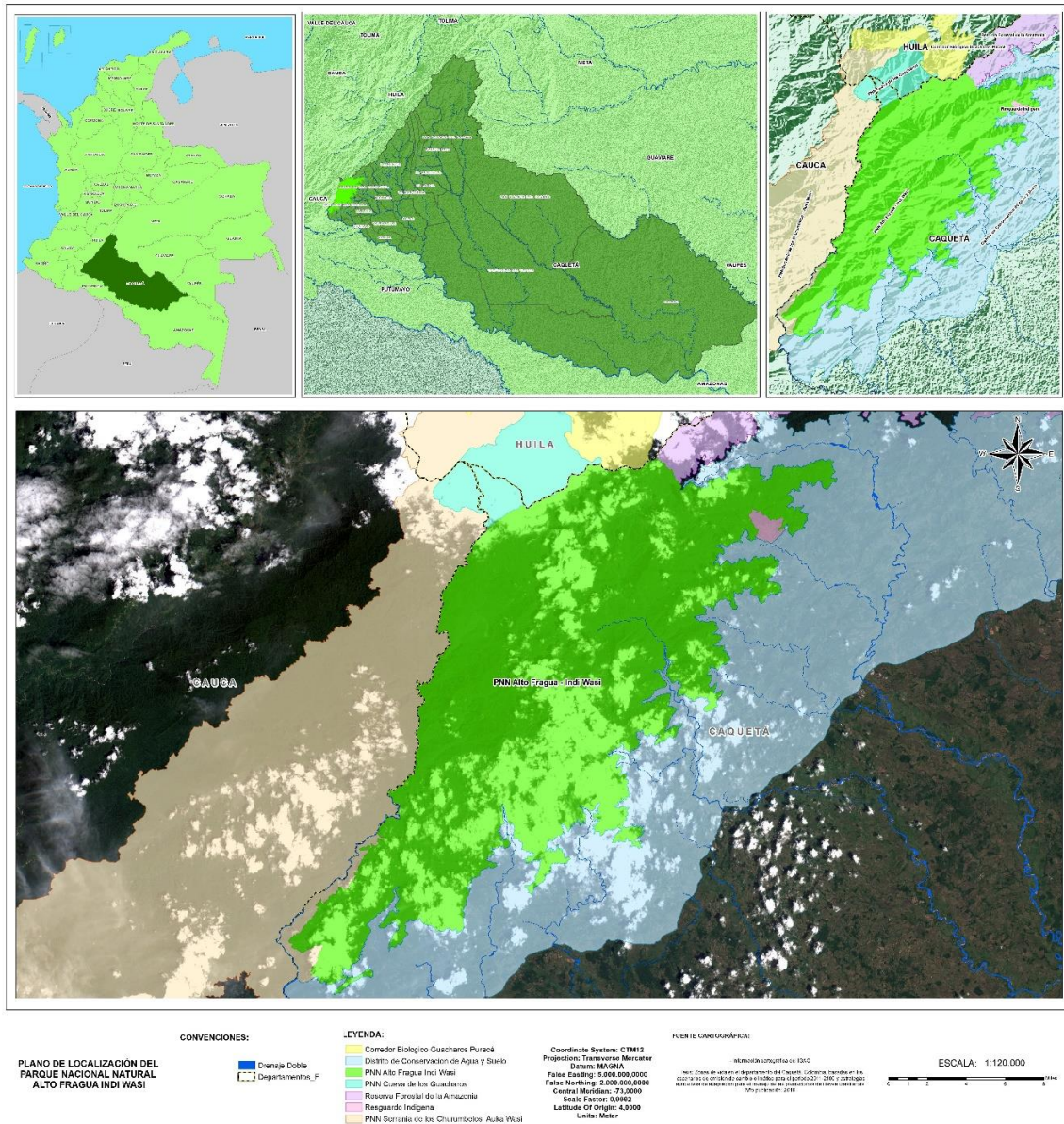


Figura 1. Localización del PNNAFIW en Caquetá, Colombia y sus reservas contiguas. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Evaluación de la resiliencia ecosistémica

Para evaluar la resiliencia ecosistémica del área protegida PNNAFIW se aplicó una metodología conformada por cinco fases y 18 pasos (figura 2), la cual se ha construido a partir de las directrices propuestas por Poiani et al., (2000), Parrish et al. (2003), Herrera y Corrales (2004) y Vargas (2007). En la primera fase, se desarrolló un diagnóstico del área de estudio, teniendo en cuenta aspectos biofísicos, ecológicos, sociales, económicos, políticos y administrativos que tienen injerencia (dentro y fuera) del área protegida; lo anterior, tomando como referencia fuentes primarias y secundarias. En la segunda fase, se identificaron los objetos de conservación, los atributos ecológicos con sus respectivos indicadores e intervalos de variación. En la tercera fase, se realizó el procesamiento y análisis de datos para obtener la calificación de los atributos y la resiliencia ecosistémica del área protegida. En la cuarta fase, se realizó la interpretación de resultados para proponer estrategias de uso y manejo adaptativo del PNNAFIW. Cabe destacar que todo este proceso estuvo permeado por cinco ejes transversales: gestión colaborativa de los actores involucrados, marco normativo de las áreas protegidas, concertación y participación incluyente, diálogo interdisciplinario, y planeación interinstitucional y comunitaria. En cuanto a la dimensión temporal, este trabajo fue desarrollado entre enero y diciembre de 2021.

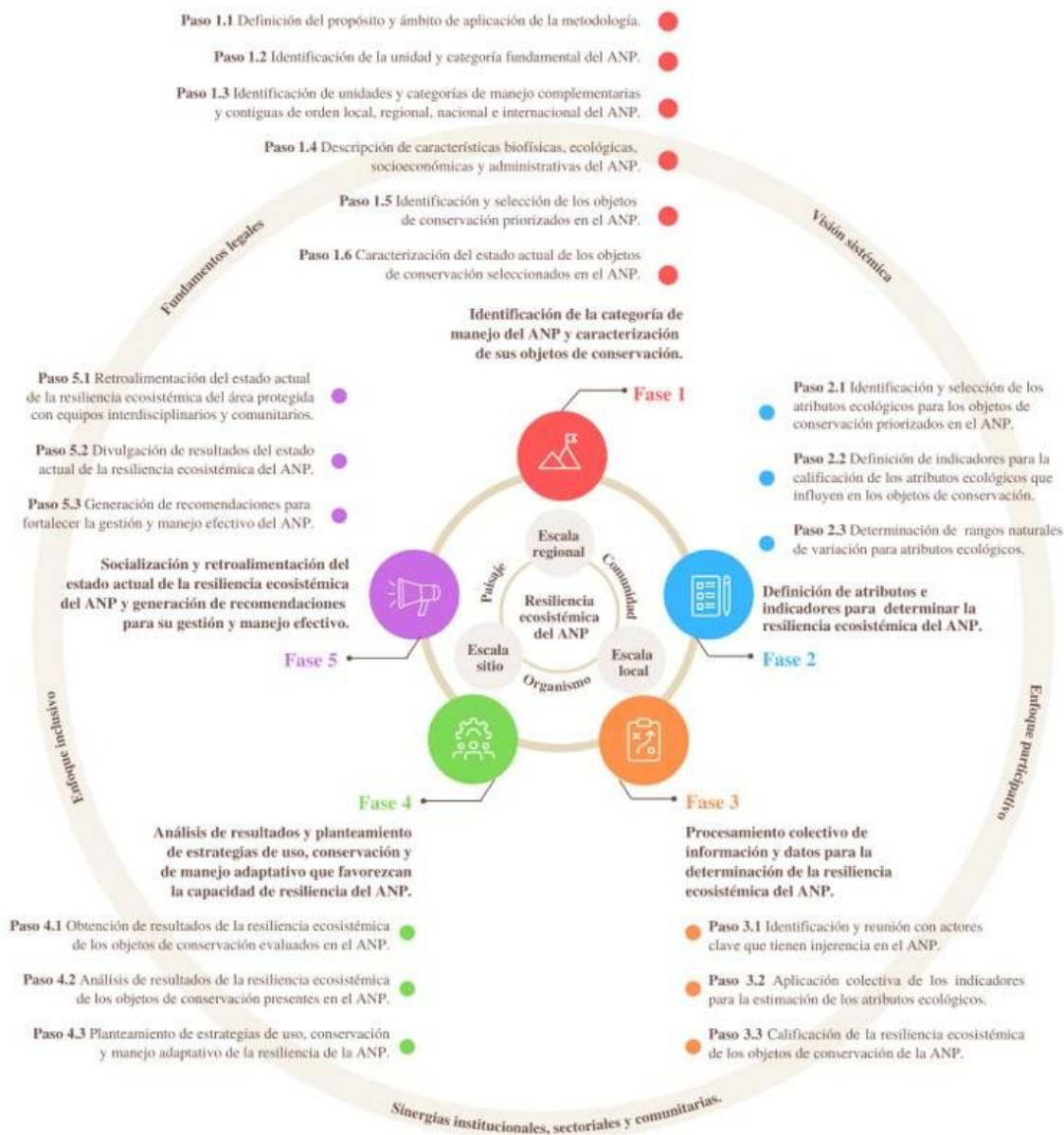


Figura 2. Fases y pasos de la metodología para la evaluación de la resiliencia ecosistémica en áreas protegidas. Fuente: Rengifo-Pascuas et al., (2022).

Resultados

Diagnóstico y caracterización

El PNNAFIW se originó con el objetivo de establecer un área de manejo especial para la conservación biológica y cultural en la región del Fragua (Caquetá), en el Piedemonte Amazónico colombiano, en la perspectiva de un pleno reconocimiento de los derechos territoriales indígenas y prácticas culturales del pueblo ingano. Este parque hace parte de un importante corredor biológico que conecta dos ecosistemas altamente diversos y estratégicos para el territorio colombiano (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022). Su temperatura promedio es de 19.9 °C, una precipitación media de 3.200 mm/año y una humedad relativa de 85 a 90%; el clima es templado muy húmedo a frío muy húmedo. Se caracteriza por ser una zona de la Cordillera Oriental en buen estado de conservación, con significativos endemismos y una excelente oferta de servicios ambientales. La red hidrográfica del PNNAFIW y sus reservas contiguas están rodeadas por seis cuencas que drenan su territorio, donde sus afluentes nacen en su mayoría en la montaña, entre los que sobresalen los ríos Fragua, Sabaleta, Fragueta, Yurayaco, Fragua Chorroso y Pescado. Respecto a su fisiografía y suelos, en el área

del parque predomina el gran paisaje de montaña fluvio-erosional, que corresponde al 98 % del área total del parque, mientras que los paisajes fisiográficos lomerío fluvio-erosional, colina fluvio-erosional y cresta fluvio-erosional ejerce predominio en el PNNAFIW (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022).

Además, en el parque se reportan seis tipos de coberturas: bosque, con el 98,7% de la extensión total del parque; bosque intervenido, con el 0,48%; rastrojo, con el 0,62%; pasturas, con el 0,20%; y espacios abiertos (áreas de derrumbes, cultivos y otros), con el 0,01%. En lo que respecta a la vocación de usos del suelo, el área del parque está priorizada con aptitud de conservación, agroforestal y forestal, donde la zona de conservación no presenta ningún tipo de conflicto y las zonas forestal y agroforestal si presentan conflicto de uso (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022). En relación con la categoría forestal, el uso principal recomendado es protección y producción, no obstante, la zona destinada a esta categoría se encuentra en un 60% cubierta por pastos y genera conflicto en relación con la alta pluviosidad que se presentan en el sector y que, sumado a la superficialidad y la baja fertilidad de los suelos, el área es afectada por procesos de moderado a alto grado de erosión. Respecto a la biodiversidad, distintas investigaciones florísticas y faunísticas en la zona reflejan que el PNNAFIW y sus reservas contiguas representan una de las regiones *hotspot* más relevantes para la conservación de la biodiversidad Andino-Amazónica (Franco-Rosselli *et al.*, 1997; Negret *et al.*, 2015; Gutiérrez-Lamus *et al.*, 2020).

Definición de los objetos de conservación, atributos e indicadores

Se identificaron como objetos de conservación en el PNNAFIW las zonas de vida o unidades bioclimáticas de Holdridge (1967), debido a que la riqueza y diversidad de especies presentes en el parque guardan una estrecha relación con los ecosistemas Andino-Amazónicos y las variables asociadas al clima y al gradiente altitudinal. De esta manera, las zonas de vida representan sistemas ecológicos, donde es posible encontrar ecosistemas matriciales de los que dependen pequeñas comunidades naturales, especies y diversidad genética que habita en la región geográfica Andino-Amazónica. Para la selección de atributos ecológicos, indicadores e intervalos naturales de variación se recurrió a la revisión documental de fuentes secundarias. Se tuvieron en cuenta los atributos ecológicos propuestos por autores como Poiani *et al.*, (2000) y Dubois *et al.*, (2016), los cuales integran: la composición y estructura de la vegetación, regímenes ambientales y perturbaciones naturales y/o antrópicas, área dinámica mínima y conectividad de las áreas protegidas. El análisis de los atributos incluyó la calificación de los indicadores, con escala valorativa de 1 a 3, que representa una valoración de resiliencia baja, media o alta, según corresponda. El indicador establecido por cada atributo evaluado permite establecer si los objetos de conservación se encuentran dentro de los intervalos naturales de variación, con el fin de determinar la capacidad de respuesta de las zonas de vida a cambios en su extensión y distribución como, también, a las disturbios naturales o antrópicos que podrían experimentar los bioclimas en el tiempo.

Resiliencia ecosistémica del PNNAFIW

Los resultados indican que la cobertura boscosa en el PNNAFIW y sus reservas contiguas abarcan 288.667 hectáreas de cobertura boscosa, que corresponde al 87,42 % del área total estudiada. En cuanto a la cobertura boscosa en las zonas de vida del PNNAFIW, se identificó que de las 76.204,71 hectáreas que comprende el área total del PNNAFIW, el 99 % de esta superficie (75.414,41 ha) están cubiertas por bosque. El porcentaje restante, esto es, el 0,85 % del área de las zonas de vida presentan pasturas y el 0,19 % es ocupada por superficies de agua. La zona de vida que abarca mayor cobertura boscosa es el bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PMT) con 49.676 (ha) de bosque denso, 1.687 (ha) de vegetación secundaria y 932 (ha) de bosque intervenido. El bmh-PMT cubre la mayor área geográfica del parque con 53.080 (ha) que equivalen al 69,66 % de la superficie total del área protegida, seguido por el bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT) que cubre 22.950 ha (30,12 %) y el bosque húmedo Tropical (bh-T) con 174 ha (0,23 %).

Lo anterior, muestra un aspecto positivo en cuanto a la cobertura boscosa que está presente en las zonas de vida del PNNAFIW y sus reservas contiguas, lo que hace posible que los sistemas biológicos persistan y mantengan la estabilidad interna, su integridad y, por tanto, la resiliencia del ecosistema en sí (Poiani *et al.*, 2000). Al contrastar esto, se establece que las zonas de vida del PNNAFIW y sus reservas contiguas alcanzan una resiliencia alta, al presentar una cobertura boscosa de 288.667 hectáreas. Lo anterior significa que la calificación de la resiliencia obtenida para este atributo es de tres (3,0), ya que el cuantificador establecido sobrepasa las 100.000 hectáreas de cobertura boscosa, según el cuantificador establecido. Esto indica que el atributo evaluado genera grandes beneficios para las especies que habitan las zonas de vida, lo que contribuye no solo a incrementar la capacidad de resiliencia ecosistémica de las comunidades y de los sistemas naturales presentes en las zonas de vida, sino que, además, favorece la adaptación de las dinámicas biológicas ante sucesos de variabilidad ambiental. Esta resiliencia

alta y media se proyecta para las zonas de vida del PNNAFIW y sus reservas contiguas con bioclimas muy húmedos que se ubican en los pisos altitudinales Premontano Tropical y Montano Bajo Tropical.

Al evaluar la resiliencia del área total de las zonas de vida del PNNAFIW para el escenario presente y frente a las proyecciones de cambio climático en el siglo XXI, los resultados establecen una calificación de resiliencia alta (3.0) y media (2.0) para las zonas de vida presentes en el PNNAFIW. Esto indica que el bh-T y bmh-PMT presentan resiliencia alta, debido a que la superficie de estas zonas de vida mantiene una proporción $\geq 70\%$ de su área total actual, frente a las proyecciones de cambio climático en comparación con el último periodo del siglo XXI (Figuras 3 y 4). Por su parte, el bmh-MBT resultó con resiliencia media, ya que para el periodo 2071-2100 mantiene una proporción del 50 % de su área total actual. La calificación de la resiliencia sugiere que el atributo de área dinámica mínima muestra cambios potenciales en la superficie de los bioclimas para cada escenario futuro, donde la biodiversidad que habita en estas zonas de vida podría ser susceptible a las variaciones climáticas, con efectos sobre aquellos sistemas biológicos que no logren adaptarse gradualmente a los nuevos escenarios del clima (Bellard et al., 2012). Al respecto, es importante tener en cuenta que el clima es un factor determinante para la biodiversidad y que mucha de la vida silvestre se desarrolla en límites geográficos latitudinal y altitudinal, donde es probable que algunas especies de plantas y animales que habitan en la zona de vida bmh-MBT experimenten alteraciones o modificaciones en sus ciclos de vida (Dawson et al., 2011).

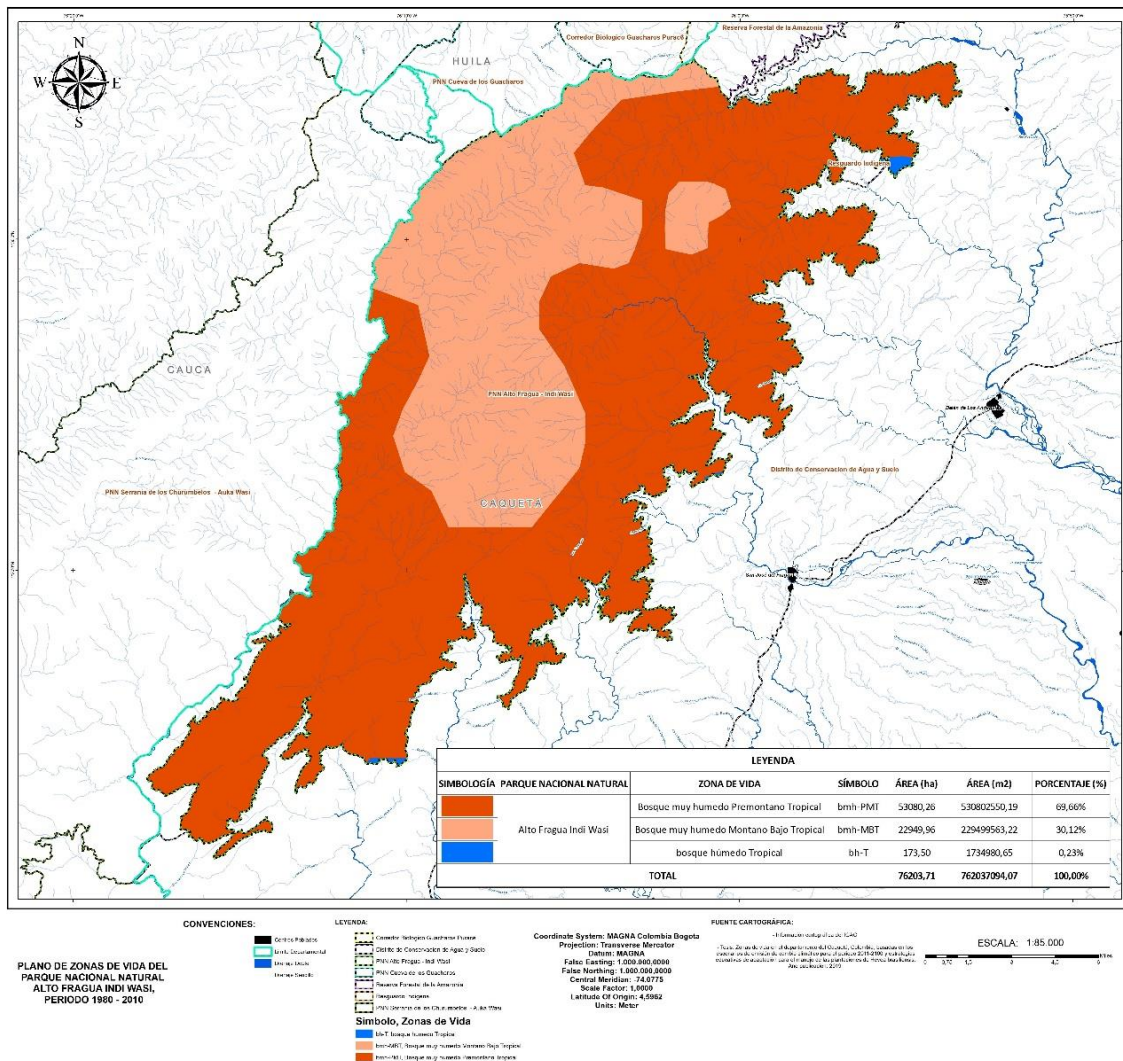


Figura 3. Zonas de vida Holdridge en el PNN Alto Fragua Indi Wasi, periodo 1980-2010. Fuente: Con base en Basto (2019).

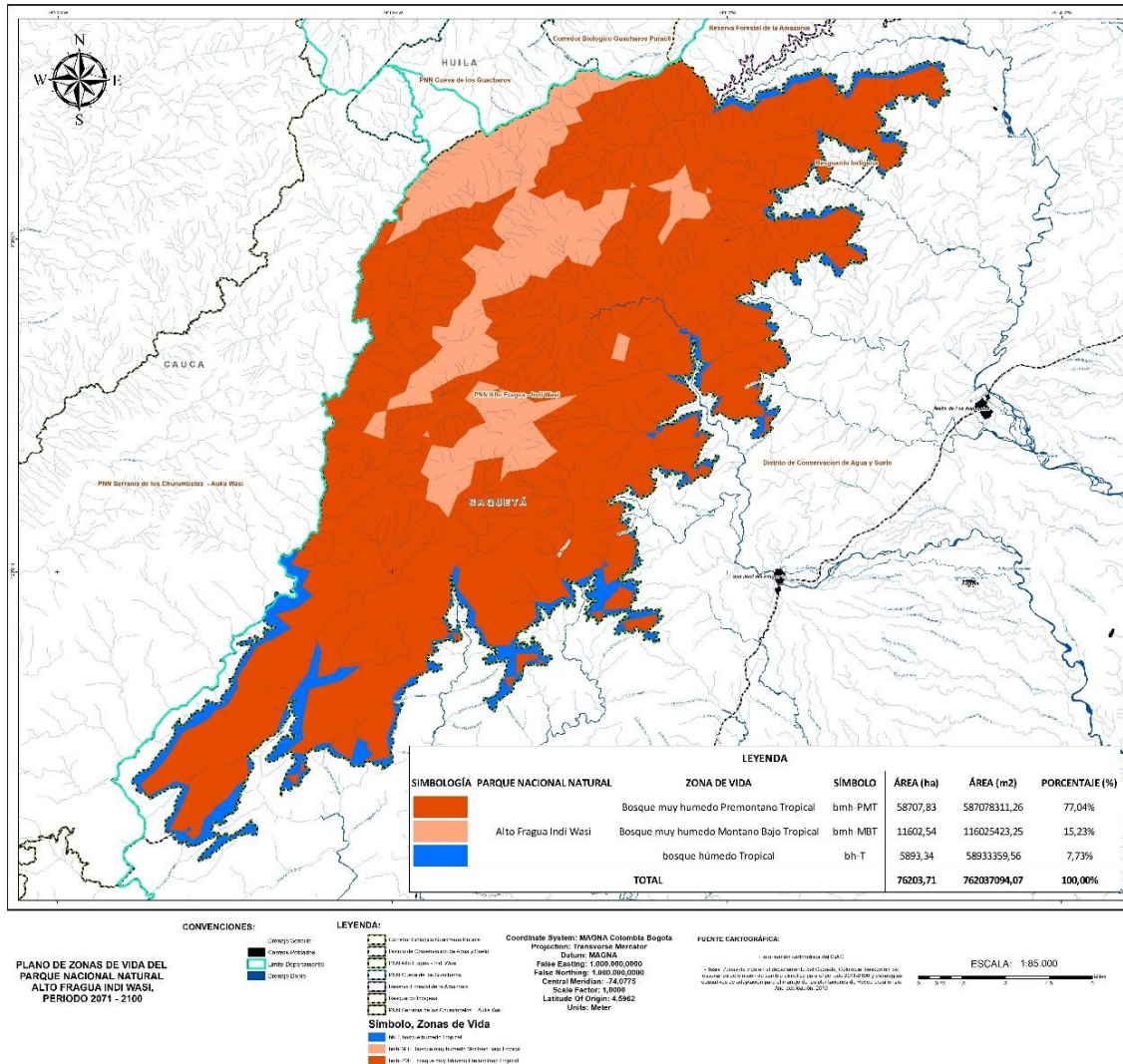


Figura 4. Zonas de vida Holdridge en el PNN Alto Fragua Indi Wasi, periodo 2071-2100. Fuente: Con base en Basto (2019).

Lo anterior en razón a que las especies que no logren tolerar las nuevas condiciones climáticas pueden presentar desplazamientos geográficos, adaptarse o simplemente desaparecer; no obstante, esto a su vez podría afectar el funcionamiento y la resiliencia de los ecosistemas (Anderson et al., 2023). Con la disminución del área de la zona de vida bmh-MBT pueden ocurrir fenómenos como el efecto borde o efecto barrera, lo que llevaría a que muchas de las especies de este bioclima modifiquen sus estructuras reproductivas, afectando consigo su distribución, composición y abundancia de especies.

La estimación de la resiliencia ecosistémica del PNNAFIW basado en el análisis de las amenazas naturales o antrópicas, permiten identificar los principales factores que ejercer presión en las zonas de vida del parque y en sus dinámicas ecosistémicas. De esta forma, este atributo se evaluó teniendo en cuenta variables como la degradación de los suelos por praderización y otras coberturas. Los resultados sugieren que las zonas de vida en su distribución actual presentan una resiliencia alta dentro del PNNAFIW. La zona de vida bh-T se encuentra mínimamente intervenida con 0,09 hectáreas de praderización que cubre el 0,083 % de su superficie total. En cuanto al bmh-MBT no presenta amenaza por praderización. Por su parte, el bmh-PMT registra 525,49 hectáreas de suelo que han sido erosionadas por procesos de praderización y 63,81 hectáreas de suelo erosionadas en bosques conservados. Es importante considerar que en la zona de vida bmh-PMT predomina el paisaje montañoso fluvio-erosional, que se caracteriza por presentar un clima medio y muy húmedo con lluvias anuales entre 2.000 a 4.000 mm, una altitud que varía entre los 1000 y 2500 msnm y un relieve escarpado a fuertemente quebrado; por ende, son suelos con alta susceptibilidad a la erosión y

movimientos en masa por escurrimiento superficial, que los hace vulnerables a numerosos desprendimientos y deslizamiento. No obstante, el área que presenta esta zona de vida por amenaza de praderización es menor y su superficie se encuentra conservada en gran medida por cobertura boscosa.

Por su parte, la evaluación de la conectividad ecológica indica que el bnh-PMT es la zona de vida que ocupa el mayor perímetro del parque en el periodo presente y en las próximas décadas; sin embargo, esta longitud se disminuye de manera drástica en los escenarios futuros, debido a que para final de siglo se reduce casi en su totalidad, pasando de 346,53 Km en la época 1980-2010 a 33,79 Km en el periodo 2071-2100 (Figuras 5 y 6). El bnh-MBT también sigue esta tendencia al reducir gradualmente su perímetro en los escenarios futuros en comparación con el periodo 1980-2010. La zona de vida bh-T presenta un aumento muy significativo del perímetro, pasando de 10,07 Km en el periodo 1980-2010 a 344,91 Km en el periodo 2071-2100. Para el último periodo del siglo XXI, el bh-T abarca casi la totalidad del perímetro del PNNAFIW. Según los promedios, la zona de vida que presenta menos resiliencia es el bnh-MBT, seguido del bh-T y luego el bnh-PMT. Todas con promedios menores a tres (3), lo que significa una calificación entre media y baja resiliencia. La evaluación de la conectividad ecológica de las zonas de vida para los escenarios presente y futuro indican niveles bajos de resiliencia. Esto se da principalmente por los cambios fuertes que presentan las zonas de vida en relación con la reducción de sus perímetros para los escenarios futuros. Lo precedente podrían estar relacionados con factores perturbadores de carácter natural o antrópico que influyen progresivamente sobre el atributo evaluado.

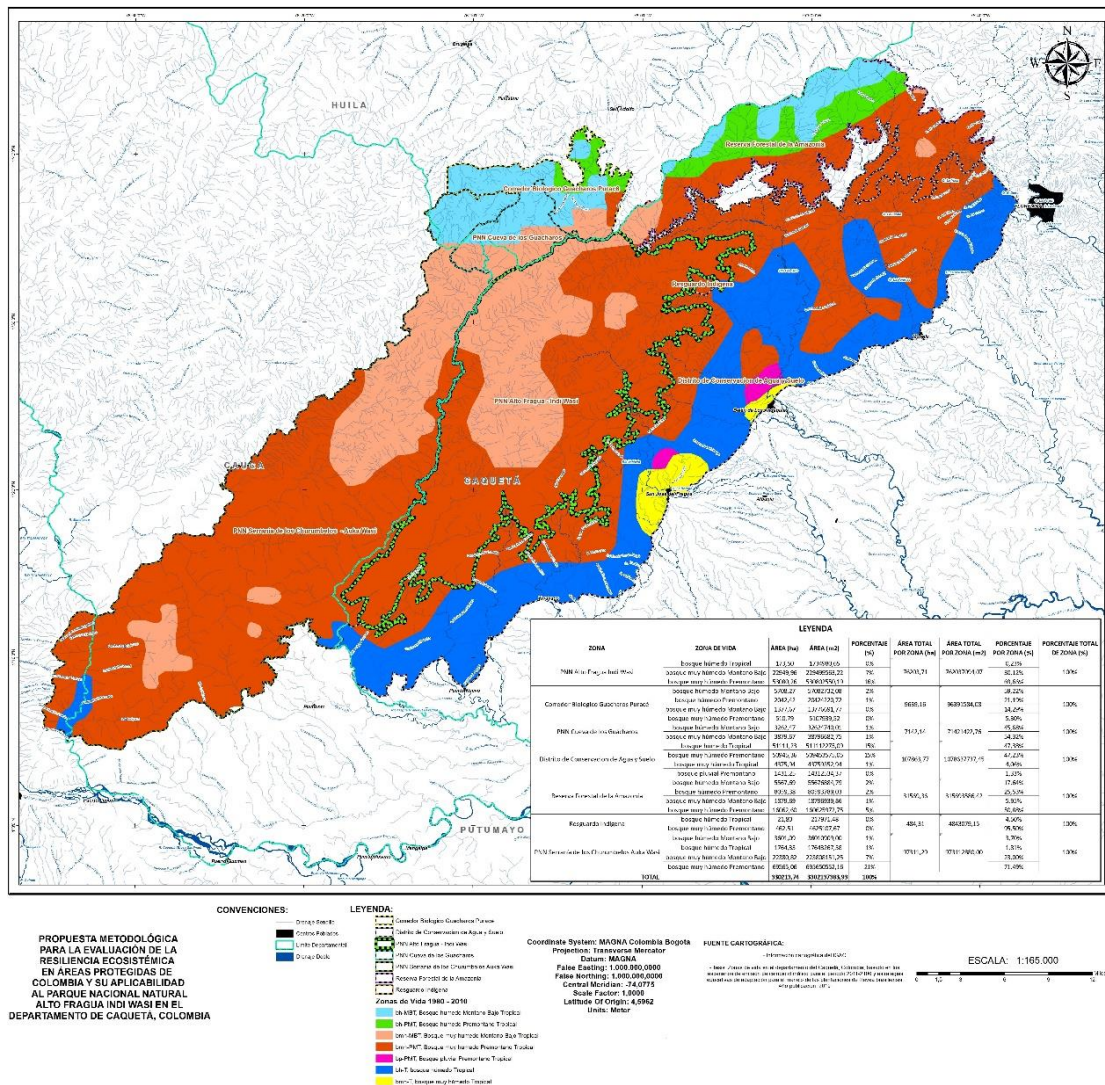


Figura 5. Conectividad ecológica entre zonas de vida del PNNAFIW y sus reservas contiguas, periodo 1980-2010. Fuente: Con base en Basto (2019).

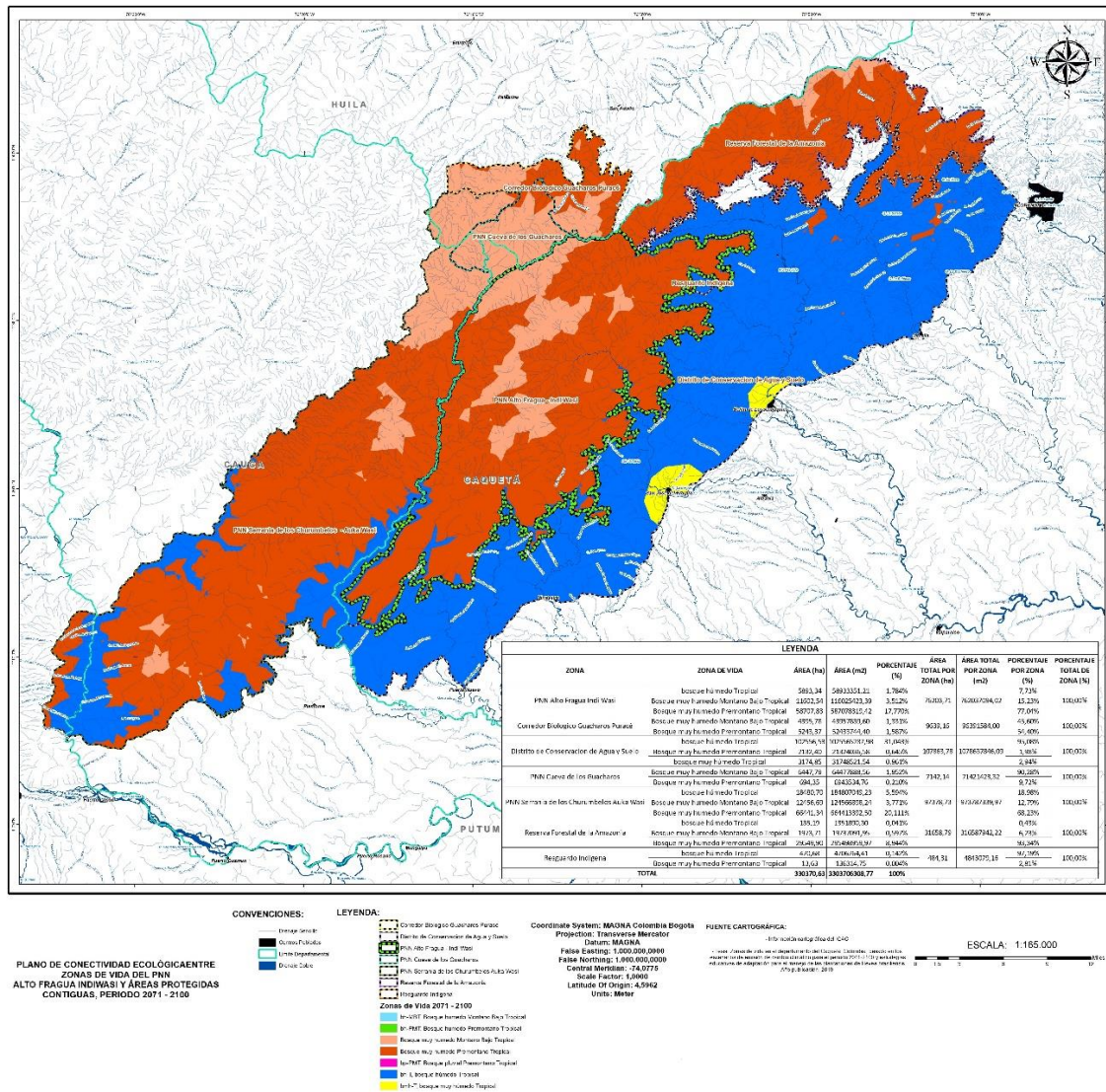


Figura 6. Conectividad ecológica entre zonas de vida del PNNAFIW y sus reservas contiguas, periodo 2071-2100. Fuente: Con base en Basto (2019).

Análisis de resultados

Con base en los resultados obtenidos, la calificación de la resiliencia ecosistémica para las zonas de vida del PNNAFIW fue de 2.6, la cual corresponde a una resiliencia media alta. Dicha valoración es apenas una aproximación y debe manejarse con cautela; en todo caso, el soporte de biodiversidad es fundamental para esta valoración de resiliencia ecosistémica, así se ha visualizado en otras áreas protegidas (Jones, 2014). Ahora bien, se requiere planificar acciones en el corto, mediano y largo plazo, que permitan el restablecimiento de las dinámicas ecológicas para al funcionamiento del área protegida evaluada. En este sentido, es indispensable realizar análisis multicriterio de las estrategias de restauración para mejorar el suministro de servicios ecosistémicos (Paletto et al., 2021). Esto implica facilitar las condiciones para que el PNNAFIW y sus comunidades contiguas desarrollen capacidades de adaptación y resiliencia, esto es concordante con el modelo de conservación basado en comunidades (Salerno et al., 2021). Por tanto, para que se mantenga el funcionamiento y la resiliencia ecosistémica en el PNNAFIW, es prioritario la adopción de medidas de adaptación y estrategias de manejo en el área protegida, por parte de las entidades y las comunidades que ejercen influencia directa sobre estas áreas. Esto con el fin de afrontar eventos perturbadores que se pueden presentar en los objetos de conservación en las próximas décadas. Para el caso del bmh-MBT y bmh-PMT se proyectan cambios en la distribución de su superficie en los escenarios futuros. Se requiere tener presente la información generada de los objetos de conservación



evaluados, en lo que respecta a la cobertura boscosa/no boscosa, los cambios en la superficie del área y los factores de presión y amenaza. Lo anterior, invita a repensar la gestión de los recursos naturales y las estrategias de conservación, pues urge una gobernanza bioregional más allá de las áreas protegidas (Toledo, 2005).

Socialización y retroalimentación

Durante la socialización y retroalimentación con los grupos intersectoriales asociados al parque, se derivaron algunas recomendaciones puntuales. a) crear un programa radial dirigido a la generación de conocimiento científico, tecnológico y de la problemática ambiental de los PNNAFIW, que permita la sensibilización pública en torno a la gestión y el manejo sostenible de las áreas protegidas en Colombia. b) Implementar una red de corredores biológicos en las áreas que presentan alta fragmentación de hábitats por acción humana, con el fin de amortiguar los efectos de borde para las especies que hacen parte de la zona de transición Andino-Amazónica que caracteriza el PNNAFIW y sus reservas contiguas. c) Restaurar hábitats de zonas de vida que podrían presentar cambios potenciales, a través del enriquecimiento de especies que cumplen funciones clave en estas áreas y que hayan logrado adaptarse con mayor facilidad a las condiciones del medio. d) Ampliar la superficie del PNNAFIW con el fin de favorecer la conectividad de zonas de vida que representan núcleos de alta diversidad biológica e integridad ecosistémica y que se ubican en el área de transición Andino-Amazónica del cual hace parte el PNNAFIW y sus reservas contiguas. e) Adquirir terrenos por parte de los entes territoriales para la recuperación de áreas degradadas por actividades productivas, con destino a la restauración y conservación ecológica de las zonas amortiguadoras del PNNAFIW. f) Implementar modelos agroforestales y silvopastoriles para la reconversión ganadera de zonas amortiguadoras al PNNAFIW, dirigidos a favorecer procesos de restauración ecológica y restablecimiento de los flujos biológicos entre zonas de vida con transición potencial en los escenarios futuros. g) Brindar servicios de asistencia técnica y crédito dirigido a los productores que implementen modelos agroforestales y silvopastoriles para la reconversión ganadera de zonas amortiguadoras al PNNAFIW. Estas recomendaciones son una serie de ideas que resumen el anhelo de los grupos intersectoriales; no obstante, son un punto de partida para el diseño de políticas públicas. En todo caso, la gestión de la resiliencia ecosistémica en estos escenarios requiere de abordajes transdisciplinarias que conjunten el conocimiento tradicional y científico (Arroyo et al., 2019).

Conclusiones

Considerando los escenarios de riesgo futuro a los que podrían estar expuestas las distintas regiones biogeográficas de Colombia, es preocupante que áreas protegidas como el PNN Alto Fragua Indi Wasi puedan experimentar posibles amenazas que afecten su integridad y funcionalidad. Esto resulta más alarmante debido a que en el país no se tiene información, ni se conocen estudios que hayan evaluado la capacidad de respuesta de las áreas protegidas. Es decir, no hay certeza sobre la tolerancia de estos sistemas para absorber choques, amortiguar o resistir cambios generados por factores naturales o antrópicos y, en consecuencia, no se han encontrado procedimientos metodológicos para estudiar y comprender dichos fenómenos. Por ende, es necesario continuar generando estrategias que permitan asimilar el funcionamiento complejo de las dinámicas resilientes, para así plantear estrategias adaptativas que conduzca al buen funcionamiento de las áreas protegidas. Entre tanto, se requiere fortalecer el diálogo entre el conocimiento científico y el tradicional que se ha venido construyendo por las comunidades de la zona; de esta forma, se podrían gestionar los recursos naturales de manera consensuada entre los gobiernos y las comunidades. Finalmente, la formulación de acciones de conservación y de manejo efectivo debe priorizar la conectividad de la diversidad biológica y los valores culturales asociados a los grupos indígenas de la zona, esto resulta clave para construir sistemas socioecológicos sustentables con salud ecosistémica y bienestar social.

Referencias bibliográficas

Anderson, M. G., Clark, M., Olivero, A. P., Barnett, A. R., Hall, K. R., Cornett, M. W., ... & Cameron, D. R. (2023). A resilient and connected network of sites to sustain biodiversity under a changing climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(7), e2204434119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2204434119>



- Arroyo, M., Levine, A., & Espejel, I. (2019). A transdisciplinary framework proposal for surf break conservation and management: Bahía de Todos Santos World Surfing Reserve. *Ocean & Coastal Management*, 168, 197-211. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.10.022>
- Audefroy, J. F., & Sánchez, B. N. C. (2017). Integrating local knowledge for climate change adaptation in Yucatán, Mexico. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.03.007>
- Aziz, T. (2023). Terrestrial protected areas: Understanding the spatial variation of potential and realized ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 326, 116803. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116803>
- Bareille, F., Wolfersberger, J., & Zavalloni, M. (2023). Institutions and conservation: The case of protected areas. *Journal of Environmental Economics and Management*, 118, 102768. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102768>
- Baruah, G., Ozgul, A., & Clements, C. F. (2022). Community structure determines the predictability of population collapse. *Journal of Animal Ecology*, 91(9), 1880-1891. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13769>
- Basto, M. M. B. (2019). Zonas de vida en el departamento del Caquetá, Colombia, basadas en los escenarios de emisión de cambio climático para el periodo 2011-2100 y estrategias educativas de adaptación para el manejo de las plantaciones de Hevea brasiliensis en el departamento de Caquetá, Colombia (Tesis doctoral). Universidad Surcolombiana, Colombia.
- Bazant-Fabre, O., Bonilla-Moheno, M., Martínez, M. L., Lithgow, D., & Muñoz-Piña, C. (2022). Land planning and protected areas in the coastal zone of Mexico: Do spatial policies promote fragmented governance? *Land Use Policy*, 121, 106325. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106325>
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Chaplin-Kramer, R., Brauman, K. A., Cavender-Bares, J., Díaz, S., Duarte, G. T., Enquist, B. J., & Zafra-Calvo, N. (2022). Conservation needs to integrate knowledge across scales. *Nature ecology & evolution*, 6(2), 118-119. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01605-x>
- Cuevas, R. P. (2010). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 12(1), 1-7. <https://bit.ly/37vDRGp>
- Dawson, T. P., Jackson, S. T., House, J. I., Prentice, I. C., & Mace, G. M. (2011). Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *science*, 332(6025), 53-58. <https://doi.org/10.1126/science.1200303>
- Dubois, G., Bastin, L., Bertzky, B., Mandrici, A., Conti, M., Saura, S., & Graziano, M. (2016). Integrating multiple spatial datasets to assess protected areas: lessons learnt from the Digital Observatory for Protected Areas (DOPA). *International Journal of Geo-Information*, 5(12), 242. <https://doi.org/10.3390/ijgi5120242>
- Franco-Rosselli, P., Bentancur, J., & Fernández-Alfonso, J. (1997). Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Caldasia*, 19, 205-234. <https://www.jstor.org/stable/44241972>
- Gutiérrez-Lamus, D. L. G., Osorno-Muñoz, M., Lynch, J. D., & Caicedo-Portilla, J. R. (2020). Herpetofauna de la transición andino-amazónica entre los departamentos de Huila y Caquetá, Colombia. *Revista Colombia Amazónica*, 12, 168-189. <https://bit.ly/38vpthV>
- Heikkinen, R. K., Leikola, N., Aalto, J., Aapala, K., Kuusela, S., Luoto, M., & Virkkala, R. (2020). Fine-grained climate velocities reveal vulnerability of protected areas to climate change. *Scientific reports*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58638-8>
- Hensler, L., & Merçon, J. (2020). Áreas Naturales Protegidas como territorios en disputa: intereses, resistencias y acciones colectivas en la gestión compartida. *Sociedad y Ambiente*, 22, 180-211. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2101>
- Herrera, B., & Corrales, L. (2004). Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas. Guatemala: PROARCA/APM.
- Holdridge, L. R. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center edition.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Bogotá.

- Instituto Nacional de Ecología [INE]. (1995). Áreas naturales protegidas: economía e instituciones. Coordinación de Comunicación y Participación Social del Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., & Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 369-378. <https://doi.org/10.1002/fee.1311>
- Jones, P. J. (2014). *Governing marine protected areas: resilience through diversity*. Routledge.
- Keith, D. A., Benson, D. H., Baird, I. R., Watts, L., Simpson, C. C., Krogh, M., & Mason, T. J. (2023). Effects of interactions between anthropogenic stressors and recurring perturbations on ecosystem resilience and collapse. *Conservation Biology*, 37(1), e13995. <https://doi.org/10.1111/cobi.13995>
- Lavorel, S., Colloff, M. J., Locatelli, B., Gorddard, R., Prober, S. M., Gabillet, M., & Peyrache-Gadeau, V. (2019). Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science & Policy*, 92, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lloret, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 85-90. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54024838011.pdf>
- Negret, P. J., Garzón, O., & Stevenson, P. (2015). First preliminary inventory of non-flying mammals of the Alto Fragua Indi-Wasi National Park, Colombia. *Mammalogy Notes*, 2(1), 32-35. <https://bit.ly/3OHaNwD>
- Paletto, A., Pieratti, E., De Meo, I., Agnelli, A. E., Cantiani, P., Chiavetta, U., ... & Lagomarsino, A. (2021). A multi-criteria analysis of forest restoration strategies to improve the ecosystem services supply: an application in Central Italy. *Annals of Forest Science*, 78, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-01020-5>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2022). Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi. Recuperado de <https://bit.ly/3MsGGXG>
- Parrish, J. D., Braun, D. P., Unnasch, R. S. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 53(9), 851-860. <https://bit.ly/3klnlvj>
- Pellizzaro, P. C., Hardt, L. P. A., Hardt, C., Hardt, M., & Sehli, D. A. (2015). Stewardship and management of protected natural areas: the international context. *Ambiente & Sociedade*, 18, 19-36. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC509V1812015en>
- Petit, I. J., Campoy, A. N., Hevia, M. J., Gaymer, C. F., & Squeo, F. A. (2018). Protected areas in Chile: are we managing them? *Revista chilena de historia natural*, 91(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0071-z>
- Poiani, K. A., Richter B. D., Anderson, M. G., & Richter, H. E. (2000). Biodiversity Conservation at Multiple Scales: Functional Sites, Landscapes, and Networks. *BioScience*, 50(2), 133-146. <https://bit.ly/3rTtkLz>
- Registro Único Nacional de Áreas Protegidas [RUNAP]. (2022). Alto Fragua - Indi Wasi. Recuperado de <https://bit.ly/3vGPK4C>
- Rengifo-Pascuas, E., Basto-Monsalve, M. B., & Fontalvo-Buelvas, J. C. (2022). Propuesta metodológica para gestionar la resiliencia ecosistémica de áreas naturales protegidas en Colombia. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1), 77-91. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2022.03.06>
- Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P. A. (2014). Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Salerno, J., Romulo, C., Galvin, K. A., Brooks, J., Mupeta-Muyamwa, P., & Glew, L. (2021). Adaptación y evolución de las instituciones y la gobernanza en la conservación basada en la comunidad. *Ciencia y práctica de la conservación*, 3(1), e355. <https://doi.org/10.1111/csp2.355>
- Takacs, V., & O'Brien, C. D. (2023). Trends and gaps in biodiversity and ecosystem services research: A text mining approach. *Ambio*, 52(1), 81-94. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01776-2>
- Thompson, I. (2011). Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva - Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 62(238), 25-30. <https://bit.ly/3jeZVHE>
- Toledo, V. M. (2005). Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta ecológica*, 77, 67-83. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907705.pdf>
- Tymchuk, N. A., & Potasheva, Y. I. (2021). Landscape approach in assessing the bioresource potential of specially protected natural areas. *Earth and Environmental Science*, 839(2), 022074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022074>

- Vargas-Hernández, J. G., & Vargas-González, O. C. (2023). Socio-Ecological System Implications of Organizational Resilience. In Handbook of Research on Entrepreneurship and Organizational Resilience During Unprecedented Times (pp. 25-47). IGI Global.
- Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, <https://bit.ly/37H1Anz>
- Verma, A. K. (2018). Ecological balance: An indispensable need for human survival. Journal of Experimental Zoology, India, 21(1), 407-409. <https://acortar.link/N6DS2K>
- Viñals, E., Maneja, R., Rufí, M., Martí, M., & Puy, N. (2023). Reviewing social-ecological resilience for agroforestry systems under climate change conditions. Science of The Total Environment, 869, 161763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161763>
- Yi, C., & Jackson, N. (2021). A review of measuring ecosystem resilience to disturbance. Environmental Research Letters, 16(5), 053008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdf09>