

Manejo adaptativo del territorio para la gestión hídrica en fuentes abastecedoras de Popayán, Cauca (Colombia)

Adaptive land management for water supply resources managing from Popayán, Cauca (Colombia)

Liliana Recaman-Mejía¹
Diego Edinson Lara-Rivera²
Andrés Felipe Liévano-Bonilla³
Hugo Portela-Guarín⁴

¹*Planeación y Estudios Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras.
E-mail: lilianarecaman@unicauca.edu.co*

²*Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras, Fondo del Agua.
E-mail: diegoelr7@gmail.com*

³*Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras, Fondo del Agua.
E-mail: aflb73@gmail.com*

⁴*Departamento de Antropología y Doctorado en Ciencias Ambientales, Grupo de Investigación Antropos, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Departamento de Antropología, Universidad del Cauca.
E-mail:hportela@unicauca.edu.co*

Resumen

El nuevo reto de la gestión integral del recurso hídrico de los ecosistemas de alta montaña está en la puesta en marcha de un enfoque del manejo adaptativo del territorio. En este artículo se presenta el caso de la subcuenca río Las Piedras, ubicada en el departamento del Cauca. Los resultados reflejan

Historia del artículo

Fecha de recepción:
02-05-2023
Fecha de aceptación:
23-08-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2301

el fortalecimiento de los procesos sociales para transformar el territorio, siendo la gobernanza la clave para abordar la resolución de conflictos por la tenencia de la tierra, que pasó del 54,4% en 1989 al 17,1% en 2016. A lo anterior se suma la planificación ambiental a nivel predial que permitió cambios de coberturas, entre ellos, los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales, pasando del 7,7% al 29% con una ganancia del 21,3% y disminución de pastos limpios en un 20,4%, permitiendo la recuperación de zonas de conservación y el desarrollo de prácticas de adaptación a la variabilidad climática, reflejándose en la regulación hídrica para el abastecimiento de comunidades urbanas y rurales. Se puede inferir que los sistemas socioecológicos que se fortalecen a través de la gobernanza de su territorio, tienen un mayor impacto en las acciones de planificación y gestión de los servicios ecosistémicos y una mayor sostenibilidad del recurso hídrico.

Palabras clave: sistemas socioecológicos, ecosistemas de alta montaña, gobernanza, prácticas de manejo, adaptación.

Abstract

The new challenge of integrated water resource management in high mountain ecosystems lies in the implementation of an adaptive territorial management approach. This article presents the case of the Las Piedras river sub-basin, located in the department of Cauca. The results reflect the strengthening of social processes to transform the territory, with governance being the key to address land tenure conflict

resolution, which went from 54.4% in 1989 to 17.1% in 2016. In addition to the above, environmental planning at the farm level allowed for changes in coverages, including crop mosaics, pastures and natural spaces, going from 7.7% to 29% with a gain of 21.3% and a decrease of clean pastures by 20.4%, allowing the recovery of conservation areas and the development of practices for adaptation to climate variability, reflected in water regulation for the supply of urban and rural communities. It can be inferred that socio-ecological systems that are strengthened through the governance of their territory have a greater impact on planning and management actions for ecosystem services and greater sustainability of water resources.

Key words: socio-ecological systems, high mountain ecosystems, governance, management practices, adaptation.

Introducción

Los ecosistemas de alta montaña funcionan como sistemas adaptativos complejos, la naturaleza se entrelaza con los sistemas socioecológicos propios y se integran a la biosfera, coevolucionando y dependiendo de ella, incidiendo en los procesos de aprovechamiento de los servicios ecosistémicos (Folke *et al.*, 2016). La incorporación del capital natural de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones forma parte de nuevos desafíos, que influyen en la sostenibilidad de la gestión integral del recurso hídrico (Guerry *et al.*, 2015; Gunderson *et al.*, 2016). La gobernanza hace parte de estos retos y proporciona

elementos para mejorar aspectos como capacidad de adaptación, colaboración, escala de intervención, conocimiento y aprendizaje, inclusión y equidad, generando así cambios a corto y largo plazo en relación con las políticas públicas (Karpouzoglou *et al.*, 2016), y por ende, con las políticas internas de las comunidades, acercándose a una gobernanza adaptativa que permita abordar el territorio de acuerdo a las particularidades de cada región. De forma similar, la gobernanza transformadora implica una capacidad adicional para fomentar nuevos regímenes socioecológicos, incluyendo mayor tolerancia al riesgo, inversión sistémica significativa, economías reestructuradas y relaciones de poder (Chaffin *et al.*, 2016), las cuales requieren comprender mejor las interacciones socio-ecológicas entre las regiones (Felipe-Lucía *et al.*, 2015; Fischer *et al.*, 2015).

Profundizar sobre las particularidades y la interrelación entre los subsistemas biofísicos y socioculturales, dependerá finalmente de la respuesta para lograr integralidad, conociendo conflictos, puntos de encuentro, concertación y dinámicas para construir estrategias de ordenamiento (Nates, 2011). Dicho proceso deberá tener en cuenta las transformaciones y considerar las nuevas propiedades que emergen por la interacción, y que se integran para producir propiedades nuevas y especiales (Odum, 2007). Los servicios ecosistémicos considerados como los beneficios que los ecosistemas brindan a las comunidades humanas, los servicios ambientales considerados como las actividades de gestión que los humanos

realizan en los ecosistemas, los bienes intangibles que dependen del contexto cultural como la cosmovisión del territorio y que generan una comprensión del mismo y cómo se utiliza, forman parte de un todo y de la complejidad del sistema y se pueden asociar como propiedades emergentes (Guerry *et al.*, 2015; Schultz *et al.*, 2015; Chaffin *et al.*, 2016; Karpouzoglou *et al.*, 2016).

A lo anterior se suman las respuestas de adaptación, que se pueden considerar también como otra propiedad emergente, que se caracteriza por relaciones no lineales, dinámicas que dan lugar a discontinuidades y sorpresas (Gunderson y Holling, 2002; Levin, 2001). Así mismo, las dinámicas de cambio, tanto a nivel ambiental como social, se acoplan y forman parte de un sistema adaptativo complejo (Folke *et al.*, 2003). Esto se une a la reflexión de Burgós (2011), quien considera que el manejo adaptativo de los recursos hídricos permite atender la incertidumbre y la complejidad de los sistemas naturales y sociales, entre ellas, la dimensión cultural que trasciende en los cambios organizativos, las prácticas locales relacionadas con el ambiente y la naturaleza siendo resignificadas y/o transformadas (Ulloa, 2011).

Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos descritos, en este trabajo se identifican las formas de manejo y gestión asociados a los procesos de ordenamiento del territorio y se establecen las cosmovisiones que las sustentan en la cuenca de alta montaña, subcuenca río Las Piedras, principal fuente de abastecimiento hídrico de la capital del departamento del Cauca.

Materiales y métodos

Área de estudio

La unidad de análisis de la investigación se localiza en el municipio de Popayán, subcuenca río Las Piedras que forma parte de la red hídrica de la Gran Cuenca Cauca, departamento del Cauca, con coordenadas Longitud: -76,454444 y Latitud: 2,435523 (Fig. 1). El rango altitudinal está entre los 1980 y 3800 msnm y su extensión es de 6596 hectáreas, de acuerdo a la delimitación morfométrica realizada con el Modelo

Digital de Terreno (MDT) de GeoSAR con una resolución de 5 m píxel, obtenido a partir de la colección de datos abiertos de NASA Earthdata (2017).

Revisión documental

Se destaca la consulta documental de los resultados obtenidos durante el proceso de manejo ambiental realizado a lo largo de 27 años en la subcuenca, a través de los diferentes proyectos ejecutados en coordinación con instituciones y comunidad y por trabajos directos de las

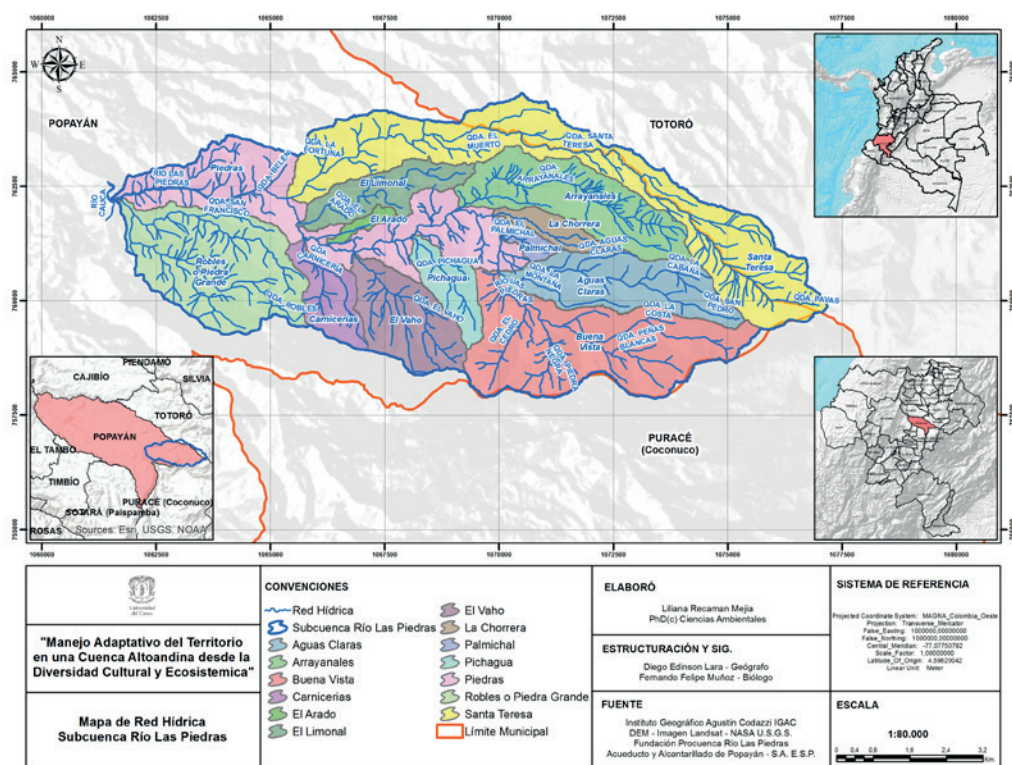


Figura 1. Localización y red hídrica de la subcuenca río Las Piedras.

organizaciones sociales representados en campesinos de la Asociación Campesina - Red de Reservas Municipio de Popayán (Asocampo), Asociación de Productores de Quintana (Asoproquintana) y comunidades indígenas de los cabildos de Quintana y Puracé pertenecientes a la red de custodios de semillas y al sistema de alertas agroclimáticas tempranas participativas.

De otra parte, se consultó el análisis de resultados de diferentes proyectos ejecutados a través instituciones, programas y agencias de cooperación internacional como: Fundación Pro Cuenca Río Las Piedras, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, Alcaldía Municipal Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Programa Conjunto de las Naciones Unidas, Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) y el Programa para el Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria para América Latina (CCAFS).

Caracterización de coberturas de la tierra

Para la caracterización de las coberturas de la tierra se utilizó la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 (IDEAM, 2010). Se utilizaron como insumo para la clasificación de coberturas las imágenes satelitales Landsat y se tuvo como medio de verificación de coberturas las imágenes Sentinel 2015 y Rapideye 2014. Se utilizaron categorías de asociación de coberturas tomadas de CORINE como el mosaico de cultivos, pastos y espacios

naturales y se rectificaron las unidades con puntos de control establecidos en los recorridos de campo.

Clasificación supervisada

Para la clasificación de coberturas de la tierra se utilizó la extensión ArcGIS Spatial Analyst en el software ArcGIS versión 10.5. Para identificar las coberturas CORINE Land Cover, se utilizó una abreviatura para la visualización de convenciones en gráficos de la siguiente manera: Bosque Abierto (BA), Bosque Denso (BD), Bosque Fragmentado/ Galería Ripario (BF/GR), Herbazal Denso (HD), Laguna (Embalse) (LAG), Mosaico de Cultivos Pastos y Espacios Naturales (MCPEN), Pastos Limpios (PL). Cabe resaltar, que el mapeo de la cobertura terrestre utilizando percepción remota ha permitido desarrollar investigaciones científicas sobre el comportamiento de la cobertura de la tierra (Pinos-Arévalo, 2016; Ma *et al.*, 2017), como es el caso aplicado a la dinámica de boques y pastos que se evidencia en la subcuenca río Las Piedras.

Análisis de cambios de coberturas

Para analizar y medir el índice de cambios de coberturas de la tierra se utilizó el Modelador del Cambio de la Tierra (Land Change Modeller: LCM) del Centro de Recursos Idrisi España (2004). De esta manera espacializar el cambio potencial de coberturas e identificar ganancias y pérdidas en un periodo determinado, como lo argumentan investigaciones detalladas sobre la aplicación de modelos para medir el cambio de coberturas y usos del suelo (Bax

et al., 2016; Leija-Loredo *et al.*, 2016; Olmedo *et al.*, 2015, Wang *et al.*, 2016). Para realizar el análisis de cambios el LCM se utilizó la clasificación de las imágenes satelitales de dos o más temporalidades, realizando una interpolación entre la clasificación de una imagen en dos periodos diferentes que arroja mapas, gráficos e informes (Adedeji *et al.*, 2015; Clark Labs, 2012; Eastman, 2012; Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2016; Muñoz-Gómez *et al.*, 2018; Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017; Rawat y Kummur, 2015; Senisterra *et al.*, 2015; Uddin *et al.*, 2015).

Se tuvo en cuenta la información del primer Plan de Manejo de la subcuenca río Las Piedras ejecutado en 1990 (CVC, 1990) y las adiciones realizadas en el Plan de Manejo del año 2006 (CRC, 2006). Adicionalmente, se relaciona un análisis del conflicto por tenencia de la tierra y su relación con el manejo de la subcuenca (Recaman-Mejía, 2007). Cabe resaltar que esta información de cartografía temática se relacionó a su vez con el análisis de las prácticas de manejo del territorio que las comunidades implementan, definiendo en ellas una evolución en la que se adoptan buenas prácticas de adaptación ante los fenómenos de variabilidad climática y prácticas negativas, que aún persisten y podrían afectar la estabilidad futura de algunas zonas. Para el análisis de los cambios en la tenencia de la tierra se realizó la vectorización digital de la información predial de 1989 y 2016, a partir de las planchas heliográficas adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), informes institucionales, entrevistas con actores sociales e investigación en el territorio.

Prácticas de adaptación

Para abordar los procesos de adaptación en el territorio se consideraron tres hitos históricos.

El primero corresponde al estudio de vulnerabilidad realizado en el proyecto “Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano cuenca Cauca”, del Programa Conjunto de Naciones Unidas durante el período del 2008 al 2011. En este artículo se retoman los resultados del análisis de vulnerabilidad del territorio de la subcuenca río Las Piedras, especialmente la vulnerabilidad climática, la cual fue determinada de manera cualitativa por los actores sociales e institucionales, relacionando la combinación de la sensibilidad de los sistemas productivos, agua y áreas naturales y su capacidad para manejar sus impactos, así mismo, la definición de una ruta de adaptación.

El segundo hito corresponde a la reflexión sobre cómo la vulnerabilidad climática influye en la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y ambientales. Este análisis se realizó durante 2012 con el Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca, con la participación de estudiantes del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca, funcionarios del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la Fundación Procuenca Río Las Piedras y actores campesinos de la Red de Reservas de la Sociedad Civil de Popayán (Asocampo).

El tercer hito corresponde al período entre 2012 y 2016, cuando se adelantaron proyectos con el apoyo de cooperación internacional como la Agencia de Cooperación Alemana GIZ; Programa para el Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria para América Latina (CCAFLS); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la articulación interinstitucional de la Fundación Procuena Río Las Piedras, el Acueducto y Alcantarillado de Popayán y la participación de algunos sectores comunitarios de comunidades indígenas y campesinas.

En el marco de la investigación doctoral realizada por Recaman-Mejía (2017) sobre el enfoque del manejo adaptativo del territorio, se analizaron las prácticas de adaptación de mayor relevancia para las comunidades a partir de la percepción comunitaria de acuerdo a sus conocimientos y experiencias, que generaron cambios asociados a las coberturas de uso, gestión del riesgo y que han permitido una mayor sostenibilidad en la regulación hídrica del socioecosistema. La metodología utilizada fueron los intercambios culturales, que permitieron identificar y unificar criterios en la selección de prácticas y construir una línea de tiempo donde se identificaron los principales hitos históricos de transformación territorial, complementados por la revisión y análisis documental. Para el desarrollo de este componente se seleccionaron algunas familias para evaluar nueve prácticas de manejo asociadas a la adaptación y conocer los beneficios, barreras y estrategias para

su sostenibilidad. En total se entrevistaron 81 familias entre campesinas e indígenas custodios de semillas que forman parte del Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas Participativas (SAATP). Lo anterior, se integró con el análisis espacio temporal de los cambios de coberturas.

Resultados y discusión

Caracterización de coberturas de la tierra

En las figuras 2 y 3 se muestra el porcentaje de cambio en las coberturas y sus respectivos mapas entre los años 1989 y 2016, donde se observa que para 1989 la cobertura de PL cuenta con un 39,5%, ya que estas zonas estaban dedicadas a la ganadería extensiva y no se asociaban con prácticas de manejo, seguido del BF/GR con 33,1%. Sobre estas zonas de conservación y protección se ejercía una presión permanente para la obtención de leña y habilitación de nuevos potreros para la ganadería, según los valores de disminución de BD que pasaron de 10% en 1989 a 8,7% en 2016, para un porcentaje de disminución de 1,3% en 27 años. De acuerdo al análisis de los documentos del primer plan de manejo de la subcuena en 1990 (CVC, 1990) y entrevistas con actores comunitarios e institucionales, predominaban en mayor porcentaje los pastos, esto como resultado de la ganadería extensiva, estimulada desde la época de la colonia por las grandes haciendas (Recaman-Mejía, 2017).

En la parte alta de la subcuena se observan el BD con el 10% y coberturas de páramo HD ubicadas en el flanco oriental

con el 1,7% de la subcuenca. La actividad ganadera también implicó la limpieza de potreros y presión sobre estas zonas de conservación para la ampliación de la frontera agropecuaria; el BA representaba el 7,9%. Es posible localizar el MCPEN con un 7,7% donde se incluyen huertas caseras, pastos para la ganadería, áreas de protección y recuperación de bosques (Fig. 2). Estas asociaciones de manejo estaban muy ligadas a prácticas culturales tradicionales de las comunidades campesinas e indígenas en las que se tenía producción de cultivos básicos como maíz, frijol, cabuya (fique) y algunos productos de pan coger (Recaman-Mejía, 2017). Por último, se clasificó la laguna (Embalse La Florida 2) con un 0,1% del

porcentaje del área total (6596 ha.), zona construida para la generación de energía con el aprovechamiento de las aguas del río Cauca y dos afluentes del río Piedras.

Los procesos adelantados de manera posterior estuvieron influenciados por hitos históricos de manejo en este territorio, entre ellos se resalta el desarrollo de proyectos piloto con procesos de planificación ambiental que fueron replicados en parcelas familiares, mejorando las acciones de conservación de bosques y ecosistemas de regulación hídrica, incremento en los sistemas productivos y diversificación, mejorando la seguridad alimentaria e inclusión de sistemas silvopastoriles con siembra de especies doble propósito como

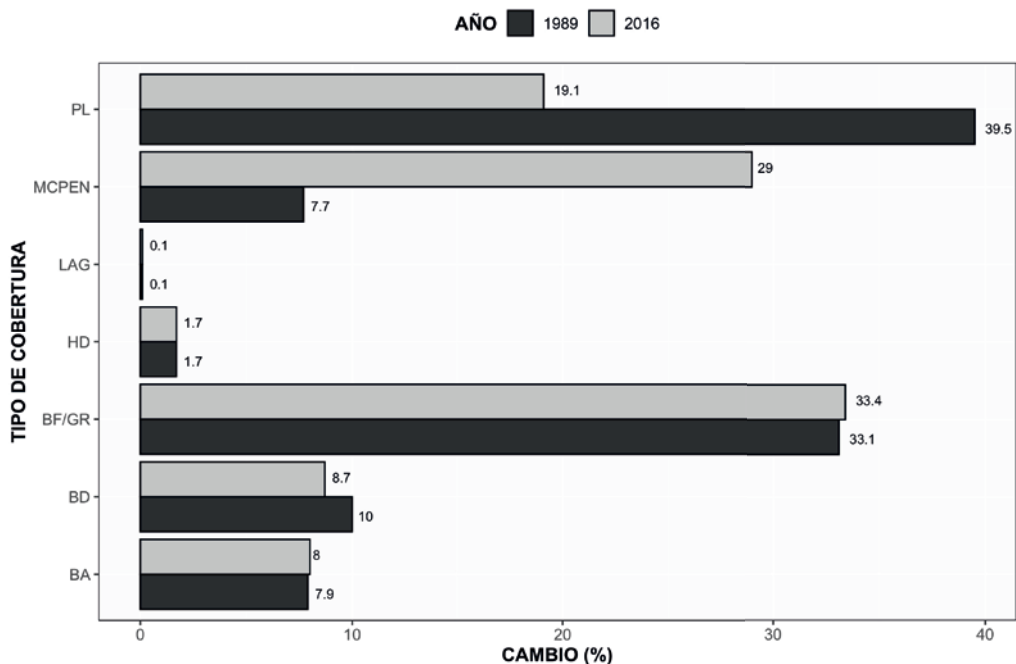


Figura 2. Porcentaje de cambio en las coberturas de la tierra entre 1989 y 2016.

botón de oro (*Tithonia diversifolia*), aliso (*Alnus acuminata*) y acacia negra (*Acacia melanoxylo*), con alternativas de manejo para la ganadería disminuyendo conflictos por el uso del suelo.

Paralelamente se generaron procesos comunitarios que fortalecieron la gobernanza, como la constitución de la red de reservas naturales de la sociedad civil¹; la firma del pacto de paz y convivencia²; la formulación del segundo plan de manejo de la subcuenca³; la participación en la resolución de conflictos por la tenencia de la tierra; ejecución de proyectos definidos a partir de su vulnerabilidad y ruta de adaptación⁴ para la seguridad alimentaria, agua, territorio y gestión del riesgo; desarrollo de proyectos con medidas de adaptación impulsados por el gobierno

local y la cooperación internacional⁵, entre ellos, la estructuración del SAATP; la aplicación de la metodología ASAC⁶ con pilares en seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Se consideraron también los proyectos resultado de la iniciativa propia de las comunidades que permitieron cambios positivos en el manejo del territorio, como las implementadas por los diferentes actores campesinos, propietarios independientes no agremiados y sectores de las comunidades indígenas de la región.

Por otra parte, en las figuras 2 y 3 también se observan los porcentajes de las coberturas para el año 2016, donde predomina el BF/GR con 33,4%, seguido por el MCPEN con 29% ubicado en la parte media y baja de la subcuenca. Luego se encuentran los PL con el 19,1%; con menor predominancia se observan el BA con un 8,7%; BD con 8%, mientras el HD cuenta con 1,7%. Para la cobertura de laguna (Embalse) cuenta con el mismo porcentaje de 0,1% debido a que esta no ha sufrido cambios en el tiempo. Estos resultados se relacionan con la implementación de las diferentes prácticas de conservación (restauración pasiva y activa en áreas de regulación hídrica) e implementación de procesos de

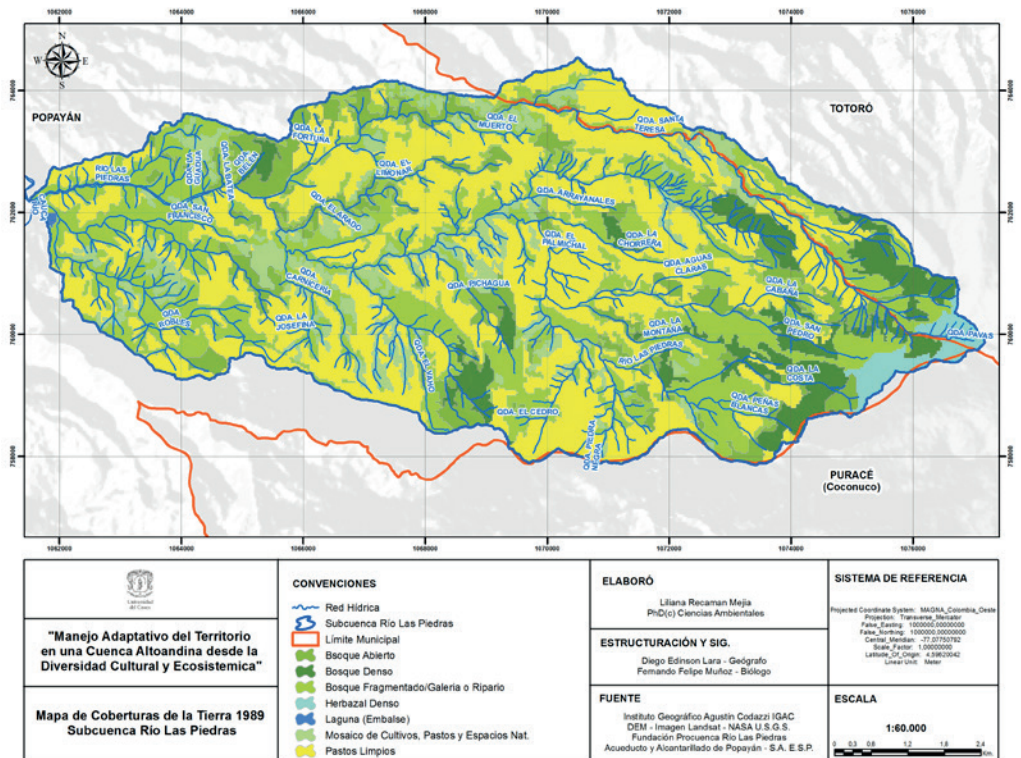
- 1 Red de reservas naturales de la sociedad civil inscritas el 14 de mayo del 2001 por grupos campesinos de Asocampo, integrando 62 reservas entre las subcuencas Piedras y Palacé y dos reservas de propietarios con afiliación al Cabildo Indígena de Quintana.
- 2 El 15 de octubre de 2001, firma del Pacto de Paz y Convivencia, cabildos de Puracé, Quintana, Asocampo y Asoproquintana.
- 3 Formulado entre el 2004 al 2006 de acuerdo al decreto 1729 de 2002.
- 4 Programa Conjunto de Naciones Unidas, proyecto Integración de Ecosistema en el Macizo Colombiano, ejecutado entre 2008 al 2011 definiendo una ruta metodológica de adaptación con tres ejes: comida segura, agua segura, territorio seguro-gestión del riesgo.

- 5 Proyecto del Sistema de Alertas Agroclimáticas Participativas con Custodios de Semillas. Apoyo de La Fundación Procuencia Río Piedras, Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, gobierno nacional a través del IDEAM, Ministerio de Agricultura, GIZ.
- 6 ASAC, Herramienta metodológica con prácticas de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima, implementada por CCAFS.

reconversión productiva, comprendidos por sistemas silvopastoriles, rotación de potreros, manejo de fertilización orgánica, asociación de cultivos con manejo de biopreparados y abonos orgánicos, conservación de semillas nativas, integrados a los procesos de planificación de las parcelas familiares. A este proceso se vincularon en un mayor porcentaje las familias campesinas y en la medida en que los problemas de tenencia de tierra lo permitieron, se vincularon grupos de familias indígenas. De esta manera, es posible determinar que el cambio más representativo del año 1989 a 2016 está dado en el MCPEN, con

una ganancia de 21,3%, aunado a ello el cambio de PL con una disminución de 20,4% (Fig. 2 y 3). Estos datos se corroboran con lo planteado por Muñoz-Gómez *et al.* (2018), quienes evidencian la transformación de los ecosistemas de alta montaña, en especial en las cuencas hidrográficas, por cambios del uso del suelo.

De otra parte, es posible identificar en la Tabla 1 las áreas de presión sobre la cobertura de BA, con un área de cambio que pasó de 662,4 ha en 1989 a 573,2 ha en 2016, para una disminución de 89,2 ha en un periodo de 27 años, mientras el BF/GR



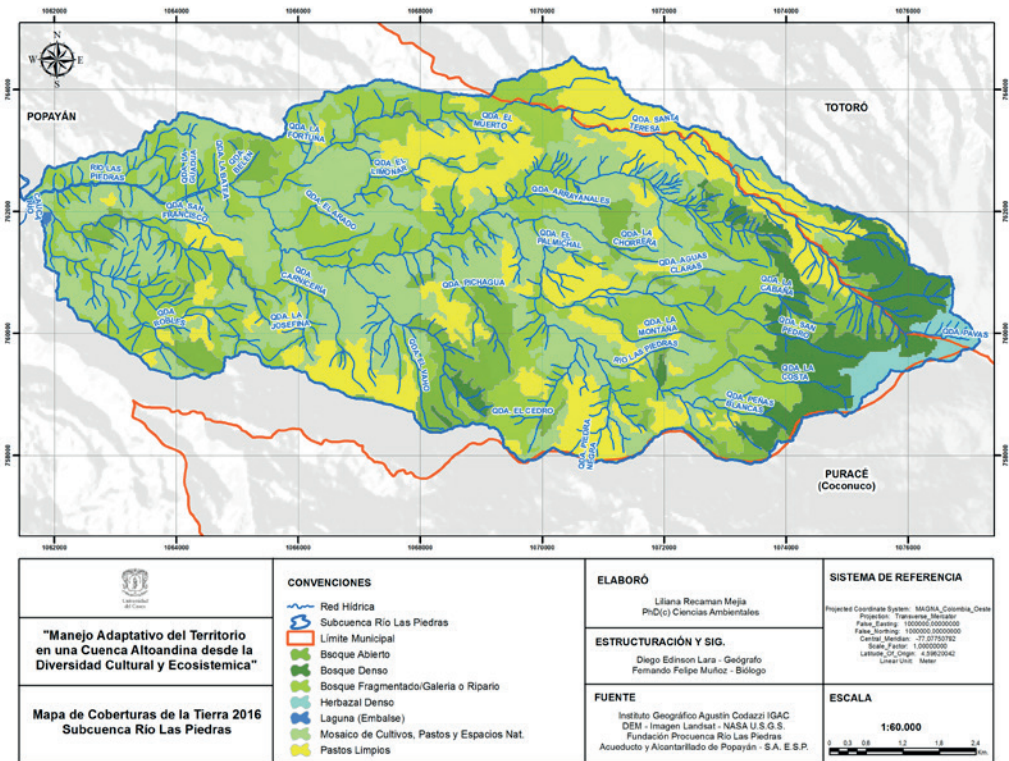


Figura 3. Mapas de coberturas de la tierra 1989–2016 subcuenca río Las Piedras.

pasó de 2182,7 ha en 1989 a 2205,5 ha en 2016 con un aumento de 22,8 ha. Esta situación se presentó en sectores puntuales donde persisten problemas por tenencia de tierra y presiones sobre áreas de protección para el manejo de zonas de pastizales, tala y quema de especies de roble para la obtención de carbón.

En estas zonas los procesos de planificación han tenido baja participación, afectando la sostenibilidad en zonas de conflicto por tenencia de tierras en un periodo superior a 30 años. Por el contrario, se observa el

aumento leve de 4,8 ha en la cobertura de BD entre 1989 y 2016. Igualmente, se evidencia el aumento en la cobertura de HD con 1,4 ha en ganancia. La cobertura de MCPEN tuvo una disminución leve de 1989 a 1999, pero que fue en aumento desde 1999 a 2009 pasando de 507,4 ha a 977,7 ha, con un aumento más significativo de 2009 a 2016 al pasar de 977,7 ha a 1914,6 ha, para un área total de cambio de 1406,1 ha de ganancia durante el periodo de 1989 a 2016. Por su parte, la cobertura de PL tuvo una disminución fuerte de 1345,7 ha durante los 27 años analizados, cambio suscitado por el aumento del MCPEN.

Tabla 1. Dinámica de coberturas en hectáreas (ha.) durante el periodo 1989 – 2016. (-) Disminución; (+) Aumento.

Cobertura	1989	1999	2009	2016	1989 – 2016
BA	662,4	589,2	579,8	573,2	- 89,2
BD	524,3	535,1	572,5	529,1	+ 4,8
BF/GR	2182,7	2073,1	2575,9	2205,5	+ 22,8
HD	110,0	111,4	111,4	111,4	+ 1,4
LAG	3,4	3,4	3,4	3,4	0,0
MCPEN	508,5	507,4	977,7	1914,6	+ 1406,1
PL	2604,7	2776,5	1775,3	1259,0	- 1345,7

De acuerdo a lo expuesto, se explica como la dinámica del cambio de coberturas demuestra que a pesar de que existen zonas donde se mantiene una fuerte presión sobre los ecosistemas evidenciado en la disminución del BA y el aumento del BF/GR, se evidencia la existencia de zonas de recuperación representado en el aumento significativo del MCPEN y un leve aumento en el BD, relacionado con la notable disminución de los PL, que sustentan que a través de los procesos de planificación ambiental las familias potencializan sus sistemas productivos pero sostienen y amplían sus coberturas de protección. Este análisis permite destacar la contribución de las tecnologías geoespaciales durante un periodo determinado, espacializando la recuperación de áreas de bosques frente a coberturas de pastos que ejercen presión sobre los ecosistemas (Balthazar *et al.*, 2015; Tadesse *et al.*, 2017).

En el análisis desarrollado, se suman los fenómenos de variabilidad climática a las dinámicas de transformación y cambio. La subcuenca cuenta con una estación limnimétrica operada por el IDEAM⁷, sus resultados arrojan que el caudal medio histórico entre 1969 y 2016 es de 2,42 m³/seg. Este caudal ha permitido mantener la demanda para la ciudad de Popayán con un aporte al sistema de abastecimiento del 67%. Sin embargo, durante este periodo se han presentado fenómenos de variabilidad climática con 17 fenómenos del niño y 13 de la niña. Durante 2015 el fenómeno del niño tuvo una duración de 19 meses, siendo este el más extenso desde 1969. Esta situación se enfatizó en los procesos de planificación y gestión orientados a prácticas de adaptación y seguimiento a través de la red de monitoreo del clima local, instalando estaciones de

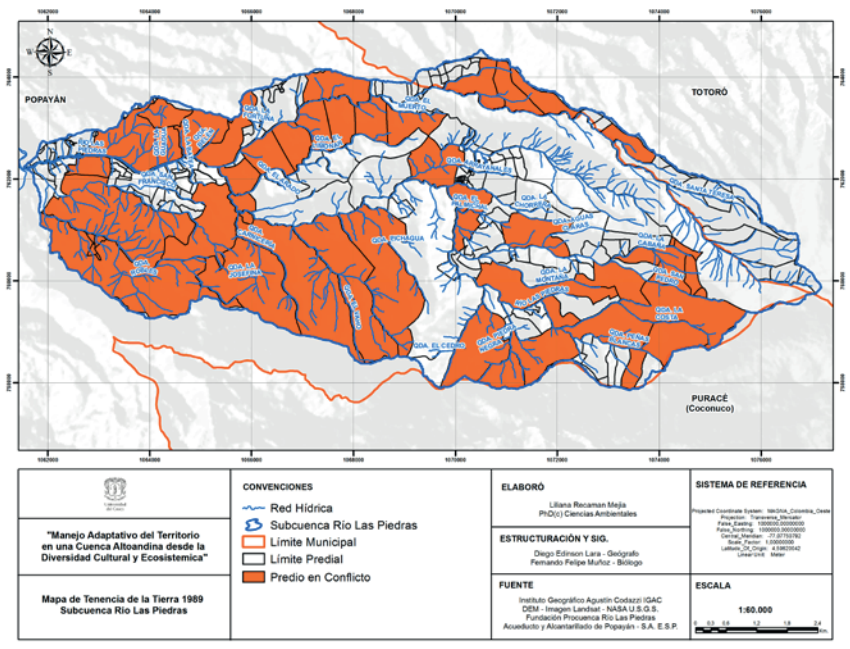
7 Estación limnimétrica puente carretera con código 26017040 con información de caudales desde 1969.

bajo costo operadas por las comunidades e integrando esta información a las mesas agroclimáticas locales para definir pronósticos, recomendaciones para los sistemas productivos y de gestión del riesgo; esta experiencia evidenció el encuentro entre el conocimiento local (endógeno) y el científico para la toma de decisiones ante los efectos de la variabilidad climática y la puesta en marcha de medidas de adaptación con un enfoque del manejo adaptativo del territorio.

Conflicto sobre la tenencia de la tierra, 1989 - 2016

En 1989 el territorio estaba sometido a una fuerte dinámica por conflictos territoriales entre comunidades indígenas, campesinas y propietarios particulares, situación que

aumentó entre 1999 y 2005, sin embargo, las negociaciones entre el gobierno nacional, actores comunitarios indígenas, comunidades campesinas y propietarios particulares, permitieron la disminución de esta problemática el avance en el manejo de la planificación ambiental. La firma del Pacto de Paz y Convivencia, como referente en la negociación y ejemplo de gobernanza en el territorio fue crucial. Entre los años 2007 y 2011 se avanzó significativamente en nuevas soluciones, favoreciendo a las comunidades indígenas y algunas familias de Asoproquintana por la compra de sus tierras. Este proceso de cambio en la resolución de conflictos permitió a su vez mejorar la intervención a nivel interinstitucional y dio paso a nuevas concertaciones para la gestión (Fig. 4 y Tabla 2).



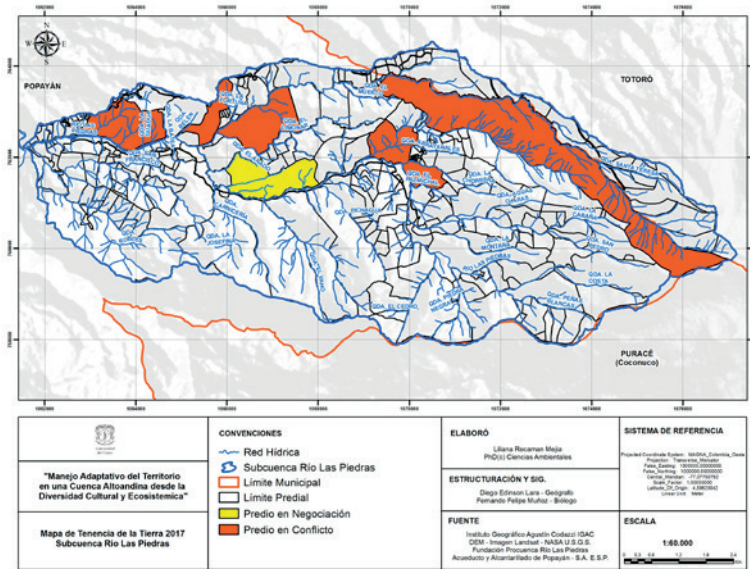


Figura 4. Mapas de predios en conflicto por tenencia de tierras 1989-2016 subcuenca Río las Piedras.

Para 1989 se identificaron 47 predios en conflicto de tenencia con área de 3586,1 ha que representaban el 54,4% del área total de la subcuenca, demostrando la fuerte presión sobre el territorio. En 2016 el conflicto disminuyó significativamente, quedando en 1129,9 ha equivalentes al 17,1%. Actualmente estos predios se encuentran en negociación entre el gobierno y las comunidades

indígenas. Si bien el avance fue importante, preocupa que las alternativas para acceder a tierras son limitadas para las comunidades campesinas, manteniendo latente el conflicto. Es por esto que la dinámica de concertación debe ser permanente, considerando a todos los actores sociales y su influencia en la ecología política y de manejo del territorio (Calderón-Contreras, 2013).

Tabla 2. Conflicto tenencia de tierras 1989 - 2016

Año	Número de predios	Área en conflicto (ha.)	Porcentaje en conflicto (%)	Área sin conflicto (ha.)	Porcentaje sin conflicto (%)
1989	47	3586,1	54,4	3009,9	45,6
2016	6	1129,9	17,1	5466,1	82,9

Prácticas de adaptación

De acuerdo al análisis realizado en los tres hitos históricos señalados desde las categorías vulnerabilidad, ruta de adaptación, servicios ecosistémicos y ambientales y medidas de adaptación, se presentan los resultados relevantes para comprender cómo el enfoque del manejo adaptativo del territorio permite integrar procesos y abordar las dinámicas de cambio y transformaciones en un territorio. La gobernanza es el pilar para la sostenibilidad del territorio y evoluciona en la medida en que los actores participen activamente en la toma de decisiones. El intercambio de conocimientos locales (endógenos) y científicos con otros grupos interdisciplinarios afianza la planificación y gestión del territorio, pasando de un simple proceso de participación a una gobernanza adaptativa, la cual permite reunir a las instituciones formales con las informales para comprender, gestionar y resolver problemas ambientales complejos (Schultz *et al.*, 2015; Gunderson *et al.*, 2016).

En el primer hito histórico, el resultado del estudio de vulnerabilidad adelantado por el Programa Conjunto de Naciones Unidas definió cuatro niveles de vulnerabilidad: alto, medio, bajo y muy bajo. Para las veredas de la subcuenca río Las Piedras, se observó que los niveles muy altos se ubicaron en las veredas de la parte alta como Quintana, Santa Teresa y San Ignacio, pues su posición las hace más vulnerables. Los valores medios se tuvieron en las veredas San

Juan, El Canelo y La Laguna, mientras que las veredas Guacas y San Isidro se consideraron con vulnerabilidad baja. El anterior análisis relacionó cada vereda con la sensibilidad a los ejes de análisis, entre los que sobresalen disponibilidad productiva y diversificación, acceso al agua, calidad del agua y las coberturas de protección, a partir de ellas se definió su capacidad de adaptación.

En este estudio se definió una ruta de adaptación construida de manera participativa con los actores sociales comunitarios e institucionales, denominada “Agua Segura, Comida Segura en un Territorio Saludable”. Esta investigación dio inicio como participante del equipo técnico de ejecución de medidas de adaptación en la subcuenca río Las Piedras, lo que permitió establecer sus objetivos con lineamientos sugeridos por parte del personal de expertos. A continuación, se resaltan las principales medidas priorizadas en la ruta de adaptación:

- 1) Manejo adaptativo del territorio: con el fin de disminuir los niveles de vulnerabilidad de la comunidad y disminuir sensibilidad de los ecosistemas a los impactos del cambio climático.
- 2) Comida segura en un clima cambiante: su principal objetivo fue aumentar la capacidad de respuesta local a los impactos de la variabilidad climática en la seguridad y soberanía alimentaria, a través del fortalecimiento de los sistemas de producción tradicional.

- 3) Agua segura en un territorio saludable: orientada a la disminución de niveles de vulnerabilidad a los impactos de la variabilidad climática, ampliando cobertura de agua para uso productivo y humano y mejorar su calidad para proteger la salud de la comunidad.
- 4) Planificación territorial para reducción del riesgo y construcción de un territorio seguro: aumentar capacidad de respuesta para la reducción de los riesgos por amenazas naturales recurrentes asociadas a impactos de la variabilidad climática.
- 5) Fortalecimiento organizativo: esta medida transversal buscó generar apropiación del conocimiento sobre los riesgos y oportunidades del cambio climático, fortalecer la relación entre las instituciones y la comunidad para la toma de decisiones y el ajuste de políticas e instrumentos de planificación con consideraciones de adaptación (Capera, 2011).

En el segundo hito histórico se profundizó en la importancia de los servicios ecosistémicos y ambientales, los cuales surgen para dar respuesta a la crisis ambiental mundial, mediante la concientización ecológica y los cuestionamientos sobre la existencia de límites asociados a la capacidad de soporte y asimilación de la naturaleza, aspecto que aún no se ha integrado en la mentalidad colectiva que cree en la abundancia de recursos y servicios para el consumo de la población (Balvanera y Avalos, 2007; Pérez *et al.*, 2010). La Evaluación de los Ecosistemas

del Milenio (MEA, 2005) define los servicios ecosistémicos y ambientales como aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas, es decir, se convierten en servicios en el momento en que las personas inician su aprovechamiento de forma directa o indirecta. Son beneficios directos cuando hacen referencia a los servicios de aprovisionamiento y de regulación, e indirectos cuando se asimilan a la cultura. Este último servicio ha generado una serie de confusiones de carácter conceptual, ya que se veía como servicios necesarios para producir todos los demás. Debido a lo anterior, existe una tendencia creciente a no considerarlo de forma separada y agruparlo con los servicios de regulación y con las propiedades ecosistémicas (Carpenter *et al.*, 2009).

Los servicios ecosistémicos y ambientales que provee la subcuenca Piedras son posibles gracias a la influencia de ecosistemas de alta montaña y entre sus coberturas se cuenta con herbazal denso que forma parte del complejo del páramo de Guanacas. El páramo es un ecosistema que aporta beneficios como la provisión de agua, regulación hídrica, almacenamiento de carbono atmosférico, diversidad de fauna y flora y provisión de carbón vegetal (IDEAM, 2022). Este corredor tiene influencia en los municipios de Silvia, Inzá, Totoró, Popayán y Puracé del departamento del Cauca. Para el municipio de Popayán provee el caudal necesario para el abastecimiento hídrico de la capital caucana y de nueve acueductos veredales. Sin embargo, los conflictos de uso del suelo y de tenencia de tierra, sumados a los fenómenos de variabilidad climática, hacen que estos ecosistemas sean más

vulnerables. En la Tabla 3 se relacionan los servicios ecosistémicos identificados por las comunidades y los grupos interdisciplinarios de las instituciones, mientras que en la Tabla 4 se relacionan los

principales cambios según sus percepciones en el clima. Los cambios con el agua como servicio ecosistémico de aprovisionamiento y regulación en tres momentos: antes, ahora y futuro (Tabla 5).

Tabla 3. Servicios ecosistémicos identificados por las comunidades y los grupos interdisciplinarios para la subcuenca río Las Piedras.

Funciones ecosistémicas	Categoría		Servicios ambientales
Producción de alimentos	Servicios de base o soporte: regulación de nutrientes, producción primaria, provisión de polinizadores para la reproducción de especies, polinización de flora nativa.	Servicios de provisión	Frutas, verduras, raíces, alimento para alimentos.
Provisión de agua			Agua, agua para riego, manutención de la salud humana.
Producción de combustible			Leña, carbón.
Recursos genéticos			Información genética de flora y fauna.
Recursos medicinales			Plantas medicinales, biocidas.
Recursos ornamentales			Plantas y flores con atributos ornamentales.
Regulación de gases atmosféricos		Servicios de regulación	Captación de carbono, protección de radiación UV, calidad de aire.
Formación de suelo			Mantenimiento de calidad del suelo, acumulación de materia orgánica.
Hábitat			Provisión de una diversidad de hábitats para movimiento y reproducción de especies.
Inspiración cultural y artística		Servicios culturales	Variedad de lugares con valor artístico.
Belleza escénica			Variedad de lugares con valor artístico.
Belleza escénica			Oportunidad para relajarse y satisfacción del espíritu a través de los atributos del paisaje.
Recreación	Variedad de paisajes con oportunidad de actividades recreativas, variedad de paisajes con oportunidades para el desarrollo de ecoturismo y la realización de deportes.		
Ciencia y educación	Oportunidad para realizar estudios científicos, educación y sensibilización ambiental		

Tabla 4. Análisis de transformaciones de acuerdo a las percepciones del clima por parte de la comunidad

Clima	Descripción de las transformaciones
Hace 5 años	El clima varió. Largas temporadas de invierno y largas temporadas de verano.
Hace 10 años	La temperatura aumentó, disminuyeron los vientos, se comenzó a sentir la radiación solar con mayor intensidad
Hace 30 años	Se sabía que las épocas de lluvia y de verano duraban cada una 6 meses, había periodos definidos. El clima era frío, el sol no era tan fuerte, caían granizadas de 1m de altura que se derretían en 15 días, el volcán Puracé tenía nieve, los vientos eran tan fuertes que arrancaban los árboles y se hacían remolinos.
Riesgos y amenazas naturales: incendios e inundaciones	Descripción de las transformaciones
Hace 5 años	Por efecto de largas temporadas de invierno se presentan agrietamientos. En verano se incrementan los incendios por acciones humanas (se quemaron 5ha de bosque).
Hace 10 años	Disminuyeron las inundaciones, presencia de incendios.
Hace 30 años	Grandes crecientes de ríos y granizadas, avalanchas frecuentes, se veía correr el agua por los potreros por altas escorrentías, fuertes tempestades que mataban al ganado, avalanchas arrastraban puentes, en verano fuertes vientos desentechaban casas.

De estos servicios identificados se reconoció mayor valor a la provisión de agua y de alimentos, así como la formación de suelo. La regulación de gases se consideró importante para la captación de carbono. En cuanto a los recursos medicinales, se utilizan plantas de la región para tratar enfermedades y dar manejo a los animales cuando se enferman, lo cual está muy ligado al conocimiento heredado de sus abuelos y padres. El hábitat se relacionó con la provisión de una diversidad de hábitats para movimiento y reproducción de especies, importantes para su conservación; a los pobladores les preocupa las malas prácticas como las quemadas que se convierten en incendios.

De acuerdo a su cosmogonía y espiritualidad, las comunidades valoran los ecosistemas porque contribuyen con la inspiración y el desarrollo de prácticas y expresiones culturales, por ejemplo, la tradicional subida de la Virgen durante el mes de agosto al cerro Puzna. Para las comunidades indígenas los ecosistemas de páramo y los cerros son sitios sagrados y forman parte de los escenarios para sus refrescamientos y armonizaciones. En este escenario, las comunidades reconocen la importancia de la ciencia, la educación y el acceso a ella para hacer sensibilización ambiental, con la condición de que sus conocimientos propios no se utilicen con

finés particulares. De igual forma, existe un gran respeto hacia la confidencialidad y permiso de las comunidades para que el desarrollo de cualquier proyecto sea previamente socializado y una vez aceptado, continúe bajo procesos de concertación, recalcándole a las instituciones que ellas también forman parte de los acuerdos alcanzados en el Pacto de Paz y Convivencia.

En este análisis se integran las descripciones de las principales transformaciones del clima, riesgos identificados y su percepción sobre el agua en la región. Respecto al clima se evidencia que ya su planeación para cultivos no es igual y que los meses de verano e invierno han cambiado. Se presentan lluvias más intensas y veranos más prolongados, lo que ha incrementado la necesidad de mejorar sus prácticas de manejo, pues cada vez se ven más afectados por los fenómenos de variabilidad climática. Considerando el agua como un servicio ecosistémico vital, en la Tabla 5 se presenta la percepción de la comunidad, donde es evidente que cada vez son más frecuentes los cambios y la vulnerabilidad frente al abastecimiento futuro.

En un tercer hito histórico se presentan las prácticas de adaptación, las cuales se relacionan con las estrategias de sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y ambientales y permiten afianzar el manejo adaptativo del territorio. Los servicios ecosistémicos demandan una visión más holística, utilizando un marco de sistema socioecológico que integre el conocimiento desde múltiples

perspectivas (Bennett y Gosnell, 2015), fortaleciendo los intercambios entre el conocimiento local (endógeno) y científico. Cuando hay una ruptura de estos componentes, los servicios ecosistémicos se ven afectados y son vulnerables, especialmente por cambios en el uso del suelo (Burgos *et al.*, 2015) y su impacto en la regulación del recurso hídrico (Locatelli *et al.*, 2017; Muñoz *et al.*, 2017). En este sentido, el análisis de la información sobre el comportamiento social, el uso del suelo, la demanda y las medidas de gobernanza para su seguimiento, implica que el concepto de servicio ecosistémico tiene un vínculo directo entre la biodiversidad y el bienestar humano (Geijzendorffer *et al.*, 2017).

En esta parte de la investigación, se identificaron nueve prácticas de manejo de uso del suelo que han contribuido a mejorar los servicios ecosistémicos como respuesta a perturbaciones de variabilidad climática, eventos de altas precipitaciones, épocas de bajas precipitaciones, fuertes vientos, granizadas, y estrategias de ordenamiento. Se integraron a este análisis los criterios para su priorización como: características de la parcela, facilidad de replicar y adaptar a las actividades productivas de la parcela, propósitos claros y viables, viabilidad económica, uso de tecnologías apropiadas, comportamiento climático local, parcelas multipropósito, sostenibilidad técnica, articulación del conocimiento tradicional, técnico y científico, contar con recursos de la región, ser aceptado y adoptado por el agricultor.

Tabla 5. El agua como servicio ecosistémico y la visión comunitaria

Agua	Antes	Ahora	Futuro
Épocas de mayor escasez (mes, año)	1970 a 1971: verano 1975: verano, invierno 1998: por el fenómeno del niño en los meses de junio, julio, agosto, septiembre. 2003 – 2007: Hace 10 años había más agua. En tiempo de verano no escaseaba. Hasta los años 1990 el agua se mantenía.	A nivel de región no. A nivel de país si. No hay escasez. 2011-2012: el fuerte verano disminuyó el caudal del recurso.	Es impredecible de 15 a 20 años. En 10 años en las partes altas el agua se profundizará y en las partes bajas se mantendrá con un nivel bajo. A 20 años escaseará si los sectores sociales no toman conciencia del cuidado de los recursos naturales.
Épocas de mayor cantidad de lluvias (mes, año)	1995: abundancia de agua que ocasionaba crecientes. 1997-2000: hubo muchos derrumbes. 2004 – 2005 – 2008: fenómeno de la Niña. 2010: marzo – diciembre	2007, 2008 – 2010: febrero, marzo, abril, mayo. 2013: se han presentado bastantes.	A 10 años si los actores sociales toman conciencia ambiental habrá abundancia. 2025: habrá mayor conciencia ambiental, mayor número de áreas conservadas. 2028: se pueden presentar años en los que haya temporadas más fuertes con más lluvias o días más secos.
Usos (recreativos, extracción, material, producción agrícola, domésticos, etc.)	Se usaba para el ganado, lavaban ropa en el río, no se utilizaba riego por que las siembras se hacían de acuerdo al calendario. En los años 1950 se utilizaba el agua para mover un molino y procesar el trigo. Uso doméstico a través de canal abierto (nacimient – río).	En algunas viviendas hay acueducto (soluciones de agua, agua no tratada) en otras continúa con canal abierto. Riego de potreros, bebederos. En la parte baja del puente del río Piedras la gente de la ciudad viene a bañarse y a cocinar y no estamos de acuerdo con esta actividad. La piscifactoría El Diviso y otras aprovechan el agua para el cultivo de trucha.	Acueductos con aguas tratadas. Canal abierto por tubería, uso controlado. Tanques de almacenamiento. Sistema de cosecha de agua lluvia. Reutilización del agua. Filtros. Saneamiento básico sin contaminar nacimientos y quebradas por vertimiento de aguas negras.
Acceso al agua	Canal abierto.	Cuentan con nueve acueductos veredales y solución de agua para usos múltiples. Tres acueductos cuentan con sistemas de filtración lenta, los otros tienen aguas no tratadas. Otras familias continúan con canal abierto.	La cobertura de agua se extiende a todas las veredas con tratamiento. Se mejoran las soluciones de agua (tubería, mangueras, tanques de almacenamiento).

Las prácticas priorizadas fueron: 1) protección y conservación de fuentes de agua; 2) biopreparados para el control de plagas, enfermedades y disminución de problemas de contaminación; 3) conservación de semillas nativas ; 4) asociación de cultivos; 5) sistemas de alertas tempranas participativas; 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos móviles; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno, 8) riego por goteo o microaspersión; 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple.

Las familias participantes en este estudio consideran que los principales beneficios de las prácticas se han reflejado en una mejor oferta hídrica, excedentes de producción, mejoramiento de la seguridad alimentaria y optimización del manejo y espacio de su parcela. Es por esto que la práctica 1) protección y conservación de fuentes de agua, ha sido fundamental para la sostenibilidad de los procesos de conservación de los servicios ecosistémicos y ha permitido mayor sostenibilidad a los caudales de abastecimiento en la región, tanto en sus acueductos veredales como en soluciones de agua para el desarrollo de sus sistemas productivos, de igual manera para el abastecimiento en la ciudad de Popayán. En cuanto a las barreras, el factor económico influye en el mantenimiento y la implementación de las prácticas, seguida por la dificultad para la obtención de materiales, equipos e infraestructura.

Otra barrera representativa son los efectos de la variabilidad climática sobre los sistemas productivos.

Es de resaltar que la práctica 2) biopreparados para el control de plagas, enfermedades y disminución de problemas de contaminación, genera beneficios para la comunidad, siendo los más importantes la calidad del agua y de los alimentos, el ahorro de dinero y la no utilización de agroquímicos y beneficios en la salud, evitando enfermedades por el uso de químicos. El aprovechamiento de los biopreparados ha permitido mejorar los cultivos asociados y la siembra de semillas nativas y adaptadas para la seguridad alimentaria de las familias. Por otra parte, la práctica que presenta mayor cantidad de barreras para su implementación es la 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos para el manejo del ganado, por los costos de mantenimiento; sin embargo, les ha permitido liberar áreas para la conservación. Cuando esta práctica se implementa, se habilita un sistema para mejorar el uso del agua a través de bebederos ecológicos móviles, evitando el pisoteo del ganado en los nacimientos de agua y zonas riparias. De esta forma, los propietarios de las parcelas acuerdan liberar áreas de conservación o para regeneración natural, mejorando y optimizando el uso del predio. Adicionalmente se incluye en este manejo la siembra de sistemas silvopastoriles y mejoramiento de pastos. Las familias que han implementado esta práctica de reconversión productiva han

mejorado su producción, disminuyendo conflictos de uso del suelo, mitigando la presión y sobrepastoreo y la ampliación de coberturas de pastizales en zonas de protección como nacimientos de agua, humedales y relictos de bosque. Cabe aclarar que estas medidas han formado parte de las estrategias de planificación de las entidades y el apoyo financiero para su implementación ha sido clave. Lo anterior está asociado a los cambios de cobertura en los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Las prácticas que poseen menor cantidad de barreras corresponden a 5) sistemas de alertas tempranas participativas; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno; 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple, para las cuales los costos de implementación, la variabilidad climática y el desconocimiento son los aspectos limitantes. El sistema de alertas tempranas participativas ha permitido planificar y conocer el clima local, tomar decisiones oportunas y mejorar las acciones de adaptación frente a la gestión del riesgo. Con esta práctica se generaron espacios de análisis entre comunidades e instituciones a través de las mesas agroclimáticas, con el fin de mejorar la prevención ante los fenómenos de variabilidad climática, identificando eventos, pronósticos climáticos y medidas de adaptación. Estos resultados de prácticas de adaptación son un claro ejemplo de lo que representa el fortalecimiento de los

sistemas socioecológicos, respondiendo al cambio, a los nuevos desafíos y a la toma de decisiones (Schultz *et al.*, 2015); de ahí que deben ser integradas a las nuevas propuestas de manejo del territorio, considerando los socioecosistemas y sus servicios, optimizando su gestión (Allen *et al.*, 2011; Bennett y Gosnell, 2015; Pérez-Campuzano *et al.*, 2016; Williams, 2011).

Es importante la evaluación periódica del socioecosistema, ya que en la medida que los procesos de conservación sigan siendo de interés para los actores sociales de un territorio, deben incorporarse a los ejercicios de gobernanza y a componentes de investigación que evidencien indicadores de sostenibilidad, integrándolos a la valoración de los servicios ecosistémicos y ambientales. Los indicadores son herramientas para comunicar la información científica y técnica entre diferentes usuarios y para transformar la información en conocimientos procesable hacia la sostenibilidad (Shafiei *et al.*, 2022). Al respecto, Wright *et al.* (2020) analizan la importancia de la ciencia en la toma de decisiones como una herramienta valiosa para enfrentar los problemas de conservación, ajustada metodológicamente de acuerdo a las particularidades de cada objetivo. Los problemas de conservación son inherentemente complejos, en parte porque las decisiones políticas y de manejo no están restringidas únicamente por los recursos financieros, sino también a otros factores como

intereses de las partes involucradas, incertidumbre del sistema y estructuras de gobernanza complejas (Folke *et al.*, 2003). Así mismo, es necesario integrar el área de las ciencias sociales, para comprender y cuantificar los valores y objetivos de las partes interesadas, y así construir planteamientos teóricos más amplios que expliquen la percepción y comportamiento de los actores que conducen a desafíos de implementación.

Las prácticas implementadas se han replicado en otras fuentes de abastecimiento como Palacé, Molino, Pisojé y sectores de la cuenca Cauca. Asimismo, se ha generado una red de custodios de semillas y un esquema de monitoreo climático a través del sistema de alertas agroclimáticas participativas.

Conclusiones

Esta investigación en la subcuenca río Las Piedras, demuestra que las familias que han conservado sus ecosistemas de regulación responden mejor ante los eventos de variabilidad climática, manteniendo sus sistemas de abastecimiento y registran menos daños en sus sistemas productivos, contrario a algunas familias que no asumen los sistemas de planificación y realizan prácticas inadecuadas en el uso del suelo con afectación a las zonas de coberturas de protección por la tala de árboles para ampliación de pastizales y obtención de carbón, quemas y bajos niveles de producción para su seguridad alimentaria,

siendo más afectadas en períodos de variabilidad climática. Generalmente son actores sociales de bajo compromiso y participación para asumir cambios que buscan beneficios en los proyectos, pero no mantienen los procesos. Las dinámicas sociales del territorio han sido fundamentales para mejorar en muchos aspectos y así se mantienen procesos de gobernanza tan importantes como el Pacto de Paz y Convivencia entre cuatro actores sociales, la red de reservas de la sociedad civil y la red de custodios de semillas asociados al sistema de alertas tempranas participativas, quienes continúan asociando las prácticas de adaptación al desarrollo productivo de la región y a la sostenibilidad de sus servicios ecosistémicos.

De acuerdo a los resultados de manejo en las coberturas del suelo, es posible determinar que el cambio más representativo entre los años 1989 y 2016 se evidencia en el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales MCPEN, asociado a los mecanismos de planificación con las prácticas 1) protección y conservación de fuentes de agua; 4) asociación de cultivos; 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos (móviles) para el manejo del ganado; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno y 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple, logrando una ganancia de 21,3%, sumado al cambio de PL correspondiente a pastos limpios con una disminución de 20,4%. Las áreas de presión sobre la cobertura de Bosque

Abierto BA, con un área de cambio que pasó de 662,4 ha en 1989 a 573,2 ha en 2016, tuvo una disminución de 89,2 ha en un periodo de 27 años, mientras el Bosque Fragmentado/ Galería Ripario BF/GR pasó de 2182,7 ha en 1989 a 2205,5 ha en 2016 con un aumento de 22,8 ha; las pérdidas de coberturas se presentaron en sectores donde persisten problemas por tenencia de tierra y presiones sobre áreas de protección para el manejo de zonas de pastizales, tala y quema de especies de roble para la obtención de carbón y donde las prácticas de planificación no han sido sostenidas.

Es concluyente que en la medida que el conflicto de tenencia de tierra no reciba manejo, la sostenibilidad de las coberturas será cada vez más difícil. Si bien se ha avanzado, como lo demuestran los resultados, durante 2016 el conflicto disminuyó significativamente, quedando en 1129,9 ha. equivalente a un 17,1%. Para el momento de esta investigación, los predios en disputa se encuentran en negociación entre el gobierno y las comunidades indígenas. Si bien es clave el avance, es preocupante cómo para el sector campesino son limitadas las alternativas para acceder a tierras que demandan para sus comunidades, manteniendo latente el conflicto. Es por esto que la dinámica de concertación debe ser permanente y sostenida en el tiempo, considerando sus actores sociales y su influencia en la ecología política y de manejo del territorio.

En cuanto al abordaje de la gestión del riesgo, este ha mejorado gracias a la implementación de prácticas que contribuyen a una mejor organización para la toma oportuna de decisiones frente a fenómenos de variabilidad climática. El sistema de alertas agroclimáticas participativas y su integración con la red de custodios de semillas ha sido clave para el fortalecimiento organizativo de sus actores sociales e institucionales, incidiendo en la gobernanza adaptativa. Actualmente se fortalece esta práctica con la puesta en marcha del proyecto ENANDES desarrollado con el IDEAM y aliados locales como la Fundación Procuena Río Las Piedras, con acompañamiento de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), logrando su implementación en la subcuenca Piedras y en las otras fuentes de abastecimiento de la ciudad de Popayán como Palacé, Molino, Pisojé y sectores de la Subcuenca San Francisco de la Cuenca Cauca.

En la medida en que los sistemas socioecológicos sean abordados de acuerdo a sus particularidades e interacciones con el territorio, se podrá entender y abordar las dinámicas de cambio y transformación, asimismo, mejorar los procesos articulados y concertados entre comunidades e instituciones que contribuirá en los procesos de planificación y gestión, afianzando la gobernanza y la gestión del riesgo a través de la adaptación con un mayor impacto en el manejo de los servicios ecosistémicos y ambientales.

Referencias

Adedeji, O. H., Tope-Ajayi, O. O., y Abegunde, O. L. 2015. Assessing and predicting changes in the status of Gambari forest reserve, Nigeria using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Geographic Information System*, 7(3): 301–318. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.73024>

Allen, C. R., Fontaine, J. J., Pope, K. L., y Garmestani, A. S. 2011. Adaptive management for a turbulent future. *Journal of Environmental Management*, 92(5):1339–1345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.019>

Balvanera, P., y Avalos, H. C. 2007. Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta Ecológica*, 84, 117–122.

Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., y Lambin, E. F. 2015. Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological indicators*, 48: 63–75. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043>

Bax, V., Francesconi, W. y Quintero, M. 2016. Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 29: 79–88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.12.002>

Bennett, D.E. y Gosnell, H. 2015. Integrating multiple perspectives on payments for ecosystem services through a social–ecological systems framework. *Ecological Economics*, 116, 2015, p. 172–181. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.019>

Burgos, A. 2011. Aplicación del enfoque de Manejo Adaptativo de los Recursos Hídricos (AWRM) a nivel local-comunitario en Núcleos Agrarios de Cuencas Rurales del Trópico Seco en Michoacán. Pp: 323–329. Memorias | II Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 464 pp.

Burgos, A. L., Bocco, G., y Ramírez, J. S. 2015. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Fundación Río Arronte. México, D.F. 308 pp.

Calderón-Contreras, R. 2013. Ecología política: hacia un mejor entendimiento de los problemas socioterritoriales. *Economía, Sociedad y Territorio*, 13(42): 561–569. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11126608009>

Capera, L. C. 2011. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del río Cauca. Programa de Integración de ecosistemas y adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. IDEAM, Popayán. 100 pp.

Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., Defries, R. S., Díaz, S., S., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H.M. y Perrings, C. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(5), 1305–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106>

Centro de recursos Idrisi España (CRIdrisi). 2004. Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (SIGTE) de la Universidad de Girona. Disponible en: <http://www.sigte.udg.edu/idrisi/index.php/centro-de-recursos-idrisi-espana/>

Chaffin, B. C., Garmestani, A. S., Gunderson, L. H., Benson, M. H., Angeler, D. G., Arnold, C. A., Cosens, B., Craig, R. K., Ruhl, J. B. y Allen, C. R. 2016. Transformative environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 41: 399–423. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085817>

Clark Labs. 2012. IDRISI Spotlight: Land Change Modeler. Clark Labs, Clark University, Worcester. 4 pp.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). 1990. Plan de Ordenación y Manejo Cuenca río Las Piedras. 250 pp.

Corporación Autónoma Regional del Cauca, (CRC). 2006. Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. 456 pp.

Eastman, J.R. 2012. IDRISI Selva Tutorial. Manual version 17. Idrisi Production, Clark University, Worcester. 354 pp.

Felipe-Lucia, M. R., Martín-López, B., Lavorel, S., Berraquero-Díaz, L., Escalera-Reyes, J. y Comín, F. A. 2015. Ecosystem services flows: why stakeholders' power relationships matter. *PloS one*, 10(7): e0132232. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132232>

Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., Daw, T., Folke, C., Hill, R., Hughes, T.P. y Luthe, T. 2015. Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 144-149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>

Folke, C., Biggs, R., Norström, A., Reyers, B. y Rockström, J. 2016. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society* 21(3). Disponible en: www.jstor.org/stable/26269981

Folke, C., Colding, J. y Berkes, F. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. Pp 352-387. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. (Eds.) *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 394 pp.

Geijzendorffer, I. R., Cohen-Shacham, E., Cord, A. F., Cramer, W., Guerra, C., y Martín-López, B. 2017. Ecosystem services in global sustainability policies. *Environmental Science & Policy*, 74: 40-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.017>

Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I. J., Duraiappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M. W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P. M., Keeler, B. L., Li, S., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., Ricketts, T. H., Rockström, J., Tallis, H. y Vira, B. 2015. Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24): 7348–7355. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>

Gunderson, L. H. y Holling, C. S. 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press, Washington, D.C. 507 pp.

Gunderson, L. H., Cosens, B., y Garmestani, A. S. 2016. Adaptive governance of riverine and wetland ecosystem goods and services. *Journal of Environmental Management*, 183, 353–360. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.024>

Gutiérrez-Hernández, O., Senciales-González, J. M., y García-Fernández, L. V. 2016. Evolución de la superficie forestal en Andalucía (1956–2007). Procesos y factores. *Revista de estudios andaluces*, 33(1): 111–148. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11441/48279>

IDEAM. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72 pp.

IDEAM. 2022. Protocolo para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero del sector AFOLU en ecosistemas de alta montaña. Colombia. Bogotá. 151 pp.

Karpouzoglou, T., Dewulf, A. y Clark, J. 2016. Advancing adaptive governance of social-ecological systems through theoretical multiplicity. *Environmental Science & Policy*, 57: 1–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.11.011>

Leija-Loredo, E. G., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores-Flores, J. L., y Sahagún-Sánchez, F. J. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22(1): 125-140. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481>

Levin, S.A. 2001. Immune systems and ecosystems. *Conservation Ecology*, 5(1). Disponible en: www.jstor.org/stable/26271790

Locatelli, B., Lavorel, S., Sloan, S., Tappeiner, U., y Geneletti, D. 2017. Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 15(3): 150-159.

Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., y Liu, Y. 2017. A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130: 277-293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>

Millenium Ecosystem Assessment, (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being. 4 volumes. Island Press, EE.UU. 137 pp.

Muñoz-Gómez, F.A., Galicia-Sarmiento, L., y Pérez, E.H. 2018. Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto andinos de Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1): 15-25. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/1131/932>

Muñoz, G. F., Pérez, E. y Otero, S. J. 2017. Susceptibilidad a la erosión hídrica de suelos en la zona andina del departamento del Cauca Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 26(1), 45-50. Disponible en: <https://doi.org/10.33975/riuq.vol26n1.130>

NASA Earthdata. 2017. NASA Earthdata Open Access for Open Science. Fecha de acceso: 2017 Mar 13. Disponible en: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

Nates, B. C. 2011. Soportes teóricos y etnográficos sobre conceptos de territorio. *Co-herencia: revista de humanidades*, 8(14): 209-229. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/co-herencia/article/view/283>

Odum, H.T. 2007. Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy. Columbia University Press, New York. 418 pp.

Olmedo, M. T. C., Pontius Jr, R. G., Paegelow, M., y Mas, J. F. 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling & Software*, 69: 214-221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.003>

Palomeque-De la Cruz, M. Á., Galindo-Alcántara, A., Escalona-Maurice, M. J., Ruiz-Acosta, S. D. C., Sánchez-Martínez, A. J., y Pérez-Sánchez, E. 2017. Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1): 105-120. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62949072008>

Pérez-Campuzano, E., Ávila-Foucat, V. S., y Perevochtchikova, M. 2016. Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The perceive defects of three environmental programs. *Cities*, 50: 129-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.013>

Pérez, M., Rojas, J., y Ordóñez, C. 2010. Desarrollo sostenible: Principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia. Cali (Colombia): Universidad del Valle-Instituto CINARA. 346 pp.

Pinos-Arévalo, N. J. 2016. Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. Estoa. *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 7-19. Disponible en: <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>

Rawat, J. S. y Kummar, M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1): 77-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>

Recaman-Mejía, L. 2007. Informe de Tenencia de Tierras. Popayán (Colombia). Fundación Pro Cuenca Río Las Piedras. 20 pp.

Recaman-Mejía, L. 2017. Manejo adaptativo del territorio en una cuenca altoandina desde la diversidad cultural y ecosistémica. Tesis doctoral en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales y de la Educación, Departamento de Biología Universidad del Cauca. Popayán. 353 pp.

Schultz, L., Folke, C., Österblom, H., y Olsson, P. 2015. Adaptive governance, ecosystem management, and natural capital. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24): 7369-7374. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1406493112>

Senisterra, G. E., Gaspari, F. J., y Delgado, M. I. 2015. Zonificación de la vulnerabilidad ambiental en una cuenca serrana rural. Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 3(1): 38-58. Disponible en: <http://131.221.1.66/index.php/estudios-ambientales/article/view/38>

Shafiei, M., Rahmani, M., Gharari, S., Davary, K., Abolhassani, L., Teimouri, M. S. y Ghareisifard, M. 2022. Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management*, 316, 115201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201>

Tadesse, L., Suryabagavan, K. V., Sridhar, G., y Legesse, G. 2017. Land use and land cover changes and Soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2): 85-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.004>

Uddin, K., Chaudhary, S., Chettri, N., Kotru, R., Murthy, M., Chaudhary, R.P., Ning, W., Shrestha, S.M. y Gautam, S.K. 2015. The changing land cover and fragmenting forest on the Roof of the World: A case study in Nepal's Kailash Sacred Landscape. *Landscape and Urban Planning*, 141: 1-10

Ulloa A. 2011. Concepciones de la naturaleza en la antropología actual. Pp 25-46. En: Montenegro Martínez L. (Ed.) Cultura y Naturaleza. Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis, Bogotá D.C. 467 pp.

Wang, W., Zhang, C., Allen, J. M., Li, W., Boyer, M. A., Segerson, K., y Silander, J. A. 2016. Analysis and Prediction of Land Use Changes Related to Invasive Species and Major Driving Forces in the State of Connecticut. *Land*, 5(3), 25. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land5030025>

Williams, B.K. 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management*, 92(5):1346-1353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.041>

Wright, A.D., Bernard, R.F., Mosher, B.A., O'Donnell, K.M., Braunagel, T., DiRenzo, G.V., Fleming, J., Shafer, C., Brand, A.B., Zipkin, E.F. y Grant, E.H.C., 2020. Moving from decision to action in conservation science. *Biological Conservation*, 249, p.108698. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108698>