



# Bioeconomía con sentido territorial

Servicios ecosistémicos hídricos  
y gestión comunitaria para una  
transición socioecológica sostenible

(compiladores)  
Cristian Méndez Rodríguez  
Juliana Salazar Benítez  
Apolinar Figueroa Casas

editorial  
**UC**  
Universidad del Cauca



Bioeconomía  
con sentido  
territorial



# Bioeconomía con sentido territorial

Servicios ecosistémicos hídricos  
y gestión comunitaria para una  
transición socioecológica sostenible

---

**Compiladores:** Cristian Méndez Rodríguez, Juliana Salazar Benítez,  
Apolinar Figueroa Casas

**Autores:** Cristian Méndez Rodríguez, Juliana Salazar Benítez,  
Apolinar Figueroa Casas, Diana Marcela Ruíz Ordóñez,  
Juan Diego Otero Sarmiento, Juan Pablo Martínez Idrobo,  
Yady Tatiana Solano Correa, Johana Andrea Sánchez Guevara,  
Alejandro Figueroa Benítez, Margarita Triviño, Viviana Triviño,  
Sandra Patricia Rebolledo Acosta, Rafael Mauricio Padilla Moreno  
y Ricardo Monroy del Castillo.



Editorial Universidad del Cauca

2025

Méndez Rodríguez, Cristian, autor, compilador,

Bioeconomía con sentido territorial : servicios ecosistémicos hídricos y gestión comunitaria para una transición socioecológica sostenible / autores, Cristian Méndez Rodríguez [y otros trece] ; compiladores, Cristian Méndez Rodríguez, Juliana Salazar Benítez, Apolinar Figueroa Casas.

-- Primera edición en español. -- Popayán : Editorial Universidad del Cauca, 2025.  
262 páginas.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN 978-958-732-807-3 (impreso) -- 978-958-732-808-0 (digital)

1. Bioeconomía - Colombia - Siglo XXI - Proyectos 2. Desarrollo sostenible - Investigaciones - Colombia - Siglo XXI 3. Gobernanza - Investigaciones - Colombia - Siglo XXI 4. Ordenamiento territorial - Aspectos socioeconómicos - Colombia - Siglo XXI 5. Colombia - Condiciones rurales - Siglo XXI 6. Colombia - Condiciones socioeconómicas - Siglo XXI I. Salazar Benítez, Juliana, autora, compiladora II. Figueroa Casas, Apolinar, autor, compilador III. Ruíz Ordóñez, Diana Marcela, autora IV. Otero Sarmiento, Juan Diego, autor V. Martínez Idrobo, Juan Pablo, autor VI. Solano Correa, Yady Tatiana, autora VII. Sánchez Guevara, Johana Andrea, autora VIII. Figueroa Benítez, Alejandro, autor IX. Triviño, Margarita, autora

CDD: 333.709861 ed. 23

CO-BoBN- a1159144

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia  
Hecho el depósito legal que marca el Decreto 460 de 1995

*Bioeconomía con sentido territorial:*

*Servicios ecosistémicos hídricos y gestión comunitaria para una transición socioecológica sostenible*

© Universidad del Cauca, 2025

© Compiladores: Cristian Méndez Rodríguez, Juliana Salazar Benítez, Apolinar Figueroa Casas

© Autores: Cristian Méndez Rodríguez, Juliana Salazar Benítez, Apolinar Figueroa Casas, Diana Marcela Ruíz Ordóñez, Juan Diego Otero Sarmiento, Juan Pablo Martínez Idrobo, Yady Tatiana Solano Correa, Johana Andrea Sánchez Guevara, Alejandro Figueroa Benítez, Margarita Triviño, Viviana Triviño, Sandra Patricia Rebolledo Acosta, Rafael Mauricio Padilla Moreno y Ricardo Monroy del Castillo.

Primera edición en español

Editorial Universidad del Cauca, septiembre de 2025

ISBN impreso: 978-958-732-807-3

ISBN digital: 978-958-732-808-0

Diseño editorial: Área de Desarrollo Editorial - Universidad del Cauca

Correctora de estilo: Viviana Andrea Rodríguez Llantén

Diagramación: Francisco Cifuentes Chacón

Diseño de carátula: Francisco Cifuentes Chacón

Imagen de carátula: Generada por IA mediante la herramienta de Freepik

Editor general de Publicaciones: Juan Carlos Pino Correa

Editorial Universidad del Cauca

Edificio Bicentenario, Calle 5 Nro 4-07

Popayán, Colombia

Código Postal 190003

<http://www.unicauca.edu.co/editorial/>



Licencia Creative Commons Atribución – No comercial – Sin Derivar 2.5 Colombia  
(CC BY-NC-ND 2.5 CO)

# Contenido

Prólogo.....	11
Agradecimientos .....	13
Introducción.....	15
Consideraciones iniciales.	
Referentes epistemológicos: Proyecto ‘Bioeconomía 2022-2025’ .....	21
Sistemas socioecológicos –SSE–.....	21
Conocimiento tradicional.....	22
Sistemas complejos.....	22
Servicios ecosistémicos y servicios ecosistémicos hídricos –SEH–.....	23
Bioeconomía .....	24
Referencias.....	25
<b>Parte 1. Bases socioecológicas para la gestión integral del territorio: Agua, suelo, naturaleza y comunidad</b>	
Caracterización socioecológica de los municipios de intervención .....	31
Redes de actores y gobernanza en la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y la bioeconomía frente al cambio climático.....	43
Introducción.....	43
Metodología .....	44
Resultados y discusión .....	44
Conclusiones.....	52
Referencias.....	52
Caracterización socioecológica de los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR– ....	55
Introducción.....	55
Metodología .....	57
Resultados y discusión .....	60
Conclusiones.....	80
Referencias.....	81

Vocación y conflictos por uso y fertilidad de suelos en los agrosistemas priorizados .....	83
Introducción.....	83
Metodología .....	84
Resultados y discusión .....	86
Usos de suelos.....	88
Conclusiones .....	95
Referencias.....	98
Mapas de coberturas para las subcuencas priorizadas y las áreas estratégicas .....	101
Introducción .....	101
Metodología .....	102
Resultados y discusión .....	104
Conclusiones.....	111
Referencias.....	112
Valoración sociocultural: Percepción de los actores locales .....	113
Marco analítico .....	113
Resultados y discusión .....	114
Conclusiones.....	128
Referencias.....	129

**Parte 2. Estrategias de gestión adaptativa para la sostenibilidad:  
Gobernanza, bioeconomía y escenarios de cambio**

Modelos prospectivos que integran el conocimiento y los saberes locales .....	133
Introducción.....	133
Metodología .....	133
Resultados y discusión .....	135
Proyecciones climáticas y percepción comunitaria a veinte años, una convergencia entre el conocimiento local y la ciencia .....	141
Conclusiones.....	145
Referencias.....	145
Análisis de estrategias para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y la bioeconomía .....	147
Introducción.....	147
Metodología .....	148
Resultados y discusión .....	148
Conclusiones .....	156
Referencias.....	156

<b>Hacia una gobernanza sostenible:</b>	
<b>Estrategias de conservación de los SEH y el fortalecimiento bioeconómico .....</b>	<b>159</b>
Introducción.....	159
Metodología .....	160
Resultados y discusión .....	160
Conclusiones.....	167
Referencias.....	168

**Parte 3. De la planificación a la acción: Agrosistemas sostenibles,  
bioeconomía y cadenas de valor para la reactivación del territorio**

<b>Planificación sostenible de fincas:</b>	
<b>Un enfoque participativo que integra principios de bioeconomía .....</b>	<b>173</b>
Introducción.....	173
Metodología .....	174
Resultados y discusión .....	177
Conclusiones.....	187
Referencias.....	188

<b>Estrategia organizacional de los actores en cadenas de valor en torno al uso de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– .....</b>	<b>191</b>
Introducción.....	191
Metodología .....	192
Resultados y discusión .....	196
Propuesta estrategia organizativa: Cadenas de valor y modelos de negocio sostenibles.....	205
Conclusiones.....	209
Referencias.....	209

<b>Implementación de agrosistemas sostenibles:</b>	
<b>Un modelo de participación comunitaria para la soberanía alimentaria y la reactivación productiva .....</b>	<b>213</b>
Introducción.....	213
Metodología .....	215
Resultados y discusión .....	232
Conclusiones.....	247
Referencias.....	248

<b>Conclusiones generales y recomendaciones.....</b>	<b>251</b>
--	------------

<b>Índice analítico .....</b>	<b>255</b>
-------------------------------	------------

<b>Sobre los autores .....</b>	<b>257</b>
--------------------------------	------------



## Prólogo

**E**l agua, la energía, la alimentación y los ecosistemas son pilares fundamentales para la sostenibilidad, especialmente en regiones como el departamento del Cauca, Colombia, donde la interdependencia entre la naturaleza y las comunidades rurales es innegable. La presente obra, fruto del proyecto de investigación ‘Fortalecimiento bioeconómico para la reactivación social y productiva a partir de la oferta de servicios ecosistémico hídricos –SEH– en el contexto del cambio climático y los retos del covid-19, en los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, departamento del Cauca’, se constituye como un esfuerzo académico y comunitario para comprender y potenciar la relación entre los servicios ecosistémicos hídricos, la bioeconomía y la gobernanza territorial. Este libro invita al lector a sumergirse en una reflexión profunda sobre los desafíos y oportunidades que enfrentan los contextos rurales, en un momento crítico para la sostenibilidad global.

Esta obra ofrece un enfoque integral e interdisciplinar para comprender y fortalecer la bioeconomía a partir de la gestión de los SEH, al mismo tiempo que proporciona herramientas conceptuales, metodológicas y acciones clave de intervención, que permitan a los actores locales, tomadores de decisiones, entidades públicas, investigadores y comunidades, enfrentar los desafíos socioambientales de sus territorios. La obra está estructurada en tres secciones, que abordan desde la caracterización socioecológica de las zonas de estudio y las estrategias de gestión adaptativa frente al cambio climático hasta la implementación de cadenas de valor sostenibles. Todo esto, enmarcado en principios de participación comunitaria, procesos de gobernanza, bioeconomía y gestión de los SEH en los territorios.

En un contexto donde los efectos del cambio climático y la crisis sanitaria causada por la pandemia del covid-19 han acentuado las desigualdades rurales, se hace indispensable el desarrollo de estrategias bioeconómicas que integren el conocimiento local con enfoques innovadores para contribuir a la reactivación social y productiva y a la gestión del territorio. De esta manera, el lector encontrará en esta obra un recorrido por diversas estrategias y metodologías que, desde una visión interdisciplinar, abordan la relación entre agua, biodiversidad, seguridad alimentaria e hídrica, SEH, y bioeconomía. Se prioriza la combinación de conocimientos científicos con saberes tradicionales como eje del análisis y la acción, lo cual permite que las propias comunidades sean protagonistas en la construcción de soluciones adaptadas a sus cosmovisiones.

Invito al lector a sumergirse en esta obra con la curiosidad y el compromiso que requiere el desafío de la sostenibilidad. En estas páginas encontrará no solo un compendio de investigaciones y rutas concretas para un futuro más equitativo y sostenible, sino también una invitación a repensar la relación entre el ser humano y la naturaleza desde una mirada integradora, ética y de respeto por los sistemas de vida. Que este libro sirva como una herramienta para la acción y el cambio, en beneficio de las comunidades y los ecosistemas que sustentan nuestra existencia.

Finalmente, quiero expresar mi profundo agradecimiento a las comunidades campesinas e indígenas de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia que hicieron posible este trabajo. Su participación activa, el amor por sus territorios, el respeto por la vida y la naturaleza, su disponibilidad constante y su generosidad para compartir sus conocimientos y saberes fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas y experiencias enriquecieron cada momento y permitieron construir un enfoque verdaderamente participativo y adaptado a las realidades del territorio.

Carlos Enrique Osorio Garcés  
Antropólogo, Magíster en Desarrollo Sustentable y Doctor en Ciencias Ambientales  
Profesor Facultad de Ciencias Humanas y Sociales

Universidad del Cauca

## Agradecimientos

Queremos agradecer a las personas que hicieron posible este libro. En especial, destacamos las valiosas contribuciones tanto de los autores de los capítulos como de quienes los examinaron, comentaron y formularon sugerencias para enriquecerlos.

Asimismo, extendemos un especial reconocimiento a las comunidades rurales de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, quienes dispusieron su valioso tiempo y conocimiento participando activamente en cada una de las actividades del proyecto. Sin su contribución y apoyo no hubiera sido posible obtener los resultados que están aquí plasmados.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Sistema General de Regalías –Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación–, por la financiación del proyecto en el marco de la Convocatoria 11 de 2020, sin el cual este proceso investigativo no habría sido posible. Extendemos también nuestro reconocimiento a la Universidad del Cauca, entidad ejecutora del proyecto, por su compromiso con el desarrollo regional y la articulación entre ciencia, comunidad y territorio. De manera muy especial, agradecemos al Grupo de Estudios Ambientales –GEA–, por su liderazgo y rigurosidad académica en el desarrollo del proyecto, así como por su apuesta decidida por una investigación con sentido social, transformador y territorial.

También queremos extender nuestro agradecimiento a los aliados del proyecto ‘Bioeconomía’: Asociación Campesina Municipio de Popayán Red de reservas naturales –ASOCAMPO–, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Alcaldía de Puracé, Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, por su acompañamiento y disposición de trabajo durante el desarrollo de las actividades del proyecto.

Por último, las opiniones expresadas en este libro, incluidas naturalmente las de sus editores, de ninguna manera comprometen a la Universidad del Cauca, pues la responsabilidad es exclusiva de los investigadores del proyecto, quienes elaboraron cada uno de los capítulos aquí presentados.



## Introducción

**E**l agua es el eje fundamental de la vida y de la sostenibilidad socioecológica en cualquier territorio. En el departamento del Cauca, Colombia, donde los ecosistemas hídricos constituyen el soporte vital de la biodiversidad, la producción agropecuaria y la seguridad y soberanía alimentaria de las comunidades, la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– resulta una necesidad imperante. El origen de esta investigación se remonta al período de la pandemia de 2019, que tuvo efectos a nivel planetario y obligó a diseñar y articular estrategias de acción en el sector rural del Cauca que sirvieran de apoyo a las comunidades. La afectación a la salud causada por el covid-19 llevó a que el Gobierno nacional diseñara, impulsara y ejecutara un conjunto de medidas para contener la transmisión del virus y proteger la vida de los colombianos, siguiendo recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2020) y buenas prácticas internacionales. Sin embargo, esto derivó en una divergencia que afectó el funcionamiento normal de la economía nacional (CONPES 4023 2021).

A lo largo de la historia, el sector rural en Colombia ha enfrentado una serie de problemáticas socioambientales, las cuales se agravaron con el impacto de la pandemia del covid-19 y afectaron su estabilidad económica y social (Fedesarrollo 2021; OIT 2021; PNUD 2021). Según el DANE, en 2018 la población rural del país alcanzaba los 11 millones de personas; es decir, aproximadamente 3,7 millones de familias, de las cuales el 87 % experimentaba dificultades económicas como consecuencia de la crisis sanitaria (DANE 2019a). En el departamento del Cauca, donde más del 60 % de la población es rural (DANE 2019b), campesinos, indígenas y afrocolombianos enfrentan desafíos aún mayores debido a las condiciones de tenencia de la tierra, dadas principalmente en minifundios y microfundios. Esta situación limita el acceso a tecnología, medios de transporte y mercados para la comercialización de sus productos, lo cual profundiza la vulnerabilidad de estas comunidades.

La agricultura ha demostrado ser un pilar fundamental para la reactivación socioeconómica del país, pues genera ingresos en las poblaciones rurales y garantiza la provisión de alimentos y materias primas para las zonas urbanas. No obstante, en el Cauca se ahonda en las brechas derivadas de la precariedad en infraestructura, el bajo acceso a servicios básicos, la limitada conectividad y los problemas de orden público, factores que han reducido los ingresos de las familias y exacerbado las desigualdades. A esto se suma la inseguridad hídrica

en la región Andina del departamento, considerada un área con gran riqueza hidrológica, pero con un “riesgo de amenaza muy alto” (IDEAM 2017), debido a la variabilidad climática y la pérdida de ecosistemas estratégicos. Según la *Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, fenómenos como El Niño y La Niña han impactado negativamente la disponibilidad del recurso hídrico y el sistema alimentario (IPCC 2018). Esto evidencia la necesidad urgente de diseñar estrategias de adaptación y mitigación para enfrentar estos desafíos.

Es así como la inseguridad hídrica en el Cauca representa una amenaza crítica para la mayoría de sus habitantes, quienes dependen en gran medida de la agricultura. Esta amenaza pone en riesgo su sustento, la preservación de sus conocimientos tradicionales y la sostenibilidad de sus territorios. La pandemia del covid-19 agravó drásticamente esta situación: las restricciones de movilidad y transporte impactaron severamente la economía rural y generaron incertidumbre económica para muchos productores, quienes, en un dilema entre salud y estabilidad financiera, enfrentaron una crisis socioeconómica sin precedentes, con afectaciones perceptibles a corto y mediano plazo.

Ante este panorama, es urgente la implementación de medidas y acciones orientadas a la sostenibilidad de la naturaleza, con especial énfasis en el agua como elemento articulador y ordenador de los territorios, mediante el apoyo a la resiliencia de las comunidades rurales. Todo ello, considerando la ventaja comparativa del Cauca, uno de los departamentos más biodiversos y ricos en recursos hídricos del país, que forma parte del Macizo colombiano y es lugar de nacimiento de los ríos Cauca y Magdalena.

De esta manera, resulta primordial interrelacionar el conocimiento tradicional y los saberes locales con el aprovechamiento de la naturaleza, lo cual permitiría que este vínculo se convierta en un motor para la reactivación social, productiva y económica, basado en una ética y responsabilidad socioambiental. En este sentido, la bioeconomía y la política de crecimiento verde (CONPES 4023, 2021) constituyen un marco estratégico para potenciar estas oportunidades, proyectándose como un impulsor del crecimiento empresarial y económico que podría representar cerca del 10 % del PIB nacional hacia 2030. La bioeconomía, entendida como un modelo económico basado en el uso de recursos biológicos –tales como plantas, animales y microorganismos–, busca generar valor agregado a partir de una producción sostenible y de la conservación y restauración de la biodiversidad. Este proceso debe estar soportado en la ciencia, la tecnología, la innovación, el intercambio y el reconocimiento de múltiples conocimientos.

Así, la transición propuesta desde esta investigación se relaciona con la construcción e implementación de estrategias bioeconómicas para la reactivación social y productiva, a partir de la diferenciación ambiental, donde la oferta de servicios ecosistémicos hídricos –SEH– constituya una de las ventajas clave en la región caucana. Para ello, se requiere un abordaje integral basado en tres ejes fundamentales:

1. El análisis de las dimensiones e interacciones socioecológicas relacionadas con la disponibilidad, el uso y el manejo de los SEH, desde un entendimiento holístico, plural e incluyente de los sistemas rurales.
2. La generación de una estrategia de gestión adaptativa, basada en escenarios prospectivos de cambio y variabilidad climática, que integre los conocimientos y saberes locales de las comunidades, así como la articulación entre instituciones y comunidades para orientar mecanismos de gestión como el pago por servicios ambientales –PSA–.
3. La implementación de cadenas de valor para los múltiples usos del agua, fundamentadas en la sostenibilidad de los SEH y adaptadas al contexto de las zonas rurales del departamento del Cauca.

Este libro se desarrolla en tres secciones, en las que se presentan los resultados alcanzados en los ejes mencionados anteriormente. En la primera sección se expone una caracterización socioecológica de las zonas de estudio y se analiza la relación entre los actores locales, las condiciones biofísicas y las dinámicas sociopolíticas y económicas. Asimismo, se realiza un estudio de los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR–, que incluye análisis fisicoquímicos y microbiológicos, colecta de macroinvertebrados, medición de caudales, evaluación ecológica rápida y levantamiento florístico. Adicionalmente, se incorpora un análisis de la calidad del suelo, el estudio de coberturas de las cuencas priorizadas y una valoración integral de servicios ecosistémicos hídricos, lo que proporciona una base científica sólida para el desarrollo de la investigación.

La segunda sección desarrolla una estrategia de gestión adaptativa basada en escenarios de cambio y variabilidad climática. A través de modelos prospectivos y la integración de saberes locales, se generan herramientas para la planificación territorial y la conservación de los SEH. Se examinan también esquemas de pago por servicios ambientales –PSA– como incentivos económicos para la conservación y se plantean lineamientos de gobernanza territorial orientados a garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, la tercera parte explora la implementación de cadenas de valor sostenibles al integrar principios de bioeconomía y participación comunitaria. Asimismo, se presentan experiencias de planificación sostenible de fincas bajo un enfoque participativo, así como estrategias organizacionales y modelos de negocio para la gestión de cadenas de valor en articulación con los SEH. Por último, se expone la experiencia desarrollada en los territorios sobre la implementación colaborativa e inclusiva de agrosistemas sostenibles, la cual contribuye a la soberanía alimentaria e hídrica y a la reactivación productiva de las zonas priorizadas.

La emergencia provocada por el covid-19, sumada a la problemática del cambio climático, ha exacerbado la vulnerabilidad de las comunidades y ha puesto en riesgo la resiliencia de los territorios y el bienestar de sus habitantes. Ante este desafío, y como parte del compromiso que el Doctorado en Ciencias Ambientales –DCA– y el Grupo de Estudios Ambientales –GEA– de la Universidad del Cauca tienen con el territorio, se presenta esta obra como una herramienta para la difusión de conocimiento científico, tradicional y tecnológico, orientada a la toma de decisiones sobre el desarrollo bioeconómico rural y la seguridad hídrica y alimentaria en nuestros territorios. El pleno cumplimiento de los derechos humanos asociados con el agua, la alimentación y la gobernanza constituye un asunto que debe abordarse desde una visión interdisciplinaria, capaz de comprender problemas de alta complejidad.

Para lograrlo, se contó con la participación de investigadores de distintas disciplinas y enfoques, quienes unieron esfuerzos para producir este libro como resultado del proceso investigativo desarrollado en el proyecto ‘Fortalecimiento bioeconómico para la reactivación social y productiva a partir de la oferta de servicios ecosistémicos hídricos -SEH- en el contexto del cambio climático y los retos del covid-19, en los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, departamento del Cauca’.

## Referencias

### CONPES 4023

- 2021 CONPES 4023-Política para la Reactivación, la Repotenciación y el Crecimiento Sostenible e Incluyente: Nuevo compromiso por el futuro de Colombia. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4023.pdf>. (Acceso: 27/11/2024).

### DANE –Departamento Administrativo Nacional de Estadística–

- 2019a Censo Nacional de Población y Vivienda Colombia 2018. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/info-CNPC-2018total-nal-colombia.pdf> (Acceso: 27/11/2024).
- 2019b *Población Departamento del Cauca 2018* [Oficial]. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/19\\_infografia.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/19_infografia.pdf) (Acceso: 12/12/2024).

### Fedesarrollo

- 2021 Tendencia Económica-216 ¿Qué pasó con la pobreza monetaria rural en 2020? Disponible en: [www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4123/TE\\_No\\_216\\_2021\\_En%20%20%C3%ADnea.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4123/TE_No_216_2021_En%20%20%C3%ADnea.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Acceso: 27/11/2024).

- IDEAM –Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales–  
2017 *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Bogotá: PNUD, MADS, DNP, Cancillería de Colombia.
- IPCC –Intergovernmental Panel on Climate Change–  
2018 *Global warming of 1.5 c: An IPCC Special Report on impacts of global warming of 1.5 c above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development and efforts to eradicate poverty*. Nueva York: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- OIT –Organización Internacional del Trabajo–  
2021 *OIT: impulsar el aparato productivo en Colombia protegiendo el empleo, hoy más urgente que nunca*. Bogotá: Organización Internacional del Trabajo.
- OMS –Organización Mundial de la Salud–  
2020 *Nuevo Corona Virus 2019-Orientaciones para el Público*. Disponible en: [www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public](http://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public). (Acceso: 27/11/2024).
- PNUD –Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo–  
2021 *Un año de pandemia: Impacto socioeconómico de la COVID-19 en Colombia*. Disponible en: [www.undp.org/es/colombia/speeches/impacto-socioeconomico-de-la-covid-19-en-colombia](http://www.undp.org/es/colombia/speeches/impacto-socioeconomico-de-la-covid-19-en-colombia) (Acceso: 27/11/2024).



## Consideraciones iniciales. Referentes epistemológicos: Proyecto ‘Bioeconomía 2022-2025’

CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ, JULIANA SALAZAR BENÍTEZ, APOLINAR FIGUEROA CASAS

### Sistemas socioecológicos –SSE–

El enfoque de los sistemas socioecológicos –SSE– surgió formalmente para reconocer al ser humano como parte de la naturaleza (Berkes y Folke 1994). Su argumento plantea que tanto los componentes sociales como los ecológicos son interdependientes y conforman una red indivisible de interacciones y retroalimentaciones no lineales y heterogéneas, anidadas a través de diferentes escalas espaciales y temporales (Anderies *et al.* 2004; Berkes y Folke *et al.* 2000; Folke *et al.* 2005).

Desde la perspectiva de la resiliencia, los SSE son sistemas adaptativos complejos capaces de reorganizarse ante perturbaciones sin perder sus funciones esenciales (Folke 2006). Este enfoque se ha consolidado como un marco conceptual y metodológico clave para abordar las problemáticas ambientales desde una visión holística e interdisciplinaria, que reconoce la inclusión y el codesarrollo de conocimiento entre diferentes actores. En este contexto, se promueven estrategias de gobernanza adaptativa que incorporan la incertidumbre y las condiciones cambiantes a través del aprendizaje social y la participación comunitaria.

Los vínculos entre el sistema social y el ecológico se han hecho más evidentes a partir del reconocimiento de los servicios ecosistémicos –SE–, el bienestar humano, el uso de la naturaleza, los impactos ambientales, la gobernanza y la sostenibilidad (Folke *et al.* 2005; Ostrom 2009; Reyers *et al.* 2013). En este sentido, la gestión sostenible de la naturaleza requiere comprender la complejidad de dichas interacciones, integrando el conocimiento ecológico con las estructuras institucionales y las prácticas de gobernanza. El marco de los SSE ofrece una visión que enriquece la comprensión de las dimensiones y los componentes de los SE, incluyendo las interacciones asociadas con su prestación, en las cuales el agua constituye el eje de integración y transformación de los territorios a

diferentes escalas. Por su parte, la bioeconomía se fundamenta en el uso eficiente de la naturaleza al promover cadenas de valor sostenibles. De esta manera, la integración del enfoque SSE en la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– favorece la resiliencia de los territorios y la sostenibilidad de las actividades productivas basadas en la bioeconomía.

## Conocimiento tradicional

El conocimiento tradicional, también denominado conocimiento ecológico tradicional –TEK, por sus siglas en inglés–, hace referencia al repertorio completo de conocimientos y saberes –*corpus*–, creencias y cosmovisiones –*kosmos*–, así como al conjunto de prácticas productivas, incluidos los usos y manejos de la naturaleza y sus servicios –*praxis*–, transmitidos entre generaciones a partir de la interacción con el entorno natural (Toledo *et al.* 2020). Este acervo permite desarrollar estrategias adaptativas y resilientes ante cambios ambientales, sociales y económicos (Folke 2004).

Desde esta perspectiva, el TEK constituye una fuente crucial de información para la gestión sostenible de la naturaleza, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas. A diferencia del conocimiento científico occidental, basado en metodologías sistemáticas, cuantificables y causales, el TEK está intrínsecamente ligado a la experiencia empírica y a la relación continua y holística con el entorno (Berkes *et al.* 1994). De esta manera, las comunidades logran identificar patrones ecológicos, predecir cambios en el clima, atender problemas de salud y saneamiento, desarrollar prácticas agroecológicas sostenibles y gestionar comunitariamente el agua.

La comprensión profunda que poseen las comunidades rurales –indígenas y campesinas– sobre el comportamiento de los sistemas hídricos, el suelo, la regulación natural de los ecosistemas y las interacciones entre biodiversidad y producción resulta fundamental para diseñar estrategias bioeconómicas que integren el manejo sostenible de los SEH y se adapten a las realidades de cada territorio. Incorporar estos saberes en los procesos de toma de decisiones, así como en el diseño de políticas y acuerdos de gobernanza, puede potenciar enfoques innovadores y culturalmente apropiados para la gestión del agua, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los territorios.

## Sistemas complejos

Los sistemas complejos son aquellos conformados por múltiples componentes interconectados que interactúan de manera no lineal y generan patrones emergentes y comportamientos impredecibles –incertidumbre–. La complejidad no alude únicamente a la cantidad de elementos de un sistema, sino también a la forma en

que estos se organizan –estructura–, se influyen mutuamente y evolucionan con el paso del tiempo (Morin 2008). En este sentido, el enfoque de los sistemas complejos desafía las visiones reduccionistas tradicionales y exige modelos conceptuales y metodológicos de análisis que integren diversas disciplinas y perspectivas.

En el marco de esta investigación, los sistemas complejos abarcan la interacción entre componentes ecológicos, sociales, culturales, económicos, políticos y tecnológicos. Como lo describe Wang *et al.* (2022) en su estudio sobre la dinámica del agua y la capacidad de carga de los recursos hídricos, los sistemas hídricos están sujetos a interacciones multifactoriales –como la presión demográfica, la actividad económica y los procesos ecológicos–. Esta perspectiva compleja resulta clave para comprender la relación entre el uso del agua y la sostenibilidad de los ecosistemas, al tiempo que permite diseñar estrategias de gestión más resilientes y adaptativas para los territorios; en este caso, a través de estrategias bioeconómicas que integren los SEH.

La concepción de los sistemas complejos permite reconocer que la gestión del agua no puede abordarse de manera fragmentada. Por el contrario, requiere una visión interdisciplinar que integre elementos ecológicos, sociales, culturales, políticos y económicos que favorezcan los procesos de toma de decisiones y el desarrollo de modelos de gobernanza en torno al líquido vital. El reconocimiento de la complejidad fue una de las principales bases epistemológicas de esta investigación, que hizo posible el desarrollo de estrategias bioeconómicas y la gestión de los SEH en los territorios.

### **Servicios ecosistémicos y servicios ecosistémicos hídricos –SEH–**

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que los ecosistemas proporcionan a las sociedades humanas y que son esenciales para su bienestar y desarrollo. Daily y Matson (2008) los clasifican en cuatro categorías principales: aprovisionamiento –agua, alimentos, madera–; regulación –control del clima, calidad del aire y del agua–; soporte –ciclo de nutrientes, formación de suelos–, y culturales –valores espirituales, recreación y estética–.

Por su parte, los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– representan los beneficios que los ecosistemas acuáticos y terrestres brindan a las sociedades en términos de disponibilidad, calidad y regulación del agua. Entre estos servicios se incluyen la provisión de agua dulce, la recarga de acuíferos, la regulación del caudal de los ríos, la purificación del agua y la protección contra inundaciones (Grizzetti *et al.* 2016). Considerar el marco de los SEH es esencial en la gestión del agua, ya que permite garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y la resiliencia de las comunidades frente a los efectos de la variabilidad climática y la creciente demanda hídrica.

Algunos esfuerzos investigativos sobre la valoración de los SEH se evidencian en el trabajo de Keeler *et al.* (2012), donde se resalta la importancia de establecer enfoques que vinculen la calidad y disponibilidad del agua con el bienestar humano y promuevan el empleo de herramientas de gestión que optimicen su uso y minimicen los impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos. En esta misma línea, Hackbart *et al.* (2017) analizan los avances y desafíos en la valoración de los SEH, dentro de los cuales destaca la necesidad de integrar enfoques interdisciplinarios y participativos en su gestión.

Una propuesta aún más integral se encuentra en Reyers *et al.* (2013), quienes subrayan la importancia de medir e integrar los SEH dentro del enfoque de los sistemas socioecológicos –SSE–. Esta valoración plural –de carácter socioecológico, adoptada en esta investigación– permite reconocer la importancia económica, social, cultural y ambiental de los SEH, lo cual facilita la toma de decisiones basada en información integral. Tal valoración es clave para diseñar estrategias de conservación y sostenibilidad alineadas con la bioeconomía y con un uso equitativo, responsable y ético de la naturaleza.

## Bioeconomía

Desde la política de crecimiento verde en Colombia, se define la bioeconomía como aquella que “gestiona eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado que se basen en el conocimiento y la innovación” (CONPES 3934 2018). Se trata de un enfoque de desarrollo económico basado en la utilización sostenible de los recursos biológicos para la producción de bienes y servicios, que busca promover la transición hacia sistemas productivos más eficientes y resilientes. Este enfoque resulta propicio para su implementación a nivel local y regional, en el marco de las políticas públicas, donde se requieren cambios en los patrones de producción y consumo de la sociedad. La bioeconomía, articulada tanto con la innovación tecnológica como con los saberes tradicionales de las comunidades, se plantea como una alternativa que favorece la sostenibilidad y la equidad en los territorios.

La bioeconomía no solo implica la explotación racional de la biomasa, sino que, mediante principios de circularidad y eficiencia en el uso de los recursos naturales, busca desacoplar el crecimiento económico de la degradación ambiental (Giampietro 2019). En este sentido, se articula con la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– al reconocer que el agua es vital para la sostenibilidad de los sistemas biológicos y productivos (Keeler *et al.* 2012). Esta relación entre el agua y la bioeconomía también se expresa en la necesidad de implementar mecanismos de gobernanza territorial que impulsen la seguridad hídrica y alimentaria y que, a su vez, minimicen los impactos negativos sobre los ecosistemas.

La bioeconomía representa una oportunidad para promover un desarrollo rural sostenible –ambiental, económico y social–, al potenciar cadenas de valor innovadoras que integren los conocimientos tradicionales con las nuevas tecnologías (Johnson y Altman 2014). En el marco de los sistemas socioecológicos –SSE–, las estrategias bioeconómicas fortalecen la capacidad de resiliencia y adaptación de las comunidades mediante el aprovechamiento eficiente y ético de la naturaleza, al mismo tiempo que fomentan la diversificación productiva y se impulsan acciones para mitigar los efectos del cambio climático. Todo lo anterior se traduce en nuevas oportunidades para campesinos e indígenas al promover el empleo verde, la seguridad y soberanía alimentaria e hídrica, así como la conservación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Estas bases epistemológicas se constituyen en el eje articulador de la investigación y del libro, ya que integran la bioeconomía con el marco conceptual y metodológico de los sistemas socioecológicos –SSE–, el conocimiento tradicional, los sistemas complejos y los servicios ecosistémicos hídricos –SEH–. Desde esta perspectiva, la investigación busca promover un enfoque holístico e interdisciplinar que favorezca la conservación de los ecosistemas y el desarrollo de estrategias bioeconómicas innovadoras, capaces de potenciar la seguridad hídrica y alimentaria y la resiliencia socioeconómica de las comunidades rurales.

## Referencias

- Anderies, John; Marco Janssen y Elinor Ostrom  
 2004 A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*. 9 (1): 1-17.  
 Disponible en: [www.jstor.org/stable/26267655](http://www.jstor.org/stable/26267655) (Acceso: 07/06/2024).
- Berkes, Fikret y Carl Folke  
 1994 *Linking social and ecological systems for resilience and sustainability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berkes, Fikret; Carl Folke y Madhav Gadgil  
 1994 “Traditional ecological knowledge, biodiversity, resilience and sustainability”. En: Fikret Berkes (ed.), *Biodiversity conservation: Problems and policies*, pp. 269-287. Springer: Institute of Ecological Economics Royal Swedish Academy of Science.
- Berkes, Fikret; Johan Colding y Carl Folke  
 2000 *Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CONPES 3934  
 2018 *Política de Crecimiento Verde*. Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

Daily, Gretchen y Pamela Matson

- 2008 Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 105 (28): 9455-9456. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0804960105> (Acceso: 25/01/2025).

Folke, Carl

- 2004 Traditional knowledge in social-ecological systems. *Ecology and Society*. 9 (3): 7. doi: <https://doi.org/10.5751/ES-01237-090307> (Acceso: 11/04/2025).

Folke, Carl *et al.*

- 2005 Adaptive governance of social-ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30 (1): 441-473. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511> (Acceso: 11/04/2025).

- 2006 Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16 (3): 253-267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002> (Acceso: 11/04/2025).

Giampietro, Mario

- 2019 On the circular bioeconomy and decoupling: Implications for sustainable growth. *Ecological Economics*. 162: 143-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001> (Acceso: 11/04/2025).

Grizzetti, Bruna *et al.*

- 2016 Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*. 61: 194-203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008> (Acceso: 11/04/2025).

Hackbart, Vivian; Guilherme de Lima y Rozely Dos Santos

- 2017 Theory and practice of water ecosystem services valuation: Where are we going? *Ecosystem Services*. 23 (1): 218-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.010> (Acceso: 11/04/2025).

Johnson, Thomas e Ira Altman

- 2014 Rural development opportunities in the bioeconomy. *Biomass and Bioenergy*. 63: 341-344. doi: [10.1016/j.biombioe.2014.01.028](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.028) (Acceso: 11/04/2025).

Keeler, Bonnie *et al.*

- 2012 Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109 (45): 18619-18624. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1215991109> (Acceso: 09/05/2025).

Kimmerer, Robin

- 2012 Searching for synergy: Integrating traditional and scientific ecological knowledge in environmental science education. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. 2 (4): 317-323. doi: [10.1007/s13412-012-0091-y](https://doi.org/10.1007/s13412-012-0091-y) (Acceso: 27/11/2024).

Morin, Edgar

- 2008 *On complexity. Advances in systems theory, complexity and the human sciences*. Nueva Jersey: Hampton Press.

- Ostrom, Elinor  
2009 A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*. 325 (5939): 419-422. Disponible en: [www.science.org/doi/10.1126/science.1172133](http://www.science.org/doi/10.1126/science.1172133) (Acceso: 09/05/2025).
- Reyers, Belinda *et al.*  
2013 Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 11 (5): 268-273. doi: <https://doi.org/10.1890/120144> (Acceso: 09/05/2025).
- Toledo, Víctor y Narciso Barrera-Bassols  
2020 “La milpa y la memoria biocultural de Mesoamérica”. En: Camejo Pereira (coord.), *A conservação das sementes crioulas: uma visão interdisciplinar da agrobiodiversidade*, pp. 61-78. Brazil: PGDR,Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Wang, Tianzi *et al.*  
2022 Dynamic interaction of water-economic-social-ecological environment complex system under the framework of water resources carrying capacity. *Journal of Cleaner Production*. 368: 133132. doi:



# Parte 1

Bases socioecológicas para  
la gestión integral del territorio:  
Agua, suelo, naturaleza y comunidad

Los sistemas socioecológicos –SSE– representan la intrincada interacción entre ser humano y naturaleza, donde la dinámica de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– emerge como eje articulador de la sostenibilidad. La valoración plural de estos servicios reconoce no solo su dimensión instrumental –como proveedores de agua y alimentos–, sino también sus valores relacionales y culturales, que refuerzan identidades territoriales y prácticas ancestrales. Esta perspectiva integradora resulta fundamental para abordar desafíos contemporáneos como el cambio climático y la inequidad social, al tiempo que promueve modelos bioeconómicos basados en el uso sostenible de los recursos. En contextos rurales, donde la diversidad biocultural coexiste con vulnerabilidades socioambientales, comprender estos sistemas desde un enfoque integral permite diseñar estrategias que equilibren conservación, desarrollo local y resiliencia comunitaria.

Esta sección tiene como objetivo caracterizar los SSE en cuatro municipios del Cauca –Cajibío, Popayán, Puracé y Silvia–, mediante el análisis de las dimensiones biofísica, socioeconómica y sociopolítica que inciden en la gestión de los SEH y en la bioeconomía. A través de un enfoque interdisciplinar, se busca identificar oportunidades para fortalecer la gobernanza participativa, optimizar los sistemas de abastecimiento de agua rural y promover prácticas agroecológicas que respondan a las realidades locales. La articulación entre conocimientos científicos, saberes ancestrales y herramientas tecnológicas constituye el núcleo metodológico para construir territorios adaptativos frente a los retos globales.

La sección se estructura en seis capítulos. El primero, “Caracterización socioecológica de los municipios”, examina las condiciones biofísicas, socioeconómicas y las dinámicas sociopolíticas, entre las cuales se destaca la relación entre la vocación forestal del suelo y las presiones antrópicas. El segundo, “Redes de actores y gobernanza”, explora las interacciones entre comunidades, instituciones y sector privado e identifica fragmentaciones y oportunidades de colaboración en la gestión hídrica. El tercer capítulo, “Sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR–”, evalúa la calidad del agua cruda mediante una metodología que integra el análisis de diferentes variables, las cuales, en conjunto, exponen las condiciones que limitan o favorecen la disponibilidad de este recurso. En el cuarto capítulo, “Vocación, conflictos por uso de suelos y fertilidad”, se analiza la discrepancia entre la capacidad productiva de los suelos y las prácticas actuales. Asimismo, propone enmiendas para cultivos clave como café, papa y pastos. El quinto aparte, “Mapas de coberturas”, combina imágenes satelitales y participación local para visualizar la distribución de ecosistemas estratégicos y áreas degradadas, lo cual facilita la planificación territorial. Finalmente, el capítulo “Valoración sociocultural” recoge percepciones comunitarias expresadas mediante murales y talleres. En ella se revelan las conexiones entre agua, alimentos y territorio.

Las conclusiones de la sección subrayan que la gestión efectiva de los SSE requiere modelos de gobernanza inclusiva que superen la fragmentación institucional y fomenten la corresponsabilidad. La integración de saberes ancestrales con conocimiento científico, evidenciada en prácticas agroforestales y sistemas de monitoreo participativo, demuestra que la bioeconomía no solo diversifica las economías locales, sino que también fortalece la resiliencia socioecológica. Asimismo, la valoración plural de los SEH, al reconocer su dimensión cultural y espiritual, refuerza el vínculo entre comunidades y territorios, elemento esencial para la sostenibilidad a largo plazo. En síntesis, este trabajo aporta una mirada integral que vincula análisis cuantitativos con narrativas comunitarias y propone rutas para equilibrar conservación y desarrollo. Al priorizar la articulación de actores, la restauración de ecosistemas riparios y la adopción de prácticas agroecológicas, se sientan bases para territorios capaces de enfrentar los desafíos climáticos y socioeconómicos, las cuales garantizan tanto el bienestar humano como la integridad de los sistemas naturales.

## Caracterización socioecológica de los municipios de intervención

DIANA MARCELA RUÍZ ORDÓÑEZ Y JUAN PABLO MARTÍNEZ IDROBO

La caracterización de los municipios priorizados (Mapa 1) se llevó a cabo mediante la recopilación, la sistematización y el análisis de información secundaria disponible para la zona de estudio. En este proceso se abordaron las dimensiones biofísica, socioeconómica y sociopolítica, con el objetivo de explorar las características de los municipios desde una perspectiva integral. Se analizaron sus aspectos generales y se identificaron factores determinantes que influyen en las oportunidades de desarrollo de procesos bioeconómicos. Estos procesos están orientados a mejorar las condiciones de vida de la población y a promover la sostenibilidad a largo plazo, considerando un enfoque que equilibre el aprovechamiento de los recursos con la resiliencia ambiental y el bienestar social. En las tablas 1, 2, 3 y 4 se presenta la caracterización del SSE de Cajibío, Popayán, Puracé y Silvia.



## Localización municipal

### Proyecto Proyecto Bioeconomía

#### INFORMACIÓN DE REFERENCIA LOCALIZACIÓN



Sistema de referencia: Merica Surco  
 Elipsoides: GRS80  
 Datum: GRS80  
 Origen de la zona: Bogotá  
 Coordenadas geográficas:  
 4° 32' 44.3215" Latitud Norte  
 77° 04' 29.9285" Longitud Oeste  
 Coordenadas planas:  
 1:1000,000 metros Este  
 1:1000,000 metros Norte



#### FUENTE DE LA INFORMACIÓN

Imágenes Geográficas: Agustin Codazzi G.A.C.  
 Escala: 1:25,000 - 1:100,000  
 Conservación: Inactivo  
 Universidad del Cauca, Bogotá 1.25.000, 2022

#### CONVENCIONES

**HIDROGRAFÍA**  
 Divisivo Secalillo  
 Drenaje Doble

**CURVA NIVEL**  
 Lado  
 Intermedios

#### TRANSPORTE

..... Camino, Sendero ..... Via Tipo 4  
 --- Via Tipo 1 --- Via Tipo 5  
 - - - - - Via Tipo 2 - - - - - Via Tipo 6  
 - - - - - Via Tipo 3

#### DIVISIÓN ADMINISTRATIVA

--- Límite Municipal  
 --- Límite Departamental  
 --- Límite del Municipio  
 --- Centro Poblados

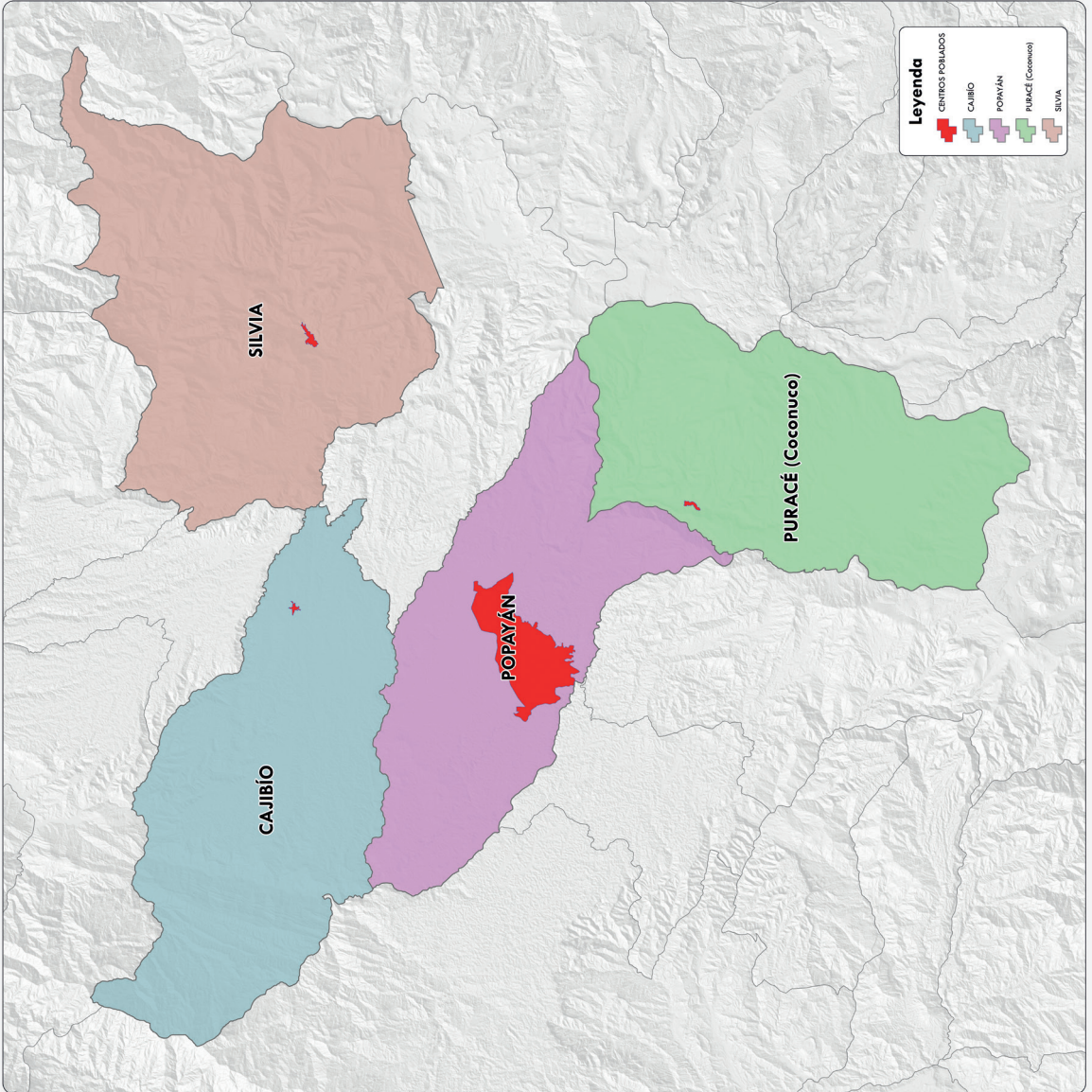
#### LOCALIZACIÓN PLANCHA



1:125,000  
 0 2.5 5 10 15 20 Km

ELABORADO POR:  
 Biol. Fernando Felipe Muñoz, Ph.D

REVISÓ Y APROBÓ:  
 Apolimar Figueroa Casas, Ph.D



Mapa 1. Localización de los municipios priorizados  
 Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Caracterización SSE Cajibío

Dimensión	Componente	Descripción
Biofísico	Coberturas y usos del suelo	Respecto al área total del municipio, los usos del suelo se distribuyen de la siguiente manera: agroforestal (29,4 ha), ganadería (9,3 ha), forestal (2,6 ha), agrícola (7,7 ha), extracción y recolección (1,4 ha) e insumos ambientales (240 ha). La vocación principal corresponde al uso forestal, con 50,87 ha (92 %), seguida de la conservación de suelos (8 %).
	Zonas de vida (Caldas/Lang)	Frío húmedo (4,59 ha), templado húmedo (49,4 ha) y templado pluvial (1,18 ha).
	Red hídrica	Al norte, los ríos Piendamó, Pedregosa y Mambial; al sur, el río Palace –microcuencas Guangubuio y Cofre–, y al oriente, nuevamente el río Piendamó.
	Condición climática	Temperatura promedio: 18 °C; humedad relativa: 34 %; precipitación anual: 2 057,6 mm; evaporación: 1,5 mm/año; brillo solar: 10 h/día.
	Áreas protegidas/ de conservación	Del área total, 4,6 ha (8 %) están destinadas a la conservación en la zona occidental. En los límites entre Cajibío y Piendamó, se localizan cultivos forestales de protección vinculados a Reservas Naturales de la Sociedad Civil (52 ha), una reserva forestal protectora en La Capilla (469 ha) y tres reservas temporales distribuidas entre la zona central y oriental.
	Áreas cultivadas	La cobertura del suelo corresponde principalmente a pastos (55 %), bosques naturales (22 %) y rastrojo (6 %). De manera minoritaria, se encuentran cultivos de hortalizas, frijol, plátano, cítricos, frutales, caña panelera, café, espárragos y maíz.

Dimensión	Componente	Descripción
Socioeconómico	Acueductos/ SAAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asociación Acueducto El Cairo: ubicada en la vereda El Cairo, abastece a 508 usuarios correspondientes a 1000 familias. La tarifa mensual es de \$13 819. El sistema se surte de la quebrada Alto-Pajosa. Durante la época de lluvias, el agua presenta alta turbiedad.</li> <li>• Solución de Agua Vereda El Porvenir-Las Guacas: ubicada en la vereda El Porvenir, abastece a 72 usuarios correspondientes a 90 familias, con una tarifa mensual de \$1000. La quebrada Porvenir surte el SAAR. En época seca, el caudal disminuye.</li> <li>• Asociación Aguas del Cofre: ubicada en la vereda Buenavista, abastece a 1118 usuarios –1700 familias–. Maneja tarifas diferenciales: estrato 1 –\$6700–, estrato 2 –\$13 400–, comercial –\$33 400–, oficial –\$22 400– y especial –\$22 300–. El sistema se surte del río Cofre, que presenta variaciones significativas de caudal durante la temporada de lluvias.</li> <li>• Acueducto El Túnel: ubicado en la vereda El Túnel, abastece a 109 usuarios –130 familias–. No cuenta con tarifa establecida. El sistema se surte de la quebrada Cajibío. El servicio es intermitente, en concordancia con la variabilidad climática.</li> </ul>
	Índice de pobreza multidimensional –IPM–	<p>La tasa de pobreza multidimensional –IPM– es del 12,1 % (DANE 2023). En las zonas rurales, el indicador asciende al 43,2 %, debido a que los ingresos de un integrante del hogar deben sostener, en promedio, a tres personas, sumado a la alta informalidad laboral. En la cabecera municipal, esta informalidad alcanza el 86 %, principalmente en actividades de comercio y servicios, mientras que en el área rural llega al 94,9 %, concentrada en labores agropecuarias de subsistencia.</p>
	Tenencia de la tierra	<p>En la zona rural, los procesos de herencia condicionan la tenencia de la tierra. Cerca de dos tercios de los habitantes del municipio son micro y minifundistas sin títulos de propiedad sobre sus predios. Esta situación contrasta con la concentración de grandes extensiones en manos de propietarios que desarrollan actividades agroforestales y mineras a escala, lo que genera escenarios de profunda desigualdad.</p>

Dimensión	Componente	Descripción
Sociopolítico	Organizaciones comunitarias/institucionales	Son especialmente relevantes las juntas de acción comunal –JAC–; entre ellas, las de Pajosa Alta, Miraflores, Cairo y Capilla; los cabildos indígenas de Ambaló y Pat-Yu, así como las asociaciones y consejos comunitarios afrodescendientes, como Raíces Africanas. En Cajibío, existe además una importante articulación con la Universidad del Cauca –Unicauca–, el Servicio Nacional de Aprendizaje –SENA–, Tecnicafé, el Comité de Cafeteros, Asir Saba, la Corporación Autónoma Regional del Cauca –CRC–, el Consejo Regional Indígena del Cauca –CRIC–, entre otros actores institucionales y comunitarios.
	Instrumentos de GIRH, PNGIBSE	Se destaca el instrumento de pagos por servicios ambientales –PSA–, con la identificación de áreas prioritarias para la conservación. En el Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, particularmente en el programa “Gestión ambiental para el futuro de Cajibío”, se establecen lineamientos que legislan y orientan el trabajo en pro del ambiente.
	Iniciativas de bioeconomía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección de fuentes hídricas, manejo adecuado de los recursos naturales y capacitación a las JAC en control de plagas.</li> <li>• Implementación de estrategias de conservación y recuperación en áreas estratégicas de interés ambiental en el municipio de Cajibío.</li> </ul>
	Prácticas de gestión conjunta	“Corredor biológico Munchique y Puracé”, proyecto de gestión conjunta entre los PNN y Fundación Mundo Mujer, para incluir a las comunidades a través de educación ambiental y organización comunitaria en pro de la conservación del recurso hídrico.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Caracterización SSE Popayán

Dimensión	Componente	Producto
Biofísico	Coberturas y usos del suelo	Pastoreo extensivo (2276 ha), protección (547 ha), forestal protectora (379 ha), producción/protección (182 ha), aprovechamiento maderero selectivo (16 ha), recursos hídricos (149 ha), agrosilvopastoril (75 ha) y construcción rural (64 ha).
	Zonas de vida	El 70 % del área total corresponde al piso bioclimático subandino (1400-2200 msnm); el 15 % ,al piso andino (2200-2900 msnm); el 10 %, al altoandino (2900-3200 msnm), y el 5 % restante, al páramo (3200-3600 msnm).
	Red hídrica	Ríos Palacé, Las Piedras, Molino y Pisojé, que surten tanto a la zona urbana como a la rural. A nivel municipal, se cuenta, además, con las quebradas Machángara, La Victoria, El Tablazo, La Mulata, Río Ejido y El Charco, entre otras..
	Condición climática	El clima es templado, de régimen bimodal, con una precipitación promedio anual de 1941 mm. La temperatura media es de 18,7 °C, con una variación anual de 0,7 °C y registros máximos entre 24 °C y 25 °C y mínimos entre 12 °C y 14 °C.
	Áreas protegidas/ de conservación	Las áreas protegidas se ubican principalmente sobre las fuentes abastecedoras de agua. En la subcuenca Las Piedras, se destacan los sectores Molino Piedras (4 ha), La Cabaña (17 ha), El Caimo (5 ha), Motilonal (12 ha), San Pedro (10 ha), Loma de Paja (32 ha), Pajonal Chiquito (30 ha), Pajonal (332 ha) y La Parada (13 ha). En la subcuenca Molino-Pubús, se encuentran El Hogar (53 ha), Lote 2B (13 ha), Buenos Aires (4 ha), Loma Alta (45 ha), Lote 36A (16 ha), La Vertiente (20 ha) y Novirao (17 ha). Adicionalmente, existen 57 reservas de la sociedad civil y 20 reservas de hecho.
	Áreas cultivadas	Predomina un mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con procesos agroforestales y agrosilvopastoriles (74,9 ha), así como plantaciones de pino y eucalipto en las veredas Santa Rosa, San Bernardino, La Rejoya, El Tablón y Pueblillo Alto. Se registran también cultivos de café (3510 ha), caña panelera (1013 ha), aguacate (59 ha), piña (5 ha) y frutales diversos (5 ha).

Dimensión	Componente	Producto
Socioeconómico	Acueductos/ SAAR	El acueducto de Popayán cuenta con cuatro fuentes abastecedoras y tres plantas de tratamiento, distribuyendo el servicio a 199 829 usuarios con continuidad de 24 horas, siete días a la semana.
	Índice de pobreza multidimensional (IPM)	La cobertura educativa presenta niveles bajos, con un promedio de logro de 3,5 en cabecera municipal y de 61,0 en zona rural. La informalidad laboral alcanza el 87,2% en centros poblados y zona rural, mientras que la “tasa de dependencia” es más alta en estas áreas (34,9) frente a la urbana (1,2).
	Tenencia de la tierra	El índice GINI del municipio es de 0,66, mientras que la concentración de la tierra es del 9,19.
Sociopolítico	Organizaciones comunitarias/ institucionales	ASOCAMPO, Asoproquintana, ACARAGRO, los resguardos indígenas de Páez, Quintana, Poblazón, Puracé y Kokonuko, AGUAQUIN, acueductos comunitarios y veredales, así como el Consejo Regional Indígena del Cauca –CRIC–. A nivel institucional, participan la Alcaldía de Popayán, las Juntas de Acción Comunal –JAC–, instituciones educativas, el Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la Universidad del Cauca, el SENA, la CRC, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el DNP y el IGAC.
	Instrumentos de GIRH, PNGIBSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley 1450 de 2011: obliga a departamentos y municipios a destinar al menos el 1% de sus ingresos a la adquisición de áreas de interés para PSA.</li> <li>• CONPES 3850 de 2015: establece al Fondo Colombia en Paz como eje de PSA.</li> <li>• Decreto 1207 de 2018: incorpora en las tarifas de los servicios públicos los costos destinados a la protección de cuencas y fuentes hídricas.</li> </ul>
	Iniciativas de bioeconomía	Casa Rural, Ceciachiote, Mamá Lombriz SAS, Reserva Natural Angostura, Reserva Natural La Palma, Las Juanas, Hecho Con Amor, Tierra Bonita, Vivero Hierba Buena, Slow Coffee Colombia SAS BIC, Green Hostel Popayán, así como los mercados campesinos de ASOCAMPO, CRC y la Alcaldía Municipal.
	Prácticas de gestión conjunta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyecto ENANDES, orientado a fortalecer la resiliencia y adaptación de comunidades andinas a partir del conocimiento de los servicios ecosistémicos.</li> <li>• Programa Páramos y Bosques, liderado por USAID, la Alcaldía de Popayán, la CRC, FRP y AAPSA, enfocado en la implementación de PSA.</li> <li>• Plan de gestión del cambio climático, que articula a la CRC y a las alcaldías de Santander de Quilichao, Popayán, Timbío, Caldono y Puerto Tejada para la planificación de acciones de adaptación</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Caracterización SSE Puracé

Dimensión	Componente	Producto
Biofísico	Coberturas y usos del suelo	Agrícola (1,3 ha), agroforestal (10,8 ha), conservación (2,8 ha), extracción y recolección (1,6 ha), forestal (2,9 ha), ganadería (4 500 ha), infraestructura (93,9 ha), insumos ambientales (1559 ha) y minería (12,4 ha).
	Zonas de vida	Templado (entre 1768 y 2000 msnm, 0,6 %), frío (2001 a 3000 msnm, 43 %), muy frío (3001 a 3600 msnm, 45 %), páramo alto (3601 a 4200 msnm, 10 %) y subnivel (4201 a 4674 msnm, 1,4 %).
	Red hídrica	Alto Magdalena y Cauca, con 17 subcuencas hidrográficas, entre las que destacan Páez, La Calera y Vinagre.
	Condición climática	La temperatura media mensual promedio es de 11,4°C. Los niveles máximos de temperatura media son alrededor de 15,5°C. La temperatura media mensual es de 11,4 °C, con máximos de alrededor de 15,5 °C. La humedad relativa media es de 72,7 %, mientras que la precipitación anual presenta un régimen bimodal, con un máximo de 1870 mm, concentrado en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre..
	Áreas protegidas/de conservación	En total, 46 742,7 ha (55,2 % del área municipal) corresponden a zonas de conservación, entre las que se destaca el Parque Natural Nacional Puracé con 18 961,46 ha, donde se protegen ecosistemas de páramo y afluentes como el río Cauca, el río San Francisco y el río Bedón.
	Áreas cultivadas	En total, 12 369,03 ha (14,16 % del área municipal) están destinadas a actividades agropecuarias, con cultivos densos –papa, hortalizas–, pastos mejorados para ganadería semiintensiva y sistemas silvopastoriles, en veredas como San José Pisanrabo, Cobaló, Patugó, Tabio, Chapio, Alto Anambío, Hispala, Ambiro, San Antonio, El Jigual y Chiliglo.

Dimensión	Componente	Producto
Socioeconómico	Acueductos/ SAAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asociación Comunitaria El Molino: ubicada en el sector El Molino y Mirador Bajo. Su fuente abastecedora es El Coque, de calidad deficiente. Atiende a 22 usuarios –22 familias–, quienes pagan el servicio mediante trabajos y mingas. En época seca el caudal disminuye por alta demanda, mientras que en temporada de lluvias el servicio se interrumpe por deslizamientos de tierra.</li> <li>• Asociación de Usuarios Acueducto Rural Colectivo Vereda El Jigal Resguardo Indígena Kokonuko –ASUARJIK–: ubicada en la vereda La Josefina, sector Campo Alegre. Su fuente es el nacimiento de Agua Tibia, que provee agua de buena calidad para 192 usuarios –70 familias–. La tarifa mensual es de \$5000 pesos. En época seca el caudal disminuye, aunque sin interrumpir el servicio, mientras que en temporada de lluvias puede suspenderse por deslizamientos.</li> </ul>
	Índice de pobreza multidimensional (IPM)	Corresponde al 39,5 % (DANE 2023), con disparidades entre la cabecera municipal (2,45 %) y la zona de centros poblados y rural disperso (41,3 %). Entre los indicadores más sensibles se encuentran: bajo logro educativo (66,3 %), alta tasa de dependencia (38,3 %) e inadecuada eliminación de excretas (34,7 %).
	Tenencia de la tierra	El índice de Gini es de 1, lo que refleja una fuerte concentración de la tierra en el municipio.
Sociopolítico	Organizaciones comunitarias/ institucionales	Destacan las juntas de acción comunal –JAC– de San Alfonso Patico, El Alto de mi Chavala, Tabio, Pululo, La Palma, Vega Candelaria, Bellavista, La Esmeralda, El Porvenir y Coconuco. También tienen un papel central los cabildos indígenas de Coconuco, Puracé y Paletará, así como instituciones educativas veredales.
	Instrumentos de GIRH, PNGIBSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución nro. 0180 del 6 de junio de 2018, mediante la cual se delimita el páramo de Guanacas-Puracé-Coconucos y se adoptan otras determinaciones.</li> <li>• Ley 1930 de 2018, que reconoce a los páramos como ecosistemas estratégicos.</li> </ul>
	Iniciativas de bioeconomía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyecto “El Campo Emprende”, orientado al aprendizaje, gestión del conocimiento y adopción de buenas prácticas de gestión rural.</li> <li>• Proyecto “Desarrollo de la cadena láctea para el mejoramiento de la calidad de vida de familias del departamento del Cauca”, que promovió la implementación de sistemas silvopastoriles.</li> <li>• Proyecto “Fortalecimiento a organizaciones agropecuarias mediante extensión agropecuaria”, que incluyó suplementos para ganado lechero y producción de sal mineralizada.</li> </ul>
	Prácticas de gestión conjunta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa “Gestión del cambio climático para un desarrollo bajo en carbono y resiliente”, que vinculó a las comunidades con prácticas sostenibles, incluyendo el uso de estufas ecoeficientes.</li> <li>• Programa “Fortalecimiento de la gestión y dirección del sector agrícola y de desarrollo rural”, enfocado en articular productores, industrias y entidades gubernamentales.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Caracterización SSE Silvia

Dimensión	Componente	Producto
Biofísico	Coberturas y usos del suelo	El uso actual del suelo en el municipio se orienta principalmente a la ganadería, la agricultura, la extracción/recolección, el aprovechamiento forestal y la conservación.
	Zonas de vida	El páramo ocupa el 45,2 % del territorio, siendo la zona de mayor proporción; le sigue el alto andino, con un 28,2 %; el andino, con un 21,4 %, y, finalmente, el subandino con un 4,6 %.
	Red hídrica	Áreas hidrográficas de la cuenca Magdalena-Cauca, destacan los ríos Palacé (934 km <sup>2</sup> ), Palo (1651 km <sup>2</sup> ), Ovejas (924 km <sup>2</sup> ), Piendamó (601 km <sup>2</sup> ) y Páez (5203 km <sup>2</sup> ).
	Condición climática	El régimen climático es bimodal: el primero entre abril y mayo, y el segundo, en octubre y noviembre. Entre junio y septiembre se presenta un período seco. La temperatura media anual es de 15 °C.
	Áreas protegidas/de conservación	Se registran 24,5 ha de páramo –Las Delicias, Moras y Pisno–, 4150 nacimientos de agua y aproximadamente 405 riachuelos.
	Áreas cultivadas	Cultivos transitorios como cereales, leguminosas, hortalizas y tubérculos, y cultivos permanentes, entre los que destacan: fique (486 ha), papa (240 ha), maíz (155 ha), caña panelera (64 ha), frijol (60 ha) y uchuva (52 ha), además de pastos y sistemas agroforestales.

Dimensión	Componente	Producto
Socioeconómico	Acueductos/ SAAR	Junta Proacueducto Cruces y Tres Cruces: ubicada en las veredas Cruces y Tres Cruces. La quebrada Manchay surte el SAAR, con agua de buena calidad. Atiende a 460 usuarios –15 familias–, con una tarifa anual de \$25 000. En épocas de sequía, el caudal disminuye, lo que obliga a restringir el servicio durante la noche; en época de lluvias, las redes se taponan por deslizamientos de tierra. Acueducto Zona Urbana del municipio de Silvia: abastece a las veredas La Marquesa y Guambía. El río Molino surte el SAAR, con agua de calidad regular. Atiende a 2102 familias, con una tarifa mensual de \$3800. El servicio se mantiene estable en época seca, pero durante las lluvias se registran deslizamientos y avalanchas que interrumpen la prestación.
	Índice de pobreza multidimensional -IPM-	Alcanza el 43,8 %, concentrado principalmente en los centros poblados y las áreas rurales dispersas (48,2 %), mientras que en la cabecera municipal es de 13,8 %.
	Tenencia de la tierra	El coeficiente de Gini en la distribución de la tierra se sitúa entre el 80 % y el 90 %. En cuanto a la estructura de la propiedad, Silvia presenta esquemas de tenencia colectiva, conflictos por el uso de la tierra y una marcada concentración en su tenencia.
Sociopolítico	Organizaciones comunitarias/ institucionales	El Distrito de Riego de la Recuperación Letras, la Fundación Untak Misak, el Resguardo de Pitayo, la Asociación Srei Marilan Ellwap, la Espiral Misak Asociación, el Consejo Comunitario de Mujeres del municipio de Silvia, Apraos, Asocamflores, la Asociación Productora de Hortalizas Miraflores Silvia Cauca, Asprocam, Asprokapik, Chish Mamik y Coopitayo.
	Instrumentos de GIRH, PNGIBSE	Política pública “Conservación, protección y restauración del ambiente de vida como un deber y derecho de los silvianos”. Plan Agroambiental “Silvia incluyente, competitiva y sostenible” (2019-2030).
	Iniciativas de bioeconomía	Proyecto “Desarrollo productivo sostenible y amigable con el ambiente”, orientado a la comercialización de productos agrícolas sostenibles. Proyecto “Desarrollo de un turismo sostenible”, en alianza entre instituciones públicas y privadas.
	Prácticas de gestión conjunta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan de Salvaguarda Étnico del Resguardo de Guambía, destinado a recuperar las fuentes hídricas y fortalecer la relación con comunidades y veredas vecinas.</li> </ul> Programa “Gestión del riesgo de desastres-Silvia Segura”, que busca vincular a las comunidades en procesos de alerta temprana para mitigar riesgos naturales y salvaguardar vidas.

Fuente: elaboración propia.



# Redes de actores y gobernanza en la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y la bioeconomía frente al cambio climático

MARGARITA TRIVIÑO, ALEJANDRO FIGUEROA Y VIVIANA TRIVIÑO

## Introducción

Este apartado se centra en el mapeo de actores, las redes y las dinámicas de gobernanza necesarias para la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– en territorios que enfrentan retos socioeconómicos y ambientales significativos. En los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán, la diversidad cultural y ambiental convive con la vulnerabilidad frente al cambio climático y la desigualdad social, lo que dificulta la comunicación y articulación entre los distintos actores. A través de este análisis, se busca comprender cómo las redes de gobernanza participativa e inclusiva pueden fortalecer la gestión sostenible del agua y promover la resiliencia territorial. La articulación entre comunidades, instituciones y sectores productivos se configura como un eje clave para diseñar estrategias que integren la conservación ambiental y el desarrollo local, al sentar las bases para territorios sostenibles y adaptativos frente a los desafíos actuales y futuros.

La gobernanza hídrica comprende las reglas, las instituciones y los procesos que orientan la gestión del agua. Asimismo, promueve valores como la transparencia, la inclusión y la equidad (OECD 2011). Las redes de actores sociales permiten coordinar esfuerzos y generar confianza entre sectores diversos (Agrawal y Gibson 1999). Según Ostrom (2015), la gestión de bienes comunes como el agua exige la participación activa de las comunidades locales para alcanzar la sostenibilidad. La gestión integrada del recurso hídrico –GIRH–, reconocida en la *Conferencia de Dublín* (1992), incorpora dimensiones sociales, económicas y ambientales en la planificación. Estudios de Pahl-Wostl (2009) subrayan la necesidad de una gobernanza adaptable frente al cambio climático y la variabilidad hídrica. La articulación intersectorial constituye un pilar esencial para la sostenibilidad del recurso. En esa misma línea, la UNESCO (UN-Water 2020) enfatiza la importancia de redes colaborativas para garantizar el acceso equitativo al agua. Asimismo, la integración de saberes ancestrales con enfoques técnicos fortalece las capacidades locales y contribuye a consolidar una gobernanza resiliente (Berkes *et al.* 2000).

## Metodología

El análisis del mapeo de actores, redes y gobernanza se realizó mediante una metodología mixta que integró enfoques cualitativos y cuantitativos. Se llevaron a cabo talleres participativos con comunidades locales para identificar percepciones y dinámicas en la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH–. Asimismo, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a actores clave –como representantes institucionales, líderes comunitarios y organizaciones no gubernamentales–, con el propósito de profundizar en las relaciones de cooperación y conflicto en torno al uso del recurso hídrico. Paralelamente, se utilizaron herramientas de análisis de redes sociales –Gephi, Atlas.TI, MaxQDA– mediante *software* especializado, lo que permitió mapear las interacciones, los flujos de información y los niveles de influencia entre los actores. Este enfoque facilitó la identificación de fortalezas y vacíos en la articulación territorial, resaltando oportunidades para mejorar la gobernanza hídrica y fortalecer la sostenibilidad en los territorios.

## Resultados y discusión

### *Actores en la gobernanza ambiental*

La gobernanza ambiental, especialmente en el contexto de los SEH, depende de la participación activa y articulada de múltiples actores con roles complementarios. Los actores institucionales, comunitarios y privados conforman una red compleja cuya interacción define, en gran medida, el éxito de las estrategias de conservación y gestión sostenible. Según Berkes (2007), la gobernanza efectiva de recursos comunes, como el agua, exige no solo la inclusión de diversos actores, sino también la creación de mecanismos que fomenten la corresponsabilidad y la legitimidad en la toma de decisiones. En este sentido, las autoridades locales, como los cabildos indígenas y las juntas de acción comunal, lideran procesos fundamentales para la conservación al integrar conocimientos ancestrales y prácticas tradicionales que resultan esenciales para la protección de los ecosistemas estratégicos.

Las instituciones públicas, como las corporaciones autónomas regionales y las administraciones municipales, desempeñan un rol central al establecer normativas y coordinar esfuerzos interinstitucionales. Sin embargo, enfrentan retos significativos en la articulación con comunidades rurales e indígenas. La OECD (2011) señala que las instituciones gubernamentales deben facilitar espacios inclusivos de diálogo y planificación conjunta para superar las brechas entre los distintos actores y garantizar la sostenibilidad de las acciones. En los territorios analizados se ha evidenciado que la falta de coordinación y comunicación efectiva entre los niveles locales e institucionales perpetúa conflictos por el acceso y uso del recurso hídrico, una problemática que Ostrom (2015) también identificó en su análisis sobre la gestión de bienes comunes.

Por otro lado, las organizaciones no gubernamentales –ONG– y la academia han demostrado ser aliadas clave en el fortalecimiento de capacidades locales y en la implementación de proyectos de conservación. Según la UNESCO (2020), las ONG desempeñan un papel fundamental al mediar entre comunidades e instituciones públicas, ofreciendo recursos técnicos y financieros que permiten desarrollar iniciativas sostenibles. Asimismo, las universidades han generado investigaciones aplicadas y herramientas innovadoras para monitorear las cuencas hídricas, como lo indican Pahl-Wostl *et al.* (2009) en su estudio sobre la gobernanza hídrica adaptativa. Estas sinergias entre los actores técnicos y las comunidades locales permiten construir soluciones más inclusivas y adaptadas a las realidades territoriales.

El sector privado, aunque con menor nivel de articulación, representa una oportunidad valiosa para contribuir a la sostenibilidad de los SEH. Las empresas que operan en sectores como el agroindustrial y el ecoturismo pueden desempeñar un rol estratégico en la adopción de tecnologías limpias y prácticas responsables. Rashed y Shah (2021) destacan que la participación del sector privado en la sostenibilidad ambiental es crucial para ampliar el impacto y la viabilidad de los proyectos, siempre y cuando se priorice un enfoque que equilibre los objetivos económicos con los ambientales y sociales.

En la Figura 1 se ilustra cómo diferentes actores –nodos en rosado– se conectan a la pregunta “¿Quién maneja el territorio?”. Esto evidencia la multiplicidad de agentes –instituciones, asociaciones, comunidades étnicas, sector privado, academia, entre otros– que inciden en la gobernanza y la toma de decisiones relacionadas con los SEH.

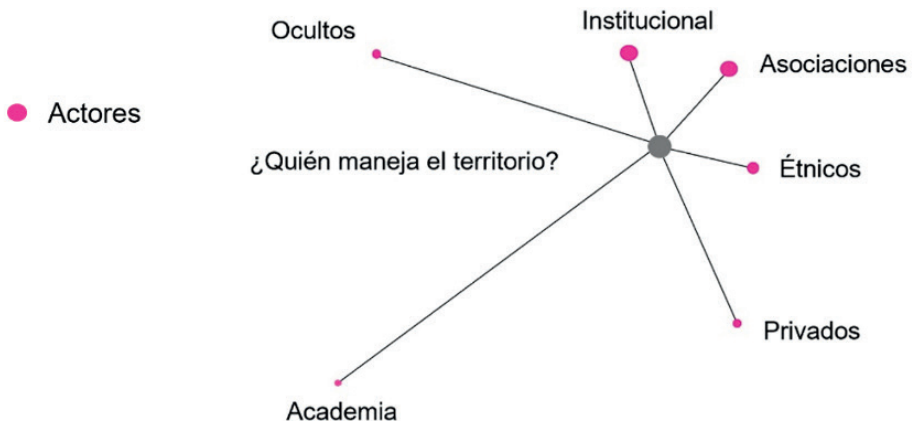


Figura 1. Actores que inciden en la gobernanza y las decisiones relacionadas con SEH  
Fuente: elaboración propia.

La interacción de estos actores, aunque prometedora, se encuentra limitada por la fragmentación y la falta de confianza mutua. En los municipios analizados, las comunidades indígenas y campesinas, a pesar de su profundo conocimiento del territorio, perciben a las instituciones gubernamentales como entes lejanos que no responden a sus necesidades ni respetan sus dinámicas locales. Esta desconexión refuerza la necesidad de avanzar hacia un modelo de gobernanza colaborativa. Según Berkes *et al.* (2000), la integración de saberes ancestrales con enfoques técnico-científicos no solo fortalece la resiliencia de los ecosistemas, sino que también empodera a las comunidades para liderar procesos de gestión.

Para superar estas barreras, es esencial fortalecer las redes de cooperación mediante la creación de plataformas inclusivas de diálogo, como mesas técnicas y consejos locales, que promuevan la planificación conjunta y la transferencia de conocimientos. La gobernanza colaborativa, tal como lo plantean Fish *et al.* (2010), debe garantizar la participación activa de todos los actores y priorizar la equidad en la toma de decisiones, lo que contribuirá a una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos.

Finalmente, reconocer y valorar la diversidad de actores y sus roles en la gobernanza ambiental es fundamental para la sostenibilidad de los SEH. La construcción de confianza, la articulación de redes sólidas y la implementación de estrategias adaptativas constituyen pilares que permitirán enfrentar los desafíos del cambio climático y garantizar la equidad territorial en el acceso al agua. Este enfoque no solo fortalecerá la capacidad de los territorios para gestionar sus recursos, sino que también consolidará un modelo de desarrollo basado en la corresponsabilidad y la sostenibilidad.

### *Tejiendo redes en un contexto diverso*

La construcción y el fortalecimiento de redes en los territorios analizados no solo reflejan la diversidad cultural y ambiental, sino también el potencial transformador de una gestión integrada y colaborativa. En municipios como Cajibío, Silvia, Popayán y Puracé, la interacción entre actores institucionales, comunitarios y privados ha permitido identificar oportunidades y desafíos para la conservación de los servicios ecosistémicos hídricos. La creación de redes robustas resulta clave para superar la fragmentación en la gobernanza hídrica, garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y promover una bioeconomía inclusiva y equitativa (Pahl-Wostl 2009).

La diversidad cultural, representada por comunidades indígenas, campesinas y urbanas, constituye un activo fundamental que debe aprovecharse en la construcción de redes. Según Berkes *et al.* (2007), los saberes ancestrales, basados en la interacción histórica con los ecosistemas, ofrecen perspectivas únicas que pueden enriquecer los enfoques técnico-científicos. En este sentido, prácticas

tradicionales como la reforestación con especies nativas o la gestión comunitaria de fuentes hídricas han demostrado ser eficaces en la restauración de ecosistemas y en la mitigación de los efectos del cambio climático (Uprety *et al.* 2012). No obstante, estas iniciativas suelen enfrentar dificultades para articularse con las instituciones públicas, lo que limita su escalabilidad e impacto.

La Figura 2 ilustra la compleja red de actores –nodos rosados–, tipos de gobernanza –nodos verdes– y focos de conflicto –nodos rojos– identificados en la investigación. Esta visualización evidencia la necesidad de enfoques colaborativos y adaptativos que promuevan la integración de saberes y la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos.

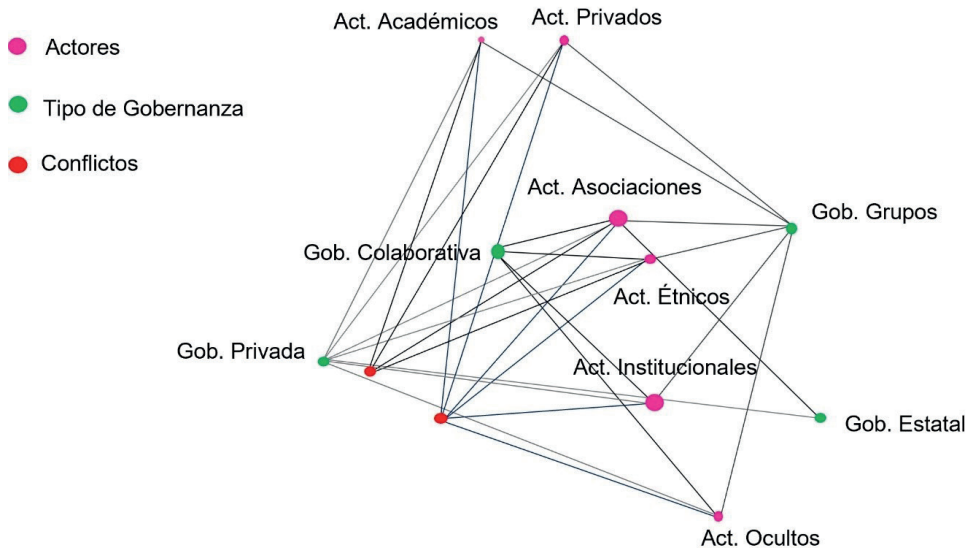


Figura 2. Identificación de actores, gobernanza y conflictos asociados a los SEH  
Fuente: elaboración propia.

La articulación efectiva de redes requiere la participación de todos los actores. La UNESCO (2020) enfatiza que la creación de plataformas inclusivas de diálogo, como mesas técnicas y consejos locales, resulta esencial para fomentar la planificación conjunta y la transferencia de conocimientos. Estas redes no solo permiten superar las barreras culturales y lingüísticas, sino que también generan confianza y legitimidad en las estrategias de conservación. En este contexto, el sector privado desempeña un papel relevante al adoptar prácticas productivas sostenibles que integren criterios ambientales y sociales. Según Stone (2015), la participación empresarial en redes colaborativas puede amplificar el impacto de las iniciativas, especialmente en sectores como el agroindustrial y el ecoturismo.

El fortalecimiento de estas redes también contribuye al desarrollo de la bioeconomía local y regional. Según la OECD (Lewandowski *et al.* 2019), la bioeconomía, al integrar el uso sostenible de recursos naturales con la innovación tecnológica, ofrece oportunidades para diversificar las economías locales y reducir la dependencia de actividades extractivas. En los territorios estudiados, las comunidades han comenzado a implementar prácticas agroecológicas y de manejo sostenible de páramos, lo que refleja un avance hacia la consolidación de una bioeconomía resiliente y adaptada a las realidades locales.

No obstante, el éxito de estas redes depende, en gran medida, de la gobernanza y de la capacidad de los actores para colaborar en un marco de corresponsabilidad. La gestión adaptativa, como lo plantea Ostrom (2009), requiere instituciones flexibles que integren los saberes locales con las políticas públicas y garanticen así la sostenibilidad de las acciones a largo plazo. En este sentido, la formación de capacidades locales y el fortalecimiento organizativo de las comunidades resultan fundamentales para consolidar redes efectivas.

En los municipios analizados se ha observado que la fragmentación en las relaciones entre actores institucionales y comunitarios representa un desafío significativo para la construcción de redes. La falta de confianza mutua, la competencia por recursos limitados y la ausencia de mecanismos formales de articulación dificultan la implementación de estrategias integrales. Sin embargo, estas debilidades también pueden entenderse como oportunidades para fortalecer la cooperación y promover una gobernanza más inclusiva y adaptativa.

En conclusión, tejer redes en un contexto diverso como el de los municipios estudiados no solo es necesario, sino también estratégico para enfrentar los retos ambientales y sociales del cambio climático. La integración de saberes ancestrales, el fortalecimiento de capacidades locales y la promoción de la bioeconomía constituyen pilares fundamentales para construir redes que no solo gestionen los SEH de manera sostenible, sino que también promuevan la equidad y el desarrollo territorial.

### *Fragmentación y desafíos en la construcción de gobernanza*

La gobernanza hídrica en los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán enfrenta retos estructurales que dificultan la implementación de estrategias integrales y sostenibles para la gestión de los SEH. La fragmentación en las relaciones entre actores institucionales, comunitarios y privados limita la capacidad de respuesta ante los desafíos ambientales y sociales. En este sentido, la gobernanza colaborativa resulta fundamental en contextos de alta complejidad, como el de los territorios analizados, donde las dinámicas sociales, culturales y ambientales son profundamente interdependientes. Tal como señalan Cisneros (2019) y

Eberhard y Craig (2013), la construcción de confianza, la participación de múltiples actores y la atención a las asimetrías de poder favorecen resultados más equitativos y una respuesta conjunta frente a impactos ambientales acumulativos. Estas perspectivas subrayan la urgencia de establecer marcos de participación y coordinación inclusivos que promuevan soluciones sostenibles.

Uno de los principales desafíos identificados es la falta de articulación efectiva entre las instituciones gubernamentales y las comunidades locales. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos –OECD– (2011) enfatiza que la gobernanza hídrica debe ser inclusiva y transparente para garantizar que todas las voces sean escuchadas y que las soluciones se adapten a las realidades locales. Sin embargo, en los territorios estudiados, la ausencia de espacios formales para el diálogo y la planificación conjunta ha generado desconfianza entre los actores, lo cual ha dificultado la implementación de políticas públicas que respondan a las necesidades del territorio.

Asimismo, la limitada capacidad técnica y financiera de las instituciones locales para abordar problemas complejos, como la contaminación del agua o la pérdida de biodiversidad, exacerba la fragmentación. Según la UNESCO (UN Water 2020), el fortalecimiento de capacidades institucionales es clave para construir una gobernanza resiliente que pueda responder a los impactos del cambio climático. En este contexto, la formación de alianzas estratégicas entre actores locales, regionales y nacionales resulta indispensable para superar las barreras estructurales y promover una gestión integrada del agua.

Otro aspecto relevante es la coexistencia de visiones y prioridades divergentes entre los diferentes actores. Las comunidades indígenas, por ejemplo, priorizan una visión sagrada y ancestral del agua, mientras que los sectores productivos y urbanos suelen enfocarse en su valor económico y funcional. Esta dualidad de enfoques, aunque enriquecedora, puede generar tensiones que dificultan la construcción de acuerdos. Según Bohensky, Butler y Davies (2013), la integración de saberes ancestrales y conocimientos técnicos no solo enriquece las estrategias de conservación, sino que también fortalece la legitimidad y la aceptación de las políticas públicas.

La fragmentación también se manifiesta en la ausencia de mecanismos efectivos de monitoreo y evaluación. En muchos casos, las instituciones responsables carecen de herramientas y recursos para realizar un seguimiento adecuado de las acciones implementadas. Esto no solo limita la capacidad de medir el impacto de las intervenciones, sino que también reduce la transparencia y la rendición de cuentas. Estudios como el de Pahl-Wostl *et al.* (2020) destacan que los sistemas de monitoreo participativo, que involucran a las comunidades locales, pueden ser una solución efectiva para abordar esta problemática.

Por otro lado, la competencia por recursos limitados, como el agua y la tierra, ha generado conflictos entre comunidades, instituciones y sectores productivos. Según Ostrom (2011), la gestión de recursos comunes requiere reglas claras y mecanismos de resolución de conflictos aceptados por todos los actores. Sin embargo, en los municipios analizados, la falta de gobernanza colaborativa ha perpetuado las desigualdades en el acceso a los recursos, lo que ha incrementado las tensiones sociales y económicas.

A pesar de estos desafíos, la fragmentación no debe entenderse únicamente como un problema, sino también como una oportunidad para construir una gobernanza más inclusiva y adaptativa. La creación de espacios de articulación, como mesas de diálogo y consejos locales, puede facilitar la construcción de confianza y la cooperación entre los actores. Además, la promoción de la bioeconomía, basada en prácticas sostenibles y adaptadas a las realidades locales, ofrece una vía para integrar intereses diversos y fomentar el desarrollo territorial.

En este orden de ideas, abordar la fragmentación en la gobernanza hídrica requiere un enfoque integral que combine inclusión social, fortalecimiento institucional e innovación. La construcción de redes de colaboración y la integración de saberes ancestrales y técnicos constituyen pasos fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los SEH y el bienestar de las comunidades locales.

### *Oportunidades hacia un territorio resiliente*

Los municipios estudiados presentan un conjunto de oportunidades clave que, de ser aprovechadas estratégicamente, pueden fortalecer la sostenibilidad de los SEH y contribuir al desarrollo de territorios resilientes frente a los desafíos climáticos y socioeconómicos. Entre estas oportunidades, se destaca la integración de conocimientos ancestrales con enfoques técnicos y científicos, una combinación que puede enriquecer significativamente las estrategias de conservación. Como señala Kimmerer (2012), los sistemas de conocimiento tradicionales no solo complementan las metodologías científicas, sino que también promueven soluciones adaptadas a contextos locales que fomentan la legitimidad y el compromiso de las comunidades.

Además, la diversidad cultural y ambiental de los territorios proporciona un terreno fértil para la innovación en la gestión de los recursos hídricos. Los paisajes que incluyen páramos, humedales y bosques andinos, junto con las prácticas culturales de las comunidades indígenas y campesinas, representan una oportunidad para diseñar estrategias basadas en la protección de ecosistemas estratégicos. Estudios como los de Pahl-Wostl y Kranz (2010) destacan que la gobernanza adaptativa, cuando incorpora la participación activa de todos los actores, permite responder con mayor eficacia a las variabilidades climáticas y ambientales.

El fortalecimiento de redes de cooperación entre actores locales e institucionales es otro elemento central. Aunque en la actualidad existen desconexiones entre las comunidades, las instituciones públicas, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado, estas relaciones pueden transformarse en plataformas colaborativas para la planificación conjunta y el desarrollo de políticas integrales. Según Armitage *et al.* (2014), las redes de gobernanza que promueven la cogestión y el aprendizaje mutuo son fundamentales para superar la fragmentación y construir resiliencia en los territorios.

Por otro lado, la bioeconomía emerge como una oportunidad transformadora para los municipios. Este modelo económico, basado en el uso sostenible de los recursos naturales, no solo ofrece alternativas económicas viables, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas. Iniciativas como la producción agroecológica, el ecoturismo y el manejo sostenible de bosques y páramos pueden generar beneficios económicos directos para las comunidades, al tiempo que fortalecen la resiliencia ecológica. De acuerdo con Midance, Serrano y Bonoli (2021), la bioeconomía tiene el potencial de integrar los objetivos de conservación ambiental con el desarrollo económico y promover un equilibrio entre ambas dimensiones.

En términos de gobernanza, la creación de espacios de articulación, como consejos locales de agua y biodiversidad, representa una herramienta poderosa para mejorar la comunicación y la colaboración entre los diferentes actores. Estos espacios no solo permiten la construcción de confianza, sino que también fomentan una gobernanza más inclusiva y equitativa. Según la UNESCO (2020), los mecanismos de participación comunitaria son esenciales para garantizar que las soluciones propuestas reflejen las realidades y prioridades locales.

La educación ambiental también juega un papel clave en la construcción de territorios resilientes. Promover procesos de formación y sensibilización que resalten la importancia de los SEH y los impactos del cambio climático puede empoderar a las comunidades para que asuman un rol activo en la conservación de sus territorios. Como señala Elliott (1999), la educación y la sensibilización son pilares fundamentales para la construcción de una ciudadanía ambientalmente consciente y comprometida.

La capacidad de las comunidades para liderar iniciativas de conservación y restauración, basada en su conocimiento del territorio y su conexión con los recursos naturales, es una de las mayores fortalezas de los municipios analizados. Empoderar a estos actores locales y brindarles herramientas técnicas y organizativas puede potenciar su papel como guardianes del agua y la biodiversidad. Según Ostrom (2009), la gestión comunitaria de los recursos comunes no solo es efectiva para garantizar la sostenibilidad, sino que también promueve la equidad y la justicia en el acceso y uso de los recursos.

Es pertinente resaltar que las oportunidades identificadas en los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán son un testimonio del potencial transformador de los territorios cuando se adoptan enfoques integrales e inclusivos. Aprovechar estas oportunidades requerirá una visión estratégica que integre el conocimiento local y técnico, al tiempo que motive la colaboración entre actores y fomente el desarrollo de la bioeconomía como motor de sostenibilidad y resiliencia territorial.

## Conclusiones

La gestión sostenible de los SEH en los municipios analizados subraya la importancia de la colaboración entre actores diversos como comunidades indígenas, campesinas y urbanas, así como instituciones públicas, la academia y el sector privado. Este apartado resalta cómo la integración de saberes ancestrales, conocimientos técnico-científicos y enfoques de bioeconomía puede transformar las dinámicas territoriales e incentivar soluciones sostenibles y adaptadas a las realidades locales. La bioeconomía, en particular, se presenta como una herramienta clave para vincular la conservación ambiental con el desarrollo económico, al ofrecer alternativas productivas sostenibles que fortalecen las economías locales y contribuyen a la resiliencia frente al cambio climático. Sin embargo, la fragmentación de relaciones y los conflictos de intereses entre actores limitan el potencial de estas estrategias. Avanzar hacia una gobernanza inclusiva, que fomente la confianza y el diálogo, es esencial para garantizar la sostenibilidad de los SEH y el bienestar de las comunidades.

## Referencias

- Agrawal, Arun y Clark Gibson  
1999 Enchantment and disenchantment: The role of community in natural resource conservation. *World Development*. 27 (4): 629-649. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00161-2) (Acceso: 14/11/2024).
- Berkes, Fikret; Johan Colding y Carl Folke  
2000 Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*. 10 (5): 1251-1262. doi: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2) (Acceso: 14/11/2024).
- Berkes, Fikret  
2007 Community-based conservation in a globalized world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104 (39): 15188-15193. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0702098104> (Acceso: 14/11/2024).
- Bohensky, Erin; James Butler y Jocelyn Davies  
2013 Integrating indigenous ecological knowledge and science in natural resource management: Perspectives from Australia. *Ecology and Society*. 18 (3): 285-285. Disponible en: [www.jstor.org/stable/2626933](http://www.jstor.org/stable/2626933) (Acceso: 14/11/2024).

- Cisneros, Paúl  
 2019 What makes collaborative water governance partnerships resilient to policy change? A comparative study of two cases in Ecuador. *Ecology and Society*. 24(1):1-29. Disponible en: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/6759aa1c0ce2cede71c99bdd> (Acceso: 14/11/2024).
- Midence, Roger; Francisco Serrano y Alessandra Bonoli  
 2022 Bioeconomía y biodiversidad preservada en Centroamérica. *Revista de Fomento Social*. 302: 7-21. doi: 10.32418/rfs.2022.302.5188 (Acceso: 14/11/2024).
- Eberhard, Manuel y Justin Craig  
 2013 The evolving role of organisational and personal networks in international market venturing. *Journal of World Business*. 48 (3): 385-397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2012.07.022> (Acceso: 14/11/2024).
- Elliott, John  
 1999 Sustainable society and environmental education: Future perspectives and demands for the educational system. *Cambridge Journal of Education*. 29 (3): 325-340. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=EJ636158> (Acceso: 14/11/2024).
- Fish, Rob *et al.*  
 2010 Integrating water and agricultural management: Collaborative governance for a complex policy problem. *Science of the Total Environment*. 408 (23): 5623-5630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.010> (Acceso: 20/01/2025).
- Lewandowski, Iris *et al.*  
 2019 Biobased value chains for a growing bioeconomy. *GCB Bioenergy*. 11 (1): 4-8. doi: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12578> (Acceso: 20/01/2025).
- OECD –Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos–  
 2011a Principles on Water Governance. Disponible en: [www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf](http://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf/_jcr_content/renditions/original/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf) (Acceso: 14/11/2024).
- 2011b *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*. París: OECD Publishing.
- Ostrom, Elinor  
 2009 A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*. 325 (5939): 419-422. doi: 10.1126/science.1172133 (Acceso: 10/10/2024).
- Ostrom, Elinor  
 2010 Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. *American Economic Review*. 100 (3): 641-672. doi: <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641> (Acceso: 10/10/2024).
- Ostrom, Elinor  
 2015 *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press.

Pahl-Wostl, Claudia

- 2009 A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 19 (3): 354-365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001> (Acceso: 10/10/2024).
- 2020 Enhancing the capacity of water governance to deal with complex management challenges: A framework of analysis. *Environmental Science and Policy*. 107: 23-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.011> (Acceso: 14/11/2024).

Pahl-Wostl, Claudia y Nicole Kranz

- 2010 Water governance in times of change. *Environmental Science and Policy*. 13 (7): 567-660. doi: [10.1016/j.envsci.2010.09.004](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.09.004) (Acceso: 14/11/2024).

Rashed, Abdulkarim y Afzal Shah

- 2021 The role of private sector in the implementation of sustainable development goals. *Environment, Development and Sustainability*. 23 (3): 2931-2948. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00718-w> (Acceso: 20/01/2025).

Stone, Moren

- 2015 Community-based ecotourism: A collaborative partnerships perspective. *Journal of Ecotourism*. 14 (2-3): 166-184. doi: <https://doi.org/10.1080/14724049.2015.1023309> (Acceso: 20/01/2025).

UNESCO –Organización de las Naciones Unidas

para la Educación, la Ciencia y la Cultura–

- 2020a *Education for sustainable development: A roadmap*. París: UNESCO.
- 2020b Global education monitoring report 2020: Inclusion and education: All means all. Disponible en: <https://gem-report-2020.unesco.org> (Acceso: 10/10/2024).

Uprety, Yadav *et al.*

- 2012 Contribution of traditional knowledge to ecological restoration: Practices and applications. *Ecoscience*. 19 (3): 225-237. doi: <https://doi.org/10.2980/19-3-3530> (Acceso: 20/01/2025).

# Caracterización socioecológica de los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR–

JULIANA SALAZAR BENÍTEZ, DIANA MARCELA RUÍZ ORDÓÑEZ  
Y CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ

## Introducción

Desde un enfoque socioecológico se reconocen las interacciones multidimensionales entre los componentes biofísicos, sociales, culturales, económicos y políticos que influyen en las dinámicas de uso y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos hídricos en los territorios (Gain *et al.* 2021; Gomez-Jaramillo *et al.* 2024). Bajo esta perspectiva sistémica, el proyecto ‘Bioeconomía’ propone una metodología integral para analizar y comprender las características socioecológicas de las áreas priorizadas, en estrecha relación con los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR– en los municipios de Cajibío, Popayán, Puracé y Silvia. Esta aproximación holística resulta clave para evidenciar la interdependencia entre el acceso al recurso hídrico y la integridad de los ecosistemas que lo sustentan. Garantizar el acceso al agua ha sido, y continúa siendo, una prioridad en las agendas públicas globales de desarrollo, en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible –ODS–, particularmente el objetivo 6: “Agua limpia y saneamiento” (UNDP 2015). Se trata de un reto especialmente significativo para las comunidades rurales, que enfrentan problemáticas como la contaminación ambiental y los efectos del cambio climático.

En este estudio se propuso una batería metodológica robusta, integrada por diversas herramientas que permiten evaluar, en una escala espacial y temporal definida, las condiciones de calidad del agua en las fuentes abastecedoras rurales priorizadas. Esta metodología incluye la medición de caudal, la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto *in situ* como en laboratorio, la recolección y clasificación de macroinvertebrados acuáticos, la evaluación ecológica rápida y el levantamiento florístico. La selección de estos métodos responde a su capacidad de generar información relevante para la gestión integral del recurso hídrico, lo cual facilita la toma de decisiones y contribuye a la construcción de territorios sostenibles.

El caudal, junto con las variables fisicoquímicas y microbiológicas, constituye un indicador fundamental en el monitoreo de las fuentes superficiales de agua destinadas al consumo humano. Su medición permite determinar la disponibilidad del recurso y evaluar posibles alteraciones en la dinámica hídrica (Durán 2016). Asimismo, el análisis de parámetros como turbiedad, conductividad, concentración de nutrientes y presencia de patógenos resulta crucial para garantizar la seguridad del agua potable y proteger la salud de las poblaciones (WHO 2022). Estos indicadores posibilitan identificar cambios en la calidad del agua asociados a impactos antrópicos como la pérdida de coberturas vegetales, vertimientos de aguas residuales o el uso inadecuado del suelo en zonas de captación (Huang *et al.* 2020).

El uso de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales como bioindicadores de la calidad del agua es un método ampliamente validado, debido a su capacidad de reflejar las condiciones ecológicas de los cuerpos hídricos (Orozco y Ocasio 2023; Roldán 2016). Estos organismos responden de manera diferencial a la contaminación y a cambios en la estructura del ecosistema acuático, lo que permite una evaluación biológica complementaria a los análisis fisicoquímicos. A través del cálculo del índice BMWP/Col –Biological Monitoring Working Party, adaptado para Colombia–, que asigna valores de tolerancia a diferentes familias de macroinvertebrados, es posible clasificar la calidad del agua en rangos que van desde muy buena hasta altamente contaminada (Roldán 1988, 2016). La practicidad de este método facilita la participación comunitaria en los monitoreos al promover la ciencia ciudadana en la gestión del agua en territorios rurales (Ramírez *et al.* 2023).

Estos análisis se complementan con la evaluación ecológica rápida, un método que permite documentar las condiciones ambientales y socioecológicas de las fuentes de abastecimiento de agua rural. Mediante criterios cualitativos y cuantitativos, es posible caracterizar los impactos sobre la calidad del agua y la funcionalidad del ecosistema ripario (Singh *et al.* 2021). Este enfoque contribuye a generar diagnósticos sobre la degradación del hábitat y su relación con la disponibilidad hídrica al ofrecer insumos valiosos para planificar estrategias de conservación y restauración en cuencas hidrográficas.

Por último, el levantamiento florístico de la franja riparia constituye un componente esencial en la evaluación de la calidad ecológica de los sistemas de abastecimiento de agua. Mediante el análisis de la composición, la diversidad y la estructura de la vegetación, se determina el grado de protección y conservación del ecosistema ripario. La extensión y densidad de esta vegetación son indicadores clave de su capacidad para mitigar impactos como la erosión, la contaminación difusa y la alteración del microclima local. Además, este tipo de evaluación permite establecer si las franjas riparias cumplen adecuadamente su función de amortiguamiento frente a actividades antrópicas y usos del suelo en las zonas rurales (Prado *et al.* 2022).

La información obtenida servirá como insumo para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico, la conservación de los servicios ecosistémicos hídricos y el fortalecimiento de estrategias de bioeconomía y de encadenamiento productivo en el territorio. En este contexto, la promoción de prácticas productivas con responsabilidad ambiental resulta fundamental para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico y su disponibilidad, tanto en el presente como para las generaciones futuras, al mismo tiempo que articula el conocimiento científico con la participación comunitaria y el desarrollo de economías locales resilientes.

## Metodología

En un diálogo conjunto entre el equipo técnico, los promotores ambientales municipales y la comunidad, se realizó la selección de los sistemas de abastecimiento de agua rural, o soluciones de agua, para cada una de las subcuencas o microcuencas priorizadas dentro del proyecto. Estos sistemas fueron escogidos por su impacto en el suministro de agua para consumo humano en los territorios. En la Tabla 1 se resumen los sistemas por municipio, entre los cuales se destaca la fuente abastecedora y la vereda donde se encuentra el área de bocatoma.

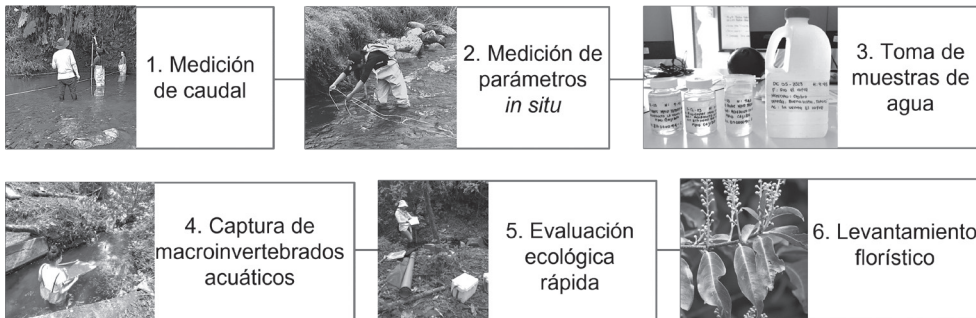
Tabla 1. Soluciones de agua o sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR– priorizadas en los cuatro municipios

Municipio	Cuenca	Vereda	Fuente abastecedora	Saar
Puracé	Microcuenca Los Ranchos	El Mirador	Solución de Agua La Cortina	SAAR La Cortina
Popayán	Subcuenca río Las Piedras	Quintana	Quebradas La Chorrera y Pajona	SAAR ACUAQUIN
		San Ignacio	Quebrada Carnicerías	SAAR Las Huacas C.
		El Canelo	Quebrada La Montaña	SAAR La Montaña
		Las Huacas	Quebrada Velasquillo	SAAR Las Huacas V.
		Laureles	Quebradas El Palmichal y Agua Colorada	SAAR Laureles
		La Laguna	Quebrada Agua Bonita-La Laguna	SAAR Velasquillo

Municipio	Cuenca	Vereda	Fuente abastecedora	Saar
Cajibío	Subcuenca Cajibío	La Pajosa Alta	Quebrada La Pajosa Alta	SAAR El Cairo
		El Porvenir	Quebrada las Guacas	SAAR El Porvenir
		El Cedro	Quebrada el Cedro	SAAR El Cedro
	Subcuenca Palacé	La Meseta	Quebrada Río Cajibío	SAAR El Túnel
		Buenavista	Río Cofre	SAAR La Venta
Silvia	Subcuenca río Molino	Santa Clara	Quebrada Molino	Acueducto La Marquesa
	Subcuenca río Piendamó	Cruces-Tres Cruces	Quebrada Manchay	Acueducto Cruces-Tres Cruces

Fuente: elaboración propia.

En cada una de las fuentes abastecedoras de agua superficial se realizó un monitoreo puntual entre los meses de octubre y diciembre –temporada seca–, en colaboración con actores clave de la comunidad. Dicho monitoreo siguió la metodología de caracterización socioecológica propuesta, la cual integra la medición de caudal y de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua –tanto *in situ* como en laboratorio–, la captura de macroinvertebrados, la aplicación de una evaluación ecológica rápida y el levantamiento florístico en las zonas aledañas al cauce (Fotografía 1).



Fotografía 1. Fotocomposición metodología de caracterización socioecológica implementada en las soluciones de agua o SAAR priorizados en los cuatro municipio  
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan de manera breve los métodos utilizados:

- a. *Medición de caudal.* Se utilizó un decámetro para medir el ancho de la quebrada o el río y un caudalímetro para determinar el caudal. Sin embargo, en algunas fuentes no fue posible realizar la medición debido a la escasa cantidad de agua y a la velocidad mínima del flujo, lo que impidió llevar a cabo el procedimiento.
- b. *Medición de parámetros fisicoquímicos in situ.* Se realizaron mediciones directamente en las fuentes hídricas de diversos parámetros fisicoquímicos, como pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales –TDS– y oxígeno disuelto, utilizando una sonda multiparamétrica portátil HACH HQ40D. Para ello, es importante ubicar los sensores lejos de los bordes del cauce y, en la medida de lo posible, en la zona central del flujo.
- c. *Toma de muestras de agua.* Las muestras puntuales de agua se recolectaron en la zona central del cauce para garantizar la precisión de los resultados. Los frascos sin fijador se purgaron tres veces antes de la toma, mientras que aquellos con fijador incorporado solo se sumergieron para su llenado. Cada frasco se introdujo a contracorriente, para evitar la entrada de material particulado, y se posicionó a una distancia aproximada de 30 cm de la superficie o a mitad de camino entre la superficie y el fondo. El límite de llenado dependió del tipo de parámetro a analizar –revisar norma NTC-ISO 5667-1 (ICONTEC s. f.)–. Asimismo, se evitó tocar la boca del frasco y se cerró correctamente para prevenir derrames. Cada muestra fue etiquetada con ubicación, nombre del cauce, fecha, hora y tipo de fijación. Posteriormente, las muestras se almacenaron en neveras con hielo ( $T = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y fueron transportadas al laboratorio en el menor tiempo posible para su análisis. Los parámetros escogidos fueron turbiedad, nitratos, fosfatos, demanda química de oxígeno –DQO–, sólidos suspendidos totales –SST–, coliformes totales y presencia de *Escherichia coli*.
- d. *Captura y clasificación de macroinvertebrados acuáticos.* Se seleccionó un sitio de poca profundidad, con una corriente moderada que permitiera instalar la red de pantalla frente al flujo. Corriente arriba, se removió el lecho del río con los pies, levantando arenas, lodos y piedras, lo que facilitó la liberación y captura de los individuos. Otros miembros del equipo realizaron la colecta utilizando coladores o de forma manual, retirando piedras y hojarasca para observar los macroinvertebrados. Con ayuda de pinzas, los ejemplares se retiraron de las mallas y se almacenaron en frascos rotulados con alcohol al 70 % para su posterior clasificación en el laboratorio mediante estereoscopio y con apoyo de la guía de clasificación de macroinvertebrados (Roldán 1988). Se calculó el índice BMWP/Col,

asignando puntajes a las familias encontradas. Los valores oscilaron entre 1 y 10, donde los organismos más sensibles a la contaminación recibieron valores más altos, y los más tolerantes, más bajos. El total obtenido correspondió a un rango de clasificación de calidad del agua.

- e *Evaluación ecológica rápida.* A través de diálogos con los actores comunitarios participantes en la jornada y de recorridos de observación en las zonas aledañas al cauce, se diligenció el registro de campo, que recopiló información relevante como: contaminación puntual –descargas– o difusa asociada a actividades antrópicas, tipo de vegetación alrededor del cauce –cordón ripario–, color y olor del agua, tipo de lecho del río, eventos climáticos, así como zonas de recarga, nacimientos de agua, aislamiento de humedales y bosques naturales.
- f *Levantamiento florístico.* Se aplicó la metodología de evaluación ecológica rápida para la identificación de especies vegetales en las áreas aledañas al cauce. Mediante un transecto de Gentry –50 m de longitud por 2 m de ancho–, se registraron de manera sistemática diversas variables estructurales de la vegetación, como el diámetro a la altura del pecho –DAP–, la altura del individuo –eje X– y la cobertura –eje Y–. Además, se consignó el hábito de cada individuo, clasificando las plantas según su forma de crecimiento en árboles, arbustos, herbáceas o trepadoras.

## Resultados y discusión

En esta sección, se presentan y discuten los resultados obtenidos en las jornadas de caracterización socioecológica realizadas en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR–, agrupados por municipio.

### *SAAR Puracé*

El monitoreo se llevó a cabo en el SAAR La Cortina, que beneficia a la comunidad de ASCEMOL en la microcuenca Los Ranchos. La fuente abastecedora corresponde a un nacimiento de agua ubicado en una zona de humedal, modificada por la construcción comunitaria de un ‘coque’, denominación empleada por la comunidad para referirse a un represamiento de agua que permite conducirla mediante un tubo hacia un tanque de almacenamiento, situado unos metros más abajo. Desde allí, el recurso se distribuye a los hogares para múltiples usos, incluido el consumo humano.

Dado que no se trata de un afluente –quebrada o río–, no fue posible realizar mediciones de caudal ni la recolección de macroinvertebrados.

*Medición puntual de parámetros fisicoquímicos in situ y en laboratorio*

Los parámetros microbiológicos evaluados evidenciaron ausencia tanto de coliformes totales como de *E. coli*, lo cual constituye un indicador de buena calidad del agua y de ausencia de riesgo para la salud por infecciones de origen hídrico.

En cuanto a las variables fisicoquímicas, los sólidos suspendidos totales –SST– y la demanda química de oxígeno –DQO– presentaron valores por debajo del límite de detección (SST < 20 y DQO < 3), lo que refleja bajos niveles de contaminación por materia orgánica e inorgánica. La turbiedad registró un valor de 1,82 NTU, dentro de los estándares normativos para agua potable, cuyo límite es 2 NTU (República de Colombia 2007). En conjunto, estos resultados indican que el agua cruda presenta buena calidad, con bajos niveles de sedimentos, materia orgánica y otros sólidos en suspensión.

Los parámetros de pH, conductividad y sólidos disueltos totales –TDS– (Gráfico 1) se encuentran dentro de los límites normativos establecidos para agua potable (República de Colombia 2007), los cuales confirman la adecuada calidad del recurso. No obstante, los niveles de oxígeno disuelto –OD– y de saturación de oxígeno (%) resultaron bajos, con valores de 3,83 mg O<sub>2</sub>/L y 51,5 %, respectivamente. Esta condición puede atribuirse a factores naturales propios del nacimiento, tales como el flujo lento y la escasa agitación, que limitan el intercambio gaseoso con la atmósfera y, por tanto, la oxigenación constante del agua. Asimismo, la presencia de material vegetal en descomposición puede contribuir a la reducción del OD. Sin embargo, también podría ser indicativo de impactos ambientales, como el incremento de nutrientes –fósforo o nitrógeno–, que favorecen procesos de eutrofización con alta demanda de oxígeno.

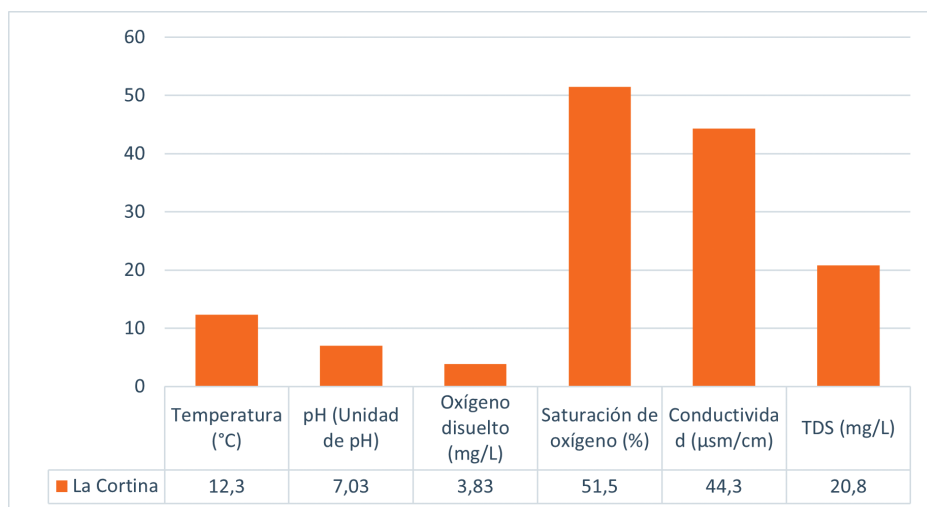


Gráfico 1. Parámetros fisicoquímicos analizados para el SAAR La Cortina  
Fuente: elaboración propia.

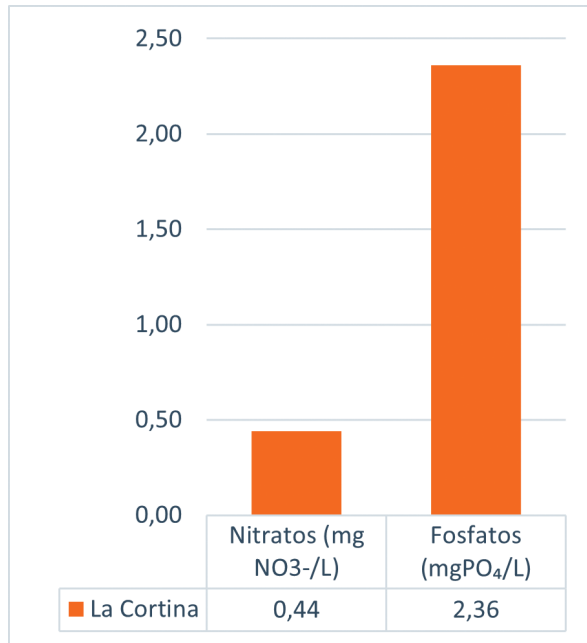


Gráfico 2. Parámetros fisicoquímicos-nutrientes analizados para el SAAR La Cortina  
Fuente: elaboración propia.

En cuanto al análisis de nutrientes (Gráfico 2), los nitratos presentaron una concentración de 0,44 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, valor que se encuentra por debajo del límite normativo para agua potable (<10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L). En contraste, los fosfatos registraron una concentración de 2,36 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L, que superan el valor máximo permitido de 0,5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L para agua potable.

Si bien, al tratarse de agua cruda, este resultado no representa una situación crítica en sí misma, debe tenerse en cuenta que el sistema de abastecimiento no cuenta con procesos de potabilización que permitan reducir dichas concentraciones y, por ende, mitigar sus posibles efectos sobre la salud.

### *Evaluación ecológica rápida*

En las áreas cercanas a la captación, el uso del suelo se caracteriza por la presencia de viviendas dispersas, pasturas y potreros destinados a la ganadería, cultivos de papa y rastrojos. La zona ribereña, en un margen de 10 m a cada lado del cauce, presenta una cobertura dominada por vegetación riparia arbustiva, rastrojo bajo y pastos, con una cobertura arbórea inferior al 10 %.

Se ha implementado un proceso de reforestación que permitió aislar parte del área circundante al cauce, especialmente en la zona del nacimiento de agua. Sin embargo, aún persiste un sector que no fue incluido en la estrategia de protección debido a la falta de acuerdos con los propietarios. En esta zona, el ganado accede directamente al humedal asociado al cauce, lo que representa un riesgo para la calidad del agua por compactación del suelo, aporte de materia orgánica y reducción de la cobertura vegetal protectora.

### Levantamiento florístico

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida, el área de estudio corresponde a un bosque húmedo montano o bosque de montaña (Cuatrecasas 1958; Holdridge 1987). No obstante, las observaciones de campo evidencian un paisaje fragmentado y altamente perturbado. El perfil vertical muestra un ecosistema dominado principalmente por los estratos arbustivo y herbáceo, con una notable escasez de especies arbóreas.

En el relicto evaluado, la familia *Asteraceae* es la más representativa, con un 52 % de cobertura, seguida de *Myricaceae* con un 15 %. Se destaca la especie *Baccharis lehmannii*, que presenta la mayor área basal relativa (>50 %) y es reconocida por su papel como especie colonizadora en las primeras etapas de sucesión ecológica. La segunda especie con mayor área basal es *Weinmannia rollottii*, con una representación del 15 %.

Por otro lado, el perfil horizontal (Gráfico 3) evidencia una distribución desigual de la vegetación y una baja conectividad biológica entre los fragmentos del área. La limitada diversidad vegetal y la ausencia de una estructura forestal consolidada indican que el ecosistema aún no ha alcanzado un equilibrio ecológico estable, lo que podría afectar tanto la regeneración natural como la provisión de servicios ecosistémicos clave.

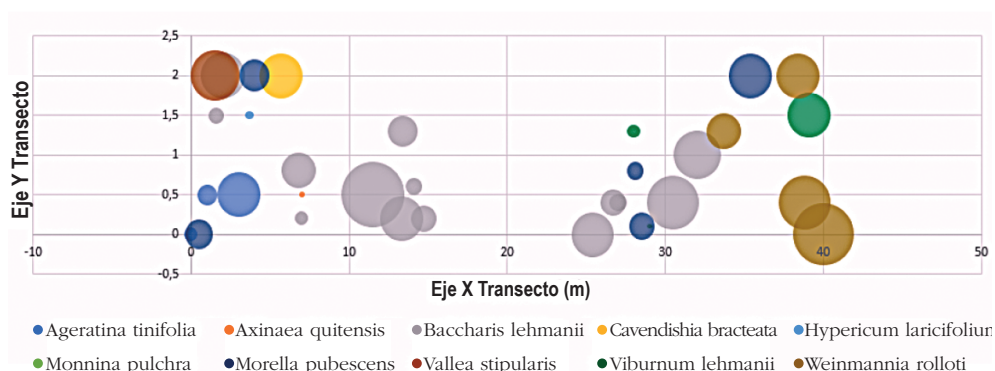


Gráfico 3. Perfil horizontal transecto zona aledaña al SAAR La Cortina  
Fuente: elaboración propia.

*SAAR Popayán*

*Medición de caudal*

El diálogo con los diversos actores que participaron en las jornadas de campo, junto con las mediciones de caudal, evidenció una marcada reducción en la disponibilidad de agua durante la temporada seca en algunos sistemas. En particular, el SAAR Laureles fue el más afectado. Este presentó una disminución significativa en su caudal permanente, lo que generó condiciones lénticas y favoreció la acumulación de sedimentos.

A pesar de esta reducción, todos los SAAR lograron mantener el suministro diario de agua sin interrupciones para las comunidades beneficiarias. Se prevé que con la llegada de la temporada de lluvias se recupere el balance hídrico de estas fuentes y se restablezca el caudal mínimo vital necesario para el bienestar de los ecosistemas y de la biota asociada.

Tabla 2. Resultado de la medición de caudal en los seis SAAR

SAAR	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud del cauce (m)
SAAR AQUAQUIN	Sin flujo para medición	2,3
SAAR La Montaña	0,1	0,62
SAAR Huacas Carnicerías	0,1	1,2
SAAR Laureles	Sin flujo para medición	1,6
SAAR Huacas Velasquillo	Sin flujo para medición	0,5
SAAR Velasquillo	Sin flujo para medición	3,0

Fuente: elaboración propia.

*Medición puntual de parámetros fisicoquímicos in situ y en laboratorio*

Los resultados microbiológicos (Tabla 2) evidenciaron la presencia de coliformes totales en todos los sistemas evaluados, a excepción del SAAR AQUAQUIN, en el cual no se detectaron coliformes totales ni *E. coli*. La ausencia de esta bacteria en todas las muestras indica que no existe contaminación reciente de origen fecal, lo que reduce significativamente el riesgo sanitario asociado al consumo de agua. No obstante, la presencia de coliformes totales sugiere la posible existencia de materia orgánica en descomposición o contaminación ambiental, lo que resalta la importancia de implementar procesos de desinfección y monitoreos continuos en los sistemas de abastecimiento.

En todos los SAAR evaluados se encontraron valores por debajo del límite de detección para sólidos suspendidos totales (SST < 20 mg/L), demanda química de oxígeno (DQO < 3 mg/L) y turbiedad (< 1 NTU), con excepción del SAAR Las Huacas Velasquillo, que presentó una turbiedad de 1,69 NTU. Dado que no existe una normativa específica para agua cruda, se tomó como referencia la Resolución 2115 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 2007) sobre agua potable, la cual establece un límite máximo de turbiedad de 2 NTU. En este sentido, los sistemas evaluados presentan condiciones favorables en términos de claridad y baja presencia de partículas en suspensión. Asimismo, los bajos valores de DQO reflejan una reducida cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, lo que sugiere que no existen aportes significativos de contaminación por vertimientos o materia orgánica en descomposición. Estos resultados indican que, a pesar de la presencia de coliformes totales, la calidad del agua en términos de carga orgánica y material particulado es adecuada, lo que facilita los procesos de potabilización.

Adicionalmente, se evaluaron otros parámetros fisicoquímicos, los cuales mostraron una variabilidad esperada entre los seis sistemas (gráficos 4 y 5):

- a *pH*. Se encontró dentro del rango recomendado para consumo humano (República de Colombia 2007), con valores entre 6,90 y 7,37, característicos de aguas neutras.
- b *Oxígeno disuelto –OD– y saturación de oxígeno (%)*. El SAAR Velasquillo registró el valor más bajo (5,70 mg O<sub>2</sub>/L-77 %), aunque por encima del umbral crítico para ecosistemas acuáticos (OD < 5 mg O<sub>2</sub>/L). Por su parte, el SAAR Huacas Carnicerías presentó la mejor oxigenación del cauce (8,79 mg O<sub>2</sub>/L).
- c *Conductividad y sólidos disueltos totales –TDS–*. El SAAR Huacas Carnicerías presentó los valores más altos (117,6 µS/cm y 55,8 mg/L, respectivamente), lo que sugiere una mayor mineralización del agua en comparación con los demás sistemas, aunque dentro de los rangos esperados para cuerpos de agua superficiales.
- d *Nutrientes*. El SAAR Huacas Velasquillo presentó el valor más alto para nitratos (2,21 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), sin superar el estándar para agua potable (10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L). Sin embargo, los fosfatos (0,77 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L) excedieron el límite máximo aceptable para agua potable (0,5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L). Una tendencia similar se observó en el SAAR Huacas Carnicerías, que registró concentraciones aún más elevadas de fosfatos (1,80 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L). Estos resultados pueden estar asociados con actividades agropecuarias o descargas de materia orgánica.

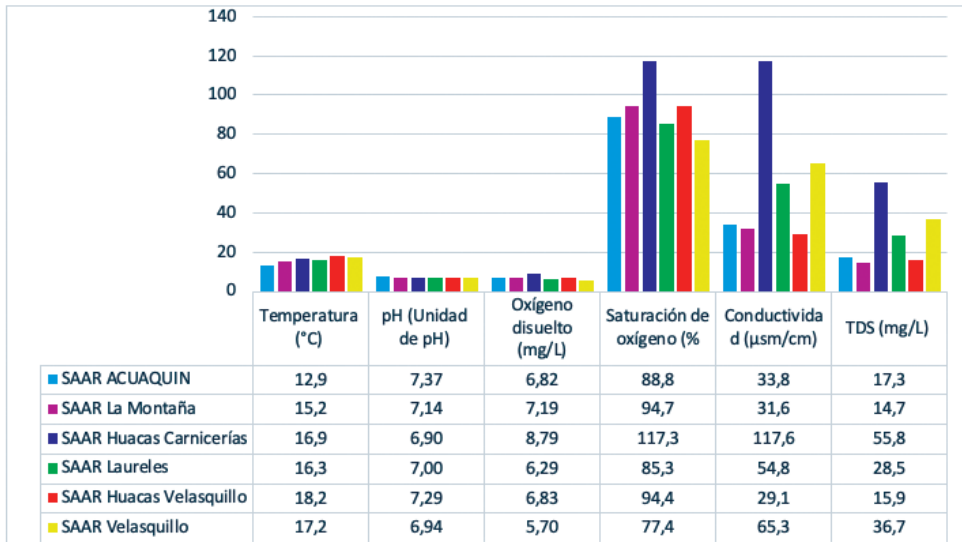


Gráfico 4. Parámetros fisicoquímicos analizados para los seis SAAR  
Fuente: elaboración propia.

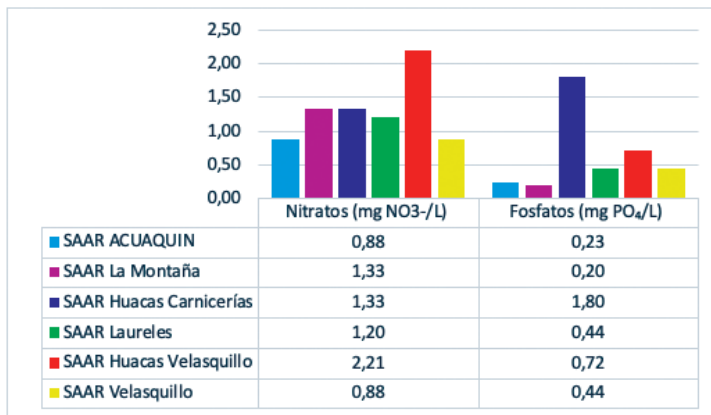


Gráfico 5. Parámetros fisicoquímicos-nutrientes analizados para los seis SAAR  
Fuente: elaboración propia.

### *Captura y clasificación de macroinvertebrados acuáticos*

Los individuos recolectados se clasificaron por familias, sin considerar su abundancia. Asimismo, se calculó el índice BMWP/Col (Tabla 3), del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. Clasificación y cálculo BMWP/Col de macroinvertebrados acuáticos

SAAR	Nro. de familias	Puntaje	Rango	Clase
SAAR AQUAQUIN	8	59	36-60	III Aguas moderadamente contaminadas
SAAR La Montaña	4	30	16-35	IV Aguas muy contaminadas
SAAR Huacas Carnicerías	5	33	16-35	IV Aguas muy contaminadas
SAAR Laureles	7	38	36-60	III Aguas moderadamente contaminadas
SAAR Huacas Velasquillo	0	0	0	Sin individuos por tipo de sustrato y afluente
SAAR Velasquillo	4	30	16-35	IV Aguas muy contaminadas

Fuente: elaboración propia.

Aunque el análisis de calidad de agua, a partir de la bioindicación, no resultó muy favorable para los diferentes sistemas, se revisaron y consideraron las familias clasificadas para cada SAAR. Se halló una baja diversidad de organismos bentónicos, aunque en su mayoría correspondieron a grupos con alta sensibilidad a la contaminación, lo que aportó puntajes elevados, como en el caso de *Simuliidae*, *Hydrobiosidae*, *Leptoceridae*, *Lymnaeidae* y *Perlidae*. Al integrar este análisis con las condiciones fisicoquímicas ya descritas, es posible inferir que la composición de estas comunidades acuáticas pudo verse afectada por la reducción de caudal y los cambios en el sustrato o lecho del río, particularmente por la acumulación de sedimentos finos. Lo anterior sugiere posibles condiciones de agua de buena calidad, aunque con factores limitantes para una mayor biodiversidad.

#### *Evaluación ecológica rápida*

La Tabla 4 resume el levantamiento de información obtenido mediante la evaluación ecológica rápida. Los recorridos hacia los sistemas permitieron evaluar algunas condiciones de cobertura, donde se evidenció, en el caso de SAAR La Montaña, AQUAQUIN y Huacas Carnicerías, la predominancia de actividades ganaderas. En la mayoría de los cauces, la vegetación riparia y la cobertura de dosel presentaron mayoritariamente vegetación arbustiva, rastrojos y relictos de bosque con árboles dispersos. Por su parte, SAAR Velasquillo mostró buena cobertura y aislamiento gracias a la presencia de bosques conservados, mientras que SAAR Huacas Velasquillo evidenció procesos de recuperación con vegetación nativa.

Tabla 4. Resumen de la evaluación ecológica rápida para los seis SAAR de Popayán monitoreados en zonas de bocatomas

Condiciones del área	SAAR AQUAQUIN	SAAR La Montaña	SAAR Huacacarnicerías	SAAR Laureles	SAAR Huacas Velasquillo	SAAR Velasquillo
Tipo de topografía	Relieve quebrado con pendientes fuertes (50 %)	Relieve quebrado con pendientes fuertes (50 %)	Relieve ondulado con pendientes suaves (20 %)	Relieve ondulado con pendientes fuertes (50 %)	Relieve ondulado y quebrado con pendientes moderadas	Relieve ondulado con pendientes moderadas
Usos del suelo de zonas aledañas	Viviendas dispersas y pasturas de vocación ganadera	Se observa cobertura de bosques naturales, con uso de suelo forestal	Coberturas de bosques naturales	Zonas con vocación agrícola	Zona de reserva natural, con rocosos de agricultura tecnificada	Zona de vocación ganadera
Contaminación puntual o difusa	Sin evidencia de contaminación puntual. Contaminación difusa por ganadería	Sin evidencia de contaminación puntual. Actividades agrícolas, uso puntual. Actividades agrícolas (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual. Actividades agrícolas, uso de agrosumos ganadería, aguas residuales domésticas (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual. Actividades de ganadería (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual. Actividades agrícolas aguas arriba cultivos de papa (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual. Actividades agrícolas aguas arriba cultivos de papa (C. difusa)
Alteraciones del cauce	Infraestructura de bocATOMA	Infraestructura de bocATOMA	Infraestructura de bocATOMA	Infraestructura de bocATOMA	Infraestructura de bocATOMA	Infraestructura de BocATOMA
Coberturas del dosel	Pastos mayormente limpios -40 % de cobertura-	En el trayecto, árboles 45 % y 55 % pastos, en punto una cobertura del 60 % de dosel	En el trayecto, 70 % pasturas. En punto, cobertura del 60 % boscosa	Más del 85 % de cobertura boscosa	Vegetación endémica con proceso de restauración natural	Cobertura boscosa, zona aislada de reserva
Vegetación riparia	Arbustiva con árboles dispersos de mediana envergadura	En ambas márgenes árboles, arbustos y rastrojo bajo	En ambas márgenes, árboles nativos, arbustos y rastrojo bajo.	En ambas márgenes, árboles, arbustos y rastrojo bajo	En ambas márgenes, presencia de árboles vegetación nativa	En ambas márgenes, con protección y aislamiento
Sustrato	Rocas, arena y limo	Rocas y arena	Rocas y arena	Arena, limo y 80 % detritus	Lodos	Arena, limo y rocas
Sedimentos	Presencia de hojarasca	Presencia de hojarasca y lodos	Presencia de hojarasca y lodos	Presencia de hojarasca y lodos	Presencia de hojarasca	Presencia de materia orgánica
Vegetación acuática	Sin vegetación flotante o emergente	Vegetación acuática (30 %), no hay presencia de algas	Vegetación sumergida (45 %), con presencia de musgos en rocas	Sin vegetación flotante o emergente	Vegetación sumergida, presencia de algas sobre rocas	Presencia ocasional de algas sobre rocas y troncos
Olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Resumen del levantamiento florístico realizado en la franja riparia de los seis SAAR monitoreados

SAAR	Nro. de individuos	Nro. de familias	Principales familias	Nro. de especies	Principales especies	Rango perfil vertical (m)	Perfil horizontal
SAAR AQUAQUIN	59	13	<i>Chloranthaceae</i> <i>Rubiaceae</i> <i>Myrsinaceae</i> <i>Siparunaceae</i>	16	<i>Hedyosmum bonplandianum</i> , <i>Myrsine coriácea</i> , <i>Siparuna ecbmata</i>	Mayoría 4-12	El bosque muestra discontinuidad en el dosel debido a tala selectiva
SAAR La Montaña	19	8	<i>Rubiaceae</i> <i>Fagaceae</i>	9	<i>Palicourea angustifolia</i> , <i>Quercus humboldtii</i>	Mayoría 2-4, pocos de 12-17	Conectividad media entre especies, lo cual indica recuperación del bosque
SAAR Huacas Carnicerías	22	10	<i>Rubiaceae</i> <i>Piperaceae</i> <i>Fagaceae</i> <i>Bignoniaceae</i>	12	<i>Palicourea heterobroma</i> , <i>Piper crassinervium</i> , <i>Quercus humboldtii</i> , <i>Delostoma integrifolium</i>	Mayoría 4-10	Baja conectividad en el dosel, distribución dispersa de especies, estado de sucesión ecológica
SAAR Laureles	50	11	<i>Rubiaceae</i> <i>Piperaceae</i> <i>Solanaceae</i>	19	<i>Palicourea thyriflora</i> , <i>Piper crassinervium</i> , <i>Palicourea angustifolia</i>	Mayoría 2-6, pocos de 12-18	Estructura vegetal en regeneración, discontinuidad en el dosel y baja conectividad
SAAR Huacas Velasquillo	39	12	<i>Piperaceae</i> <i>Rubiaceae</i> <i>Euphorbiaceae</i>	15	<i>Piper crassinervium</i> , <i>Palicourea angustifolia</i>	Mayoría 2-9, pocos de 17	Predominio de especies arbusivas, lo cual reflejan un bosque secundario en recuperación
SAAR Velasquillo	21	9	<i>Fagaceae</i> <i>Myrsinaceae</i> <i>Rubiaceae</i>	9	<i>Quercus humboldtii</i> , <i>Palicourea heterobroma</i> , <i>Myrsine coriácea</i>	Mayoría 2-12, pocos de 25	Bosque en recuperación, predominancia de arbusivos y baja conectividad

Fuente: elaboración propia.

*Levantamiento florístico*

En general, los bosques riparios evaluados en los seis SAAR de la cuenca del río Las Piedras presentan una estructura de bosques secundarios en proceso de regeneración, con mayor diversidad y abundancia en el estrato arbustivo, acompañada por la presencia de árboles jóvenes y una menor representación de individuos arbóreos maduros de gran tamaño (Tabla 5). Lo anterior sugiere que estos relictos han estado sometidos a procesos de perturbación, como la tala selectiva y la expansión agrícola y ganadera, lo que los ha llevado a encontrarse en distintas fases de sucesión ecológica. Se observa una dominancia de especies de rápido crecimiento como *Palicourea thyriflora*, *Piper crassinervium* y *Hedyosmum bonplandianum*, indicadoras de procesos de regeneración, aunque con limitaciones en la estabilidad estructural del ecosistema. Asimismo, especies arbóreas juveniles como *Quercus humboldtii* y *Ocotea* sp. muestran signos de recuperación del estrato arbóreo, que con el tiempo contribuirán al desarrollo del dosel y aumentarán la conectividad y la capacidad de estos bosques para cumplir funciones ecosistémicas clave asociadas a los SEH, como la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad.

**SAAR Cajibío**

*Medición del caudal*

Las mediciones de caudal muestran niveles normales de agua en temporada seca para los cinco SAAR analizados. Esto garantiza el suministro a las pequeñas poblaciones beneficiarias. En temporada de lluvias, se esperarían niveles mayores de flujo que mantengan el balance hídrico de la cuenca y el caudal mínimo vital para la biota presente (Tabla 6).

Tabla 6. Resultado de la medición del caudal en los cinco SAAR

SAAR	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud de cauce (m)
SAAR El Cairo	0,1	3,5
SAAR El Porvenir	0,1	1,0
SAAR El Túnel	0,5	1,3
SAAR La Venta	0,2	7,0
SAAR El Cedro	0,2	6,3

Fuente: elaboración propia.

*Medición puntual de parámetros fisicoquímicos in situ y en laboratorio*

Los cinco sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR– muestreados en el municipio de Cajibío presentaron uniformidad en los análisis de parámetros microbiológicos de calidad del agua. Estos evidenciaron presencia de coliformes totales, pero ausencia de *E. coli*. Esto indica que no existe contaminación por bacterias de origen fecal, las cuales representan un alto riesgo para la salud humana por el desarrollo de enfermedades gastrointestinales si no son eliminadas mediante tratamientos de desinfección en los procesos de potabilización.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, como la demanda química de oxígeno –DQO– y los sólidos suspendidos totales –SST–, se obtuvieron valores similares en los cinco sistemas –DQO < 3 mg/L y SST < 20 mg/L, valores límite de detección–, con excepción del SAAR El Túnel, que presentó un valor de DQO igual a 6 mg/L. Estos resultados sugieren niveles bajos de contaminación por materia orgánica e inorgánica. Al evaluar la turbiedad, el valor más alto se registró en el SAAR La Venta con 2,84 NTU, mientras que los demás sistemas presentaron valores inferiores a 1,72 NTU. La normativa colombiana para agua potable establece un límite máximo de turbiedad de 2 NTU (República de Colombia 2007). Sin embargo, para agua cruda –objeto de este estudio–, no existen valores normativos establecidos. No obstante, con esta información es posible inferir que el agua presenta niveles bajos de sedimentos, materia orgánica y otras partículas en suspensión. En conjunto, los bajos niveles de DQO, SST y turbiedad favorecen su tratamiento y uso para consumo humano.

Adicionalmente, se evaluaron otros parámetros fisicoquímicos y de nutrientes de interés, resumidos en los gráficos 6 y 7:

- a. El pH en los cinco SAAR se mantuvo dentro de los rangos permitidos –entre 6,5 y 9,0–, según la Resolución 2115 para agua potable (República de Colombia 2007). Sin embargo, el SAAR El Cedro se encontró en el límite inferior con pH = 6,5.
- b. Los niveles bajos de oxígeno disuelto (< 5 mg/L) y el bajo porcentaje de saturación de oxígeno son indicadores de estrés ambiental, aumento de contaminación orgánica y posibles procesos de eutrofización (IDEAM 2018). En este sentido, los SAAR El Porvenir y El Cedro presentaron los valores más bajos para estos dos parámetros: 4,57 mg O<sub>2</sub>/L, con 60,5 % de saturación, y 2,71 mg O<sub>2</sub>/L con 36,8 % de saturación, respectivamente, lo que sugiere condiciones de oxigenación deficiente en estas fuentes hídricas.
- c. Los resultados de conductividad y sólidos totales disueltos para los SAAR analizados fueron bajos, lo que se considera normal para aguas superficiales, aunque no existan valores de referencia establecidos por la normativa colombiana. Este comportamiento sugiere que las aguas presentan un bajo nivel de mineralización o contienen una cantidad reducida de solutos disueltos.

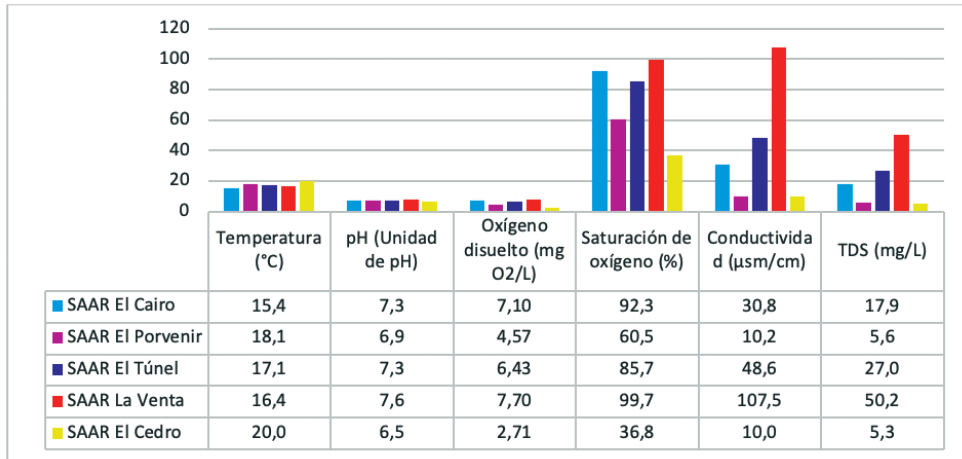


Gráfico 6. Parámetros fisicoquímicos analizados para los cinco SAAR-Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

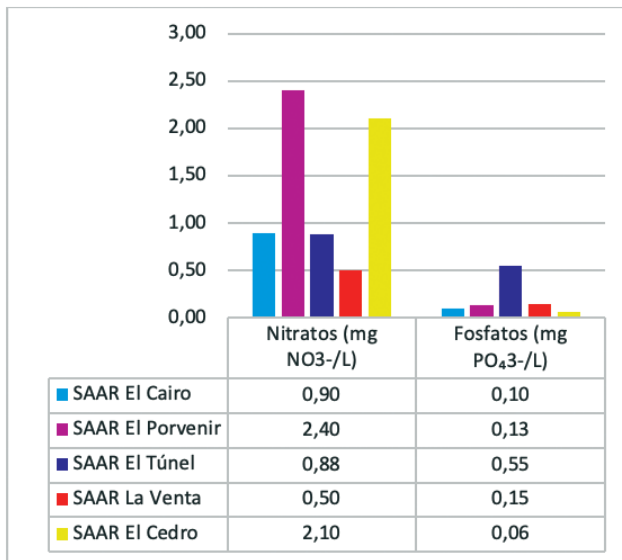


Gráfico 7. Parámetros fisicoquímicos-nutrientes analizados para los cinco SAAR-Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

- d. En cuanto al análisis de nutrientes, el SAAR El Porvenir registró el valor máximo para nitratos (2,40 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L). Sin embargo, en este y en los demás sistemas todos los valores estuvieron por debajo del límite establecido para

agua tratada (República de Colombia 2007). No obstante, los SAAR El Porvenir y El Cedro podrían estar evidenciando mayor contaminación por actividades agrícolas o residuales, que con estrategias apropiadas de mitigación pueden evitar el aumento progresivo o la acumulación de este tipo de elementos.

En el caso de fosfatos, el SAAR El Túnel presentó el valor más alto con 0,55 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L, al límite del valor máximo aceptable en agua para consumo humano (0,5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L), según la normativa colombiana (República de Colombia 007). Niveles elevados de fosfato, ya sea por fertilización, aguas residuales u otras fuentes de disposición, pueden llevar a procesos de eutrofización y, en consecuencia, a un descenso en los niveles de oxígeno en los cuerpos de agua naturales.

### *Captura y clasificación de macroinvertebrados acuáticos*

Los individuos se clasificaron por familias sin considerar su abundancia. Asimismo, se calculó el índice BMWP/Col (Tabla 7), del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

- a. El SAAR El Cairo fue el sistema con la mayor diversidad de familias sensibles o moderadamente sensibles a la contaminación, las cuales reciben una puntuación más alta en la escala de 1 a 10. Entre ellas se destacan *Perlidae*, *Oligoneuriidae*, *Leptophlebiidae*, *Simuliidae* y *Baetidae*, indicadores de muy buenas condiciones de calidad del agua. Del mismo modo, presentó una baja presencia de organismos altamente tolerantes a la contaminación, como *Hydrophiliidae* y *Culicidae*, que obtienen una puntuación baja en el índice BMWP/Col.

Tabla 7. Clasificación y cálculo BMWP/Col de macroinvertebrados acuáticos

SAAR	Nro. de Familias	Puntaje	Rango	Clase
SAAR El Cairo	20	146	>120	I Aguas muy limpias
SAAR El Porvenir	0	0	0	Sin individuos por tipo de sustrato y afluente
SAAR El Túnel	0	0	0	Sin individuos por tipo de sustrato y afluente
SAAR La Venta	9	75	61-100	II Ligeramente contaminadas
SAAR El Cedro	4	29	16-35	IV Aguas muy contaminadas

Fuente: elaboración propia.

- b. Aunque el SAAR El Cedro se clasificó en la Clase IV –aguas muy contaminadas–, el análisis de campo y las familias identificadas –*Veliidae*, *Elmidae*, *Corixidae*, *Pseudohelpeusidae*–, conformadas por organismos moderadamente tolerantes a la contaminación, sugieren una evaluación distinta. Este resultado puede asociarse al pequeño tamaño de la fuente, su ubicación en alta montaña y el caudal reducido. De ahí la importancia de contextualizar los resultados para representar de la mejor manera la realidad del territorio.

#### *Evaluación ecológica rápida*

La evaluación ecológica rápida en los cinco SAAR permitió caracterizar el estado ecológico de sus fuentes hídricas (Tabla 8). Se evidenció una alta cobertura boscosa en la mayoría de los sistemas, con presencia de vegetación riparia y procesos de conservación en curso, especialmente en El Cairo y El Porvenir. En general, los cuerpos de agua presentaron ausencia de olores y escasas alteraciones en el cauce, con excepciones puntuales asociadas a la infraestructura de bocatoma. No obstante, se identificaron potenciales fuentes de contaminación en algunos SAAR debido a la proximidad de cultivos, como en La Venta y El Túnel, donde se reportó el uso de agroinsumos en zonas aledañas. El sustrato predominante fue arena y limo, con presencia de roca en algunos casos y una moderada acumulación de sedimentos orgánicos en ciertas áreas.

#### *Levantamiento florístico*

El análisis de los cinco SAAR en Cajibío revela que los bosques riparios asociados a estos sistemas se encuentran en distintos estados de sucesión ecológica, con una marcada predominancia de estructuras vegetales propias de bosques secundarios en proceso de regeneración (Tabla 9). Se evidencia una composición florística dominada por especies pioneras y arbustivas, particularmente de los géneros *Palicourea* y *Piper*, lo que sugiere un estado temprano o intermedio de recuperación tras disturbios previos. La fragmentación del ecosistema es una característica común en todos los SAAR, reflejada en la baja conectividad del dosel, la dispersión de árboles maduros y la escasez de especies de gran porte, factores que limitan la funcionalidad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos clave, como la regulación hídrica y la estabilidad del suelo.

En los SAAR El Porvenir, La Venta y El Cedro se observó la presencia de especies arbóreas en desarrollo, con individuos como *Quercus humboldtii*, *Alchornea glandulosa*, *Myrcia popayanensis*, *Cecropia angustifolia* y *Banara guianensis*, que alcanzan alturas superiores a los 15 m y coberturas de dosel de gran envergadura, lo cual indica una recuperación parcial del ecosistema. No obstante, la alta representatividad de especies arbustivas sugiere que estos relictos han sido sometidos a intervenciones antrópicas recientes o históricas, probablemente derivadas de actividades agrícolas, pecuarias o de tala selectiva.

Tabla 8. Resumen de la evaluación ecológica rápida para los cinco SAAR de Cajibío monitoreados en zonas de bocatomas

Condiciones del área	SAAR El Cairo	SAAR El Porvenir	SAAR El Túnel	SAAR La Venta	SAAR El Cedro
Tipo de topografía	Relieve quebrado con pendientes fuertes (50 %)	Relieve ondulado con pendientes suaves (15 %)	Relieve ondulado con pendientes suaves	Relieve ondulado con pendientes suaves	Relieve ondulado con pendientes suaves
Usos del suelo zonas aledañas	Zona con aislamiento y en proceso de conservación por su importancia hídrica –bocatoma y áreas aledañas–	Coberturas de bosque denso y natural junto a zonas de rastrojo. Proceso de conservación y aislamiento	Zonas de bosque, rastrojo y cultivos –café y frijol–	Cultivos, zona de bosque, rastrojos, con zonas aisladas de conservación	Procesos productivos de café, rastrojos y arbustos
Contaminación puntual o difusa	Actividades de lavado de fique (noviembre-diciembre, marzo-abril)	Sin evidencia de contaminación puntual; actividades agrícolas, pecuarias y de explotación forestal (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual, actividades agrícolas de café con agroinsumos (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual, actividades agrícolas (C. difusa)	Sin evidencia de contaminación puntual, actividades agrícolas de café con agroinsumos (C. difusa)
Alteraciones del cauce	Infraestructura de bocatoma	Infraestructura de bocatoma	Infraestructura de bocatoma	Infraestructura de bocatoma	Infraestructura de bocatoma
Coberturas del dosel	Más del 75 % de cobertura boscosa	Más del 80 % de cobertura boscosa	Bosque secundario y ripario	Bosque secundario y ripario	Más del 80 % de cobertura boscosa
Vegetación riparia	Vegetación riparia, 10 m a ambos lados del cauce	A ambos lados del cauce, árboles nativos, arbustos y rastrojos y	En ambas márgenes, árboles nativos, arbustos y rastrojos	En ambas márgenes, árboles nativos, arbustos y rastrojos	En ambas márgenes, presencia de vegetación nativa, arbustos y rastrojos
Sustrato	En partes iguales de arena y limo, presencia de hojarasca	partes iguales de arena y limo	Arena, limo y rocas	Arena, limo y rocas	Partes iguales de arena y limo
Sedimentos	Sin sedimentos	Moderada presencia de materia orgánica	Moderada presencia de materia orgánica	Moderada presencia de materia orgánica	Sin sedimentos
Vegetación acuática	Presencia del 20 % en zonas menos intervenidas	Algas sobre piedras, sin vegetación flotante o emergente	Sin vegetación flotante o emergente	Algas sobre piedras, sin vegetación flotante o emergente	Vegetación emergente, presencia de algas
Olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores	Sin olores

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Resumen del levantamiento florístico realizado en la franja riparia de los cinco SAARs monitoreados

SAAR	Nro. de individuos	Nro. de familias	Principales familias	Nro. de Especies	Principales especies	Rango perfil vertical (m)	Perfil horizontal
SAAR El Cairo	28	10	<i>Rubiaceae</i> <i>Fagaceae</i>	12	<i>Palicourea angustifolia</i> , <i>Quercus humboldtii</i>	Mayoría 3-6, pocos de 14	Predominancia arbustiva Baja conectividad del dosel, con copas pequeñas
SAAR El Porvenir	63	13	<i>Rubiaceae</i> <i>Fagaceae</i>	18	<i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Palicourea thyrsoiflora</i> , <i>Hedyosmum bonplandianum</i>	4-10 y 15-20	Bosque secundario, con dosel más continuo, con buena conectividad
SAAR El Túnel	32	14	<i>Piperaceae</i> <i>Myrtaceae</i> <i>Rubiaceae</i>	19	<i>Palicourea thyrsoiflora</i> , <i>Myrcia popayanensis</i> , <i>Piper crassinervium</i>	3-5 y 8-12	Estado de sucesión secundaria dinámica, mezcla de individuos arbóreos maduros y en crecimiento
SAAR La Venta	27	11	<i>Malvaceae</i> <i>Fagaceae</i>	12	<i>Pachira</i> sp., <i>Quercus humboldtii</i> , <i>Furcraea</i> sp.	2-6 y 12-21	Ecosistema en transición, árboles con supremacía sobre los arbustos, complejidad en estructura de dosel
SAAR El Cedro	62	15	<i>Euphorbiaceae</i> <i>Piperaceae</i> <i>Chloranthaceae</i>	19	<i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Hedyosmum bonplandianum</i> , <i>Banara gutanensis</i> , <i>Piper crassinervium</i>	2,5-8 y 15-25	Conectividad moderada con especies de copas extensas. Estructura comunitaria diversa y funcional

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, en los SAAR El Cairo, La Venta y El Túnel, la estructura del bosque es aún más fragmentada, con una menor presencia de especies arbóreas establecidas y una preponderancia de vegetación arbustiva. La discontinuidad en el dosel es evidente en estas áreas, lo que implica una menor capacidad de conservación de humedad, filtración de sedimentos y regulación térmica, funciones esenciales en ecosistemas riparios.

## *SAAR Silvia*

### *Medición de caudal*

El Acueducto La Marqueza, abastecido por la quebrada El Molino, cuenta con un cauce de aproximadamente 15 m de ancho, un caudal abundante de 0,4 m<sup>3</sup>/s y una notable velocidad de flujo. En el punto de medición del aforo se registró un diámetro del afluente de 2,5 metros. En esta zona de estudio, las condiciones climáticas fueron distintas a las observadas en otros municipios, con precipitaciones recurrentes incluso durante la jornada de campo.

El acueducto Cruces Tres Cruces, abastecido por la quebrada Manchay, presentó un cauce aproximado de 3,4 m de diámetro y un caudal bajo de 0,1 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, mantiene un flujo constante que previene su estancamiento. La comunidad reportó ausencia de lluvias en la última semana.

### *Medición puntual de parámetros fisicoquímicos in situ y en laboratorio*

Los parámetros microbiológicos evaluados en los dos sistemas evidenciaron presencia de coliformes totales y ausencia de *E. coli*, indicador de buena calidad sin contaminación bacteriana por heces fecales. A nivel de las variables fisicoquímicas, en el acueducto Cruces Tres Cruces, los sólidos totales suspendidos –SST–, la demanda química de oxígeno –DQO– y la turbiedad presentaron valores por debajo del límite de detección: SST < 20, DQO < 3 y turbiedad < 1 NTU, lo que refleja bajos niveles de sedimentos, materia orgánica y otros sólidos suspendidos.

El acueducto La Marqueza presentó valores más elevados para estos tres parámetros: SST = 21 mg/L, DQO = 14,0 mg O<sub>2</sub>/L y turbiedad = 7,84 NTU, lo que indica una mayor carga de contaminantes que incrementan la materia orgánica y otros sólidos suspendidos. Aunque la normativa no establece límites permisibles para estas variables en cuerpos de agua superficial, es recomendable que para el consumo humano se garanticen procesos de potabilización, teniendo en cuenta que el límite admisible de turbiedad para agua potable es de 2 NTU (República de Colombia 2007).

Otros parámetros analizados, como el pH, el oxígeno disuelto –OD–, la saturación de O<sub>2</sub>, la conductividad y los sólidos disueltos totales –TDS–, se encuentran dentro de la normalidad. Esto evidencia aguas neutras, bien oxigenadas, con bajos niveles de

mineralización y baja carga de sólidos disueltos (Gráfico 8). En cuanto al análisis de nutrientes (Gráfico 9), los dos sistemas presentaron valores dentro de los estándares establecidos para nitratos y fosfatos en agua potable:  $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$  y  $\text{PO}_4^{3-} < 0,5 \text{ mg/L}$ .

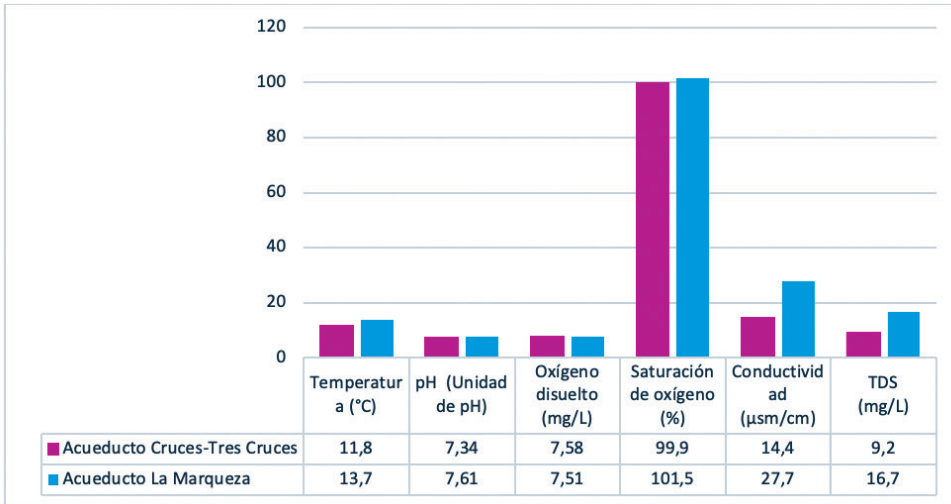


Gráfico 8. Parámetros fisicoquímicos analizados para los dos SAAR evaluados  
Fuente: elaboración propia.

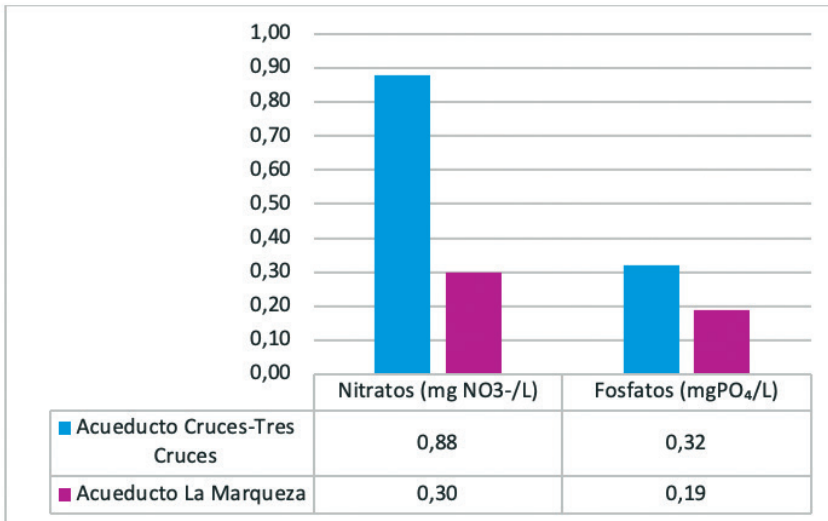


Gráfico 9. Parámetros fisicoquímicos-nutrientes analizados para los dos SAAR evaluados  
Fuente: elaboración propia.

*Captura y clasificación de macroinvertebrados acuáticos*

Los individuos se clasificaron por familias sin tener en cuenta su abundancia. Asimismo, se calculó el índice BMWP/Col (Tabla 10), del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 10. Clasificación y cálculo BMWP/Col de macroinvertebrados acuáticos

SAAR	Nro. de Familias	Puntaje	Rango	Clase
Acueducto Cruces Tres Cruces	16	130	>120	I Aguas muy limpias
Acueducto La Marqueza	19	122	>120	I Aguas muy limpias

Fuente: elaboración propia.

Los dos sistemas presentaron alta diversidad de familias poco tolerantes a la contaminación como *Leptophlebiidae*, *Oligoneuriidae* y *Odontoceridae* en el SAAR La Marqueza y *Perlidae*, *Tricorythidae*, *Ptilodactylidae* en el SAAR Cruces Tres Cruces.

*Evaluación ecológica rápida*

Las áreas cercanas a la bocatoma en la quebrada El Molino –SAAR La Marqueza– muestran una topografía plana, con presencia de viviendas dispersas, pasturas destinadas a ganadería, cultivos de papa y rastrojos. La comunidad también reporta descargas al efluente provenientes de piscifactorías aguas arriba, así como el ingreso del ganado al humedal asociado al cauce, lo que genera perturbaciones como compactación del suelo y aporte de materia orgánica. En el cordón ripario, 10 m a lado y lado del cauce, la vegetación predominante fue de tipo arbustivo, rastrojos bajos y pastos, con una cobertura arbórea menor al 10 %. Se ha adelantado un proceso de reforestación, con el cual se logró un aislamiento en la zona del nacimiento de agua. No obstante, persiste un sector que no pudo ser incluido en la estrategia de protección debido a la falta de acuerdos con los propietarios.

El SAAR Las Cruces Tres Cruces representa un eje de integración comunitaria para los habitantes de la vereda, no solo por la oferta de agua para los diferentes usos, sino también por las actividades colectivas de cuidado, protección y mantenimiento que convoca. La bocatoma se encuentra en una zona de topografía quebrada, con pendientes mayores al 40 %, y buena cobertura boscosa a nivel de la franja riparia que se extiende hasta el nacimiento. Es un área conservada de 20 h, sin presencia de viviendas ni actividades antrópicas que afecten el afluente.

### *Levantamiento florístico*

En esta área, situada en una zona de vida de bosque húmedo montano, se identificaron once especies pertenecientes a siete familias botánicas. Las familias predominantes fueron *Melastomataceae* y *Asteraceae*. Entre las especies más representativas destacan *Diplostephium glandulosum*, *Miconia jabnii* y *Miconia orcheotoma*. Es importante señalar que el dosel del área es discontinuo, lo que sugiere una estructura vegetativa en desarrollo y una heterogeneidad en la cobertura arbórea. Esta configuración indica un ecosistema en proceso de sucesión, donde la interacción entre las especies y su distribución espacial contribuyen a la dinámica y evolución del paisaje.

### **Conclusiones**

En la microcuenca Los Ranchos, Puracé, la calidad del agua en el SAAR La Cortina es favorable para el consumo humano, con ausencia de coliformes y bajos niveles de turbidez y materia orgánica. Sin embargo, los niveles de oxígeno disuelto son bajos, posiblemente debido a la escasa agitación del agua y al aporte de material vegetal en descomposición. Se han implementado esfuerzos de reforestación en la zona de captación, aunque persisten impactos por actividades ganaderas y cultivos, lo que resalta la necesidad de fortalecer la conservación del ecosistema ripario.

Los SAAR monitoreados en la cuenca del río Las Piedras, Popayán, presentan caudales reducidos en temporada seca, especialmente el SAAR Laureles. Si bien la calidad fisicoquímica del agua es buena en términos de turbidez y carga orgánica, la presencia de coliformes totales indica la necesidad de procesos de desinfección. La baja diversidad de macroinvertebrados y su sensibilidad a la contaminación sugieren que la calidad del agua podría estar afectada por la pérdida de caudal y cambios en el sustrato. La cobertura boscosa varía entre sistemas, con algunos en recuperación y otros con fragmentación del ecosistema ripario.

En Cajibío, los cinco SAAR evaluados mantienen un suministro estable de agua durante la temporada seca, con buena calidad microbiológica, aunque con presencia de coliformes totales. Los bajos niveles de oxígeno disuelto en algunos sistemas pueden indicar estrés ambiental y posible eutrofización. En términos ecológicos, los bosques riparios presentan signos de regeneración con especies pioneras, pero la fragmentación del ecosistema limita la conectividad y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la regulación hídrica.

Los acueductos –Cruces, Tres Cruces y La Marqueza– en Silvia presentan una calidad del agua favorable en términos microbiológicos, aunque en este último se evidencian mayores cargas de materia orgánica y turbidez. Ambos sistemas mostraron una alta diversidad de macroinvertebrados indicativos de aguas limpias. En términos ecológicos, el área de Cruces Tres Cruces se encuentra

bien conservada, mientras que La Marqueza enfrenta impactos por actividades agrícolas y ganaderas, lo que resalta la necesidad de estrategias de manejo para mejorar la protección de la cuenca.

En todos los municipios evaluados, los ecosistemas riparios muestran diferentes grados de recuperación, con predominancia de especies arbustivas y fragmentación del dosel. La conectividad ecológica es clave para garantizar la estabilidad del ecosistema y la regulación del agua. La calidad del agua en los SAAR es generalmente buena, aunque la presencia de coliformes totales y algunas concentraciones elevadas de fosfatos resaltan la importancia de mantener monitoreos continuos y aplicar medidas de tratamiento.

## Referencias

Durán, Luis

- 2016 Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*. 1 (1): 83-102. doi: <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593> (Acceso: 20/11/2024).

Gain, Animesh *et al.*

- 2021 Social-ecological system approaches for water resources management. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 28 (2): 109-124. doi: <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1780647> (Acceso: 20/11/2024).

Gómez, Yessica *et al.*

- 2024 Conceptual framework for analyzing the sustainability of socioecological systems with a focus on ecosystem services that support water security. *Sustainable Development*. 32 (3): 2298-2313. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.2780> (Acceso: 20/11/2024).

Huang, W. *et al.*

- 2020 Management of drinking water source in rural communities under climate change. *Journal of Environmental Informatics*. 39 (2): 136-151. doi: 10.3808/jei.202000431 (Acceso: 20/11/2024).

ICONTEC –Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación)–

- s.f. *NTC-ISO 5667: Calidad del agua-muestreo*. Bogotá: ICONTEC.

Orozco, Chistopher y María Ocasio

- 2023 Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality: A study of an ecosystem regulation service in a tropical river. *Ecologies*. 4 (2): 209-228. doi: <https://doi.org/10.3390/ecologies4020015> (Acceso: 20/11/2024).

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

- 2007 Resolución 2115 (29 de junio), “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia

- para la calidad del agua para consumo humano”. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007> (Acceso: 10/10/2024).
- Prado, Rachel; Gustavo Damasceno y Fabiana de Gois Aquino  
2022 Overview of studies on ecosystem services in riparian zones: A systematic review. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 34 (19): 19-32. doi: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x182> (Acceso: 15/12/2024).
- Ramírez, Sara; Ilja Van Meerveld y Jan Seibert  
2023 Citizen science approaches for water quality measurements. *Science of the Total Environment*. 897: 165436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165436> (Acceso: 15/12/2024).
- República de Colombia  
2007 Resolución 2115 de 2007 (4 de julio), “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf> (Acceso: 15/12/2024).
- Roldán, Gabriel  
2016 Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 40 (155): 254-274. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335> (Acceso: 10/01/2025).
- Singh, Rinku; Ashok Tiwari y Gurpreet Singh  
2021 Managing riparian zones for river health improvement: An integrated approach. *Landscape and Ecological Engineering*. 17 (2): 195-223. doi: <https://doi.org/10.1007/s11355-020-00436-5> (Acceso: 10/01/2025).
- UNDP –Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo–  
2015 Sustainable development goals 6, clean water and sanitation. Disponible en: [www.undp.org/es/sustainable-development-goals/agua-limpia-saneamiento](http://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/agua-limpia-saneamiento) (Acceso: 10/01/2025).
- WHO –World Health Organization–  
2022 Guidelines for drinking-water quality: Incorporating the first and second addenda. *Environment*. 897: 165436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165436> (Acceso: 10/01/2025).

# Vocación y conflictos por uso y fertilidad de suelos en los agrosistemas priorizados

JUAN DIEGO OTERO SARMIENTO, CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ Y JULIANA SALAZAR BENÍTEZ

## Introducción

Los análisis de fertilidad de suelos son una herramienta esencial para mejorar las prácticas agrícolas y garantizar el bienestar de las comunidades andinas. El suelo no solo debe ser visto como el sustento de los cultivos, sino también como un recurso vital y finito que brinda servicios clave para la vida, como la regulación del agua, la captura de carbono y otros servicios ecosistémicos. Al conocer la calidad y las necesidades del suelo en los sistemas agrícolas, los agricultores pueden tomar decisiones más informadas sobre cómo manejar sus tierras y optimizar así los recursos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Manejar los suelos de manera sostenible no solo mejora la productividad agrícola, sino que también protege los ecosistemas andinos y fortalece la relación entre las personas y su entorno (Kibblewhite *et al.* 2008).

Para las comunidades andinas, donde la agricultura está profundamente ligada a su identidad y subsistencia, comprender el estado de sus suelos es un paso hacia un futuro más resiliente. Altieri y Nicholls (2020) destacan que, al combinar el conocimiento local con herramientas científicas, los agricultores pueden adoptar prácticas más sostenibles y, gracias a ellos, mejorar la calidad de sus productos y potenciar su economía. Investigadores como Toledo y Barrera-Bassols (2008) y Gliessman *et al.* (2007) han subrayado que la agroecología en América Latina no solo es una alternativa técnica, sino también una propuesta social que pone en el centro a las comunidades y su capacidad de innovar a partir de sus propios recursos. Este enfoque no solo impulsa el desarrollo económico, sino que también ayuda a enfrentar retos como el cambio climático. En este contexto, la bioeconomía se convierte en una oportunidad para aprovechar los recursos locales de manera responsable. De esta manera, se promueve la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades (Quiroga y Sánchez 2023).

## Metodología

### *Evaluación de las características generales de vocación y uso de suelos en los municipios beneficiarios*

El proceso de identificación de vocación del suelo, uso actual y conflictos estuvo liderado por el equipo SIG del proyecto. Se basó en: 1) recolección y preparación de datos, 2) participación comunitaria, 3) análisis espacial y 4) interpretación de resultados (IGAC 2009) y validación.

### *Monitoreo de fertilidad de suelos*

En esta fase, el equipo técnico, a través de encuentros recurrentes, presentó a los líderes municipales y promotores ambientales el procedimiento de muestreo y resolvió sus inquietudes. El proceso se desarrolló mediante el siguiente procedimiento (Fotografía 1):

- Explicación y recomendaciones por parte del laboratorio.
- Identificación de los elementos y herramientas necesarias para el muestreo.
- Selección de un área homogénea dentro de la parcela a muestrear.
- Estrategia de toma de submuestras en todo el terreno.
- Número de submuestras según el tamaño de la parcela de cultivo.
- Profundidad de la muestra según el tipo de cultivo.
- Determinación de posibles contaminantes de la muestra.
- Homogenización o mezclado de submuestras.
- Empaque y rotulado de la muestra homogenizada.
- Acuerdos de recogida y envío de muestras en territorio.
- Entrega e interpretación de los resultados a partir de la contextualización del cultivo.



Fotografía 1. Capacitación sobre monitoreo de suelos a las comunidades beneficiarias del proyecto  
Fuente: elaboración propia.

### *Áreas priorizadas con la comunidad*

A continuación, se identifican las zonas de trabajo por municipio, relacionadas con áreas de importancia estratégica como fuentes de abastecimiento de agua y soberanía alimentaria, las cuales fueron priorizadas con las comunidades que participaron en el proyecto:

- Municipio de Popayán: cuenca río Las Piedras
- Municipio de Cajibío: cuencas Michicao, Cajibío y Pedregosa
- Municipio de Silvia: cuencas Manchay y Molino
- Municipio de Puracé: cuenca Los Ranchos

## Resultados y discusión

### *Características generales de vocación, uso y conflictos de los suelos en los municipios beneficiarios*

#### *Vocación de suelos*

La vocación determina el uso más apropiado que puede soportar el suelo, el cual propende por una producción sostenible y sin deterioro de los recursos naturales (MADR 2012). Para la zona de estudio se idéntico lo que se expone en el Gráfico 1.

En tres municipios beneficiarios se resalta la vocación forestal: 99 % en Cajibío –cuencas Cajibío, Michicao y Pedregosa–, 91 % en Popayán –cuenca Piedras– y 94 % en Silvia –cuencas Manchay y Molino–. Por sus condiciones de clima, pendiente, suelos y riesgos erosivos, entre otros, estas tierras deben aprovecharse con usos de protección o producción forestal de clima medio y frío.

En Puracé, en la cuenca Los Ranchos, el 99 % presentó una vocación agroforestal, al tratarse de tierras que, por sus características biofísicas –clima, relieve, material parental, suelos, erosión, etc.–, no permiten la utilización exclusiva de usos agrícolas o ganaderos. Estas tierras deben ser empleadas bajo sistemas combinados, en los cuales se integran deliberadamente actividades agrícolas, ganaderas y forestales.

**Áreas de vocación (ha) en las cuencas priorizadas**

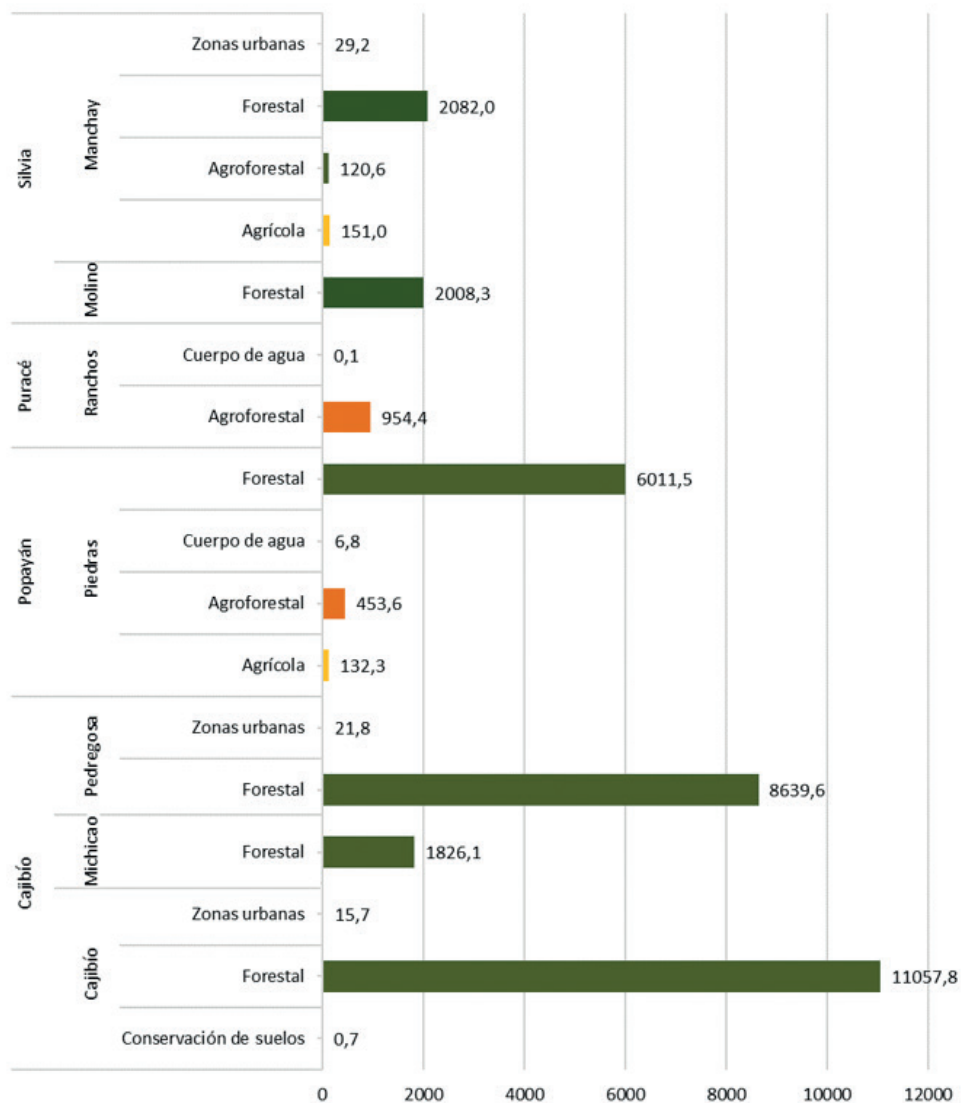


Gráfico 1. Áreas de vocación de suelos en las cuencas priorizadas  
Fuente: elaboración propia.

## Usos de suelos

Bajo este panorama, se analiza el uso actual de suelos para, posteriormente, identificar los principales conflictos que se puedan estar presentando (Gráfico 2).

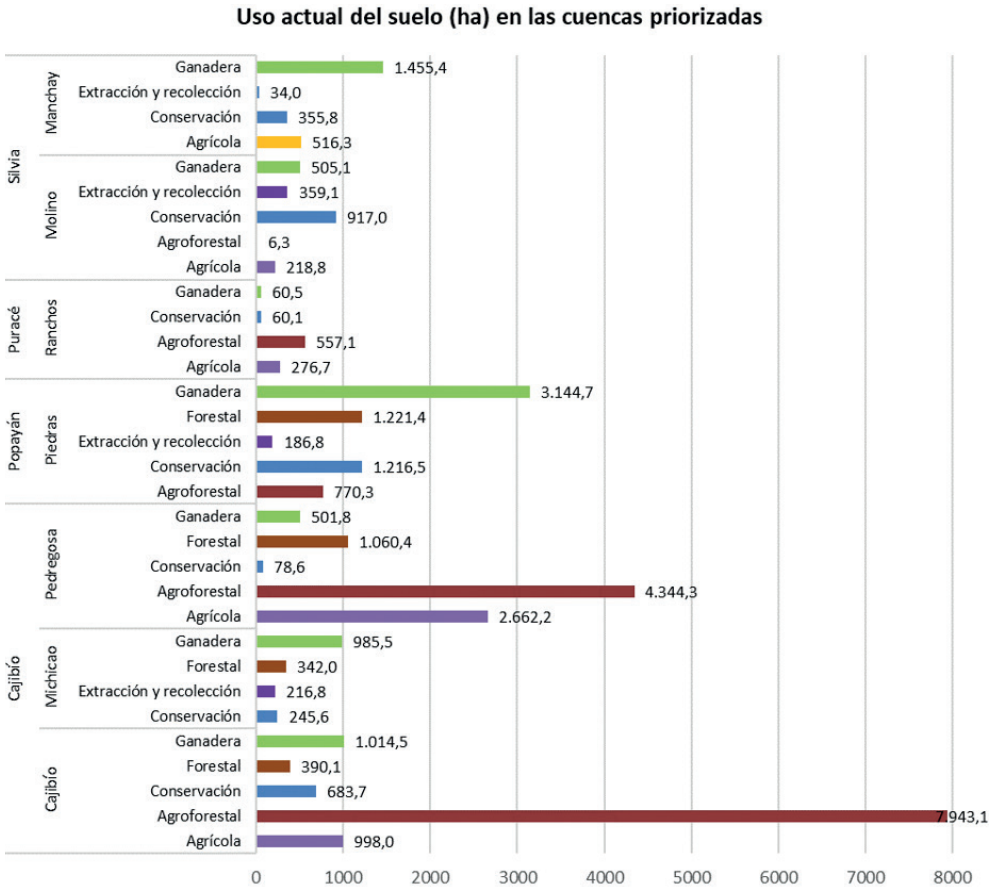


Gráfico 2. Áreas de uso actual de suelos en las cuencas priorizadas

Fuente: elaboración propia.

En la evaluación de vocación de suelos no se identificó aptitud para la ganadería en los municipios. Sin embargo, este uso se evidencia en la práctica, que abarca incluso las áreas significativas en las cuencas. Así, en Cajibío se reporta un 53 % en la cuenca Michicao; en Popayán, un 47,6 % en la cuenca Piedras; en Silvia, un 61 % en la cuenca Manchay, y un 25 % en la cuenca Molino. Estos usos se concentran en pastos limpios, enmalezados, arbolados y mosaicos de pastos y cultivos, destinados principalmente al pastoreo extensivo.

La categoría agroforestal en el municipio de Cajibío sobresale en las tres cuencas, las cuales acumulan un total de 12 287 ha, equivalente al 57 %. En cuanto al área agrícola, el valor más alto se identificó en Silvia, con un 30,7 % en la cuenca Pedregosa, seguido por un 29 % en la cuenca Los Ranchos –Puracé– y un 21,7 % en la cuenca Manchay –Silvia–. Estos usos se asocian principalmente con cultivos permanentes arbustivos, mosaicos de pastos y cultivos, pastos arbolados y algunos cultivos agroforestales.

En la categoría de conservación de los recursos naturales se incluyen bosques de galería, ríos, bosques abiertos, herbazales, arbustales y algunas áreas de vegetación secundaria o en transición. Las áreas más representativas se encuentran en el municipio de Silvia, con un 45,6 % –916,7 ha– en la cuenca Molino y un 14,9 % –355,8 ha– en la cuenca Manchay, seguidas por Popayán, que reporta un 18,4 % –1216,5 ha– en la cuenca Piedras.

### *Conflictos por el uso de suelos*

Los conflictos de uso surgen de la discrepancia entre el empleo que el ser humano asigna al medio natural y el uso que debería tener –vocación–, de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales (MADR 2012). En términos de conflictos por uso del suelo, se obtuvo lo que se evidencia en el Gráfico 3.

La sobreutilización ligera y moderada se presenta en las tierras donde los agroecosistemas predominantes hacen un aprovechamiento intensivo de la base natural de recursos, lo cual sobrepasa su capacidad productiva. Esta categoría es la más significativa en todas las cuencas. Representa en promedio un 58,1 % en las tres cuencas de Cajibío, un 72,7 % en la cuenca Piedras –Popayán–, un 83,2 % en Puracé y un 66,51 % en Silvia. Estos procesos se explican principalmente por la presencia de usos agrícolas, agroforestales y ganaderos en zonas con vocación forestal y de conservación, lo cual podría afectar los sistemas productivos dada su limitada sostenibilidad y la escasa disponibilidad de nutrientes de estos suelos. En términos generales, un alto porcentaje de las tierras con vocación forestal o agroforestal soportan actualmente la mayor actividad agropecuaria, con posibles perjuicios no solo económicos para los productores, debido a la baja productividad y competitividad de sus productos, sino también ambientales (MADR 2012).

La subutilización se presenta en tierras donde la demanda ambiental es menor en comparación con su capacidad productiva. En el municipio de Silvia, en la cuenca Manchay, se identificaron 271 ha de vocación agrícola y agroforestal. Sin embargo, presentan una subutilización ligera del 6,33 %, debido a la expansión de la ganadería extensiva sobre suelos apropiados para usos agrícolas, forestales y agroforestales.

**Áreas de conflicto (ha) en las cuencas priorizadas**

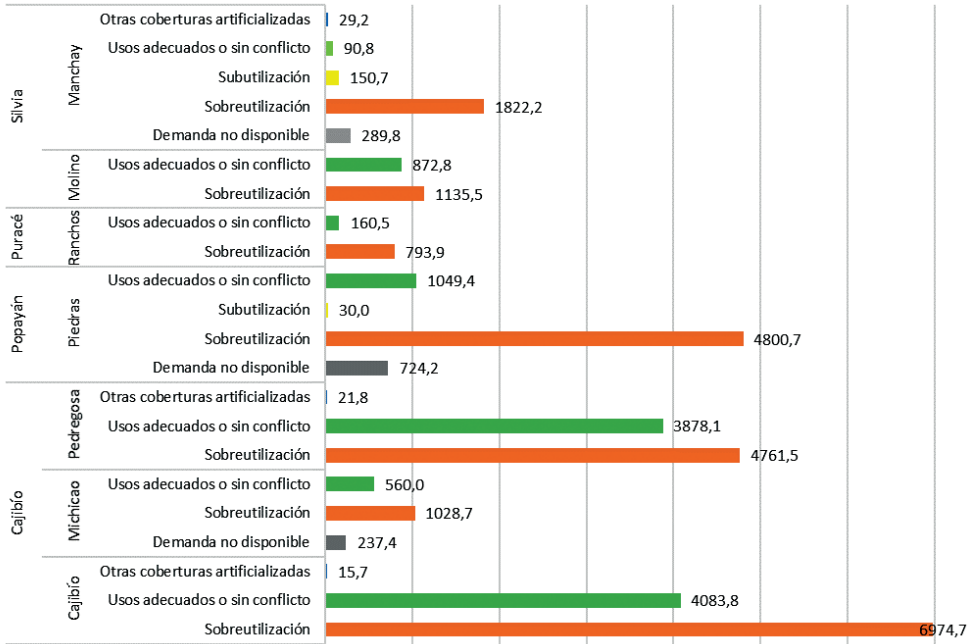


Gráfico 3. Áreas de conflictos por uso de suelos en las cuencas priorizadas  
Fuente: elaboración propia.

Las tierras con uso adecuado o sin conflicto se caracterizan porque la oferta ambiental dominante corresponde con la demanda de la población (MADR 2012). En las tres cuencas del municipio de Cajibío se identificó este tipo de coberturas, que alcanzaron un 39,53 % del área total, con el valor más alto en Pedregosa –44,77 %-. En la cuenca Molino, en Silvia, se reportaron valores significativos, con un 43,46 % de uso adecuado. En el municipio de Puracé, el uso adecuado alcanzó un 16,82 % del total del área de la cuenca Los Ranchos, seguido de Popayán con un 15,89 % en la cuenca Piedras. En términos generales, las coincidencias más relevantes se presentan principalmente en las categorías de vocación forestal, agroforestal y de conservación.

*Evaluación de fertilidad de suelos*

El conocimiento de la fertilidad de los suelos es fundamental para potenciar la producción de los agroecosistemas andinos, entendida como la cantidad y disponibilidad de los elementos necesarios para el crecimiento y la producción de las plantas (Castillo *et al.* 1982).

En el monitoreo se realizaron 219 muestreos en zonas acordadas con los beneficiarios del proyecto en los cuatro municipios. Los cultivos más representativos fueron café (25,11 %), pastos (22,37 %), hortalizas –mezclas de ajo, espinaca, cebolla, zanahoria, calabaza, coliflor, albahaca, remolacha, lechuga, acelga, entre otras– (18,26 %), papa (10,50 %), fresa (7,31 %), maíz (3,65 %) y otros cultivos (12,79 %). Las muestras se recolectaron en fincas, granjas comunitarias e instituciones educativas. El comportamiento por municipio fue el siguiente:

- Potencial de hidrógeno –pH– del suelo.* A nivel general, los suelos se clasifican como ácidos. El 63 % corresponde a suelos fuertemente ácidos (<5,5 de pH), el 25,6 % a suelos moderadamente ácidos (5,5-5,9 de pH) y el 11,4 % a suelos ligeramente ácidos (6,0-6,5 de pH). De acuerdo con Montenegro *et al.* (1990), el rango óptimo general de pH para la mayoría de cultivos se encuentra entre 5,5 y 6,7. En este sentido, únicamente el 37 % de las muestras analizadas se encuentra dentro del rango adecuado. Esto evidencia la necesidad de enmiendas y de un manejo específico de esta variable, ya que resulta fundamental para determinar la solubilidad y disponibilidad de nutrientes en las plantas (Corey y Schulte 1973).

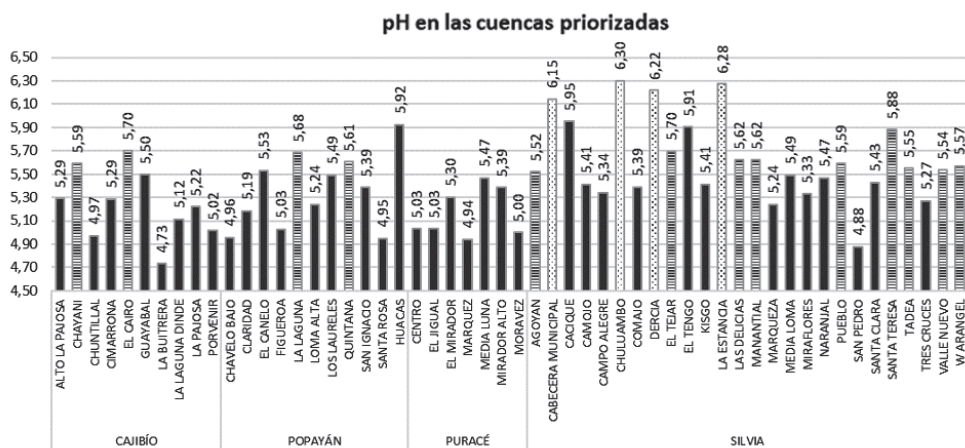


Gráfico 4. Comportamiento del pH en las zonas de monitoreo en los municipios beneficiarios  
Fuente: elaboración propia.

Los suelos andinos de origen volcánico se caracterizan por ser ácidos, profundos, bien drenados y de textura gruesa, con baja saturación de bases y alta presencia de aluminio –Al–. Aunque presentan una elevada capacidad de intercambio catiónico, su fertilidad es limitada debido al bajo contenido de bases y de fósforo disponible (IGAC 2009). La riqueza en carbono orgánico contribuye a la retención de nutrientes. Sin embargo,

la acidez y la presencia de aluminio hacen necesarias enmiendas, como la aplicación de cal, que reduce la toxicidad y mejora la disponibilidad de fósforo –P–, calcio –Ca– y magnesio –Mg– para la nutrición vegetal.

- **Aluminio –Al– intercambiable.** Los suelos ándicos, típicos de zonas volcánicas, requieren una adecuada precipitación y buen drenaje para su formación, lo que favorece su acidez y alto contenido de aluminio intercambiable ( $Al^{3+}$ ). En suelos con pH superior a 5,5, la acidez intercambiable desaparece, lo que reduce la toxicidad por Al y favorece la actividad biológica (Castro *et al.* 1991; Jaramillo 2002). Por esta razón, en este estudio solo se analizaron suelos con pH inferior a 5,5, en los cuales predominan las formas intercambiables de  $Al^{3+}$  y se incrementa la solubilidad de  $H_3O^+$  y  $Mn^{2+}$ , lo que aumenta el riesgo de toxicidad.

De acuerdo con el ICA (1992), el aluminio intercambiable representa un riesgo de contaminación cuando supera los 2 meq/100 g, como se presenta a continuación:

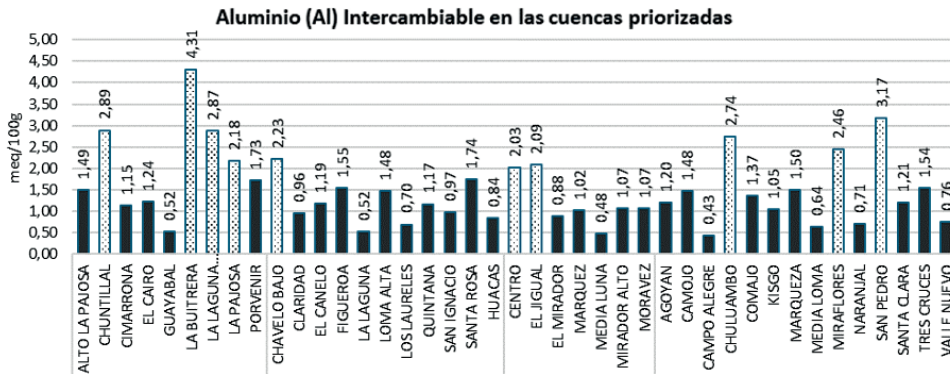


Gráfico 5. Comportamiento del aluminio –Al– intercambiable en las zonas de monitoreo en los municipios beneficiarios  
Fuente: elaboración propia.

El 67 % de las zonas monitoreadas para aluminio intercambiable se encuentra dentro de valores normales. Sin embargo, un 33 % presenta niveles que podrían afectar el desarrollo de cultivos. En Cajibío, particularmente en las zonas de La Buitrera y Porvenir, se registró un promedio de 3,7 meq/100 g, crítico para el café. En Popayán, en Chavelo Bajo y El Canelo, los cítricos y pastos presentaron un promedio de 2,6 meq/100 g. En Puracé, en el área de El Jigal, los pastos alcanzaron un promedio de 2,4 meq/100 g. Finalmente, en Silvia, en las zonas de San Pedro, se observaron niveles promedio de 3,6 meq/100 g en cultivos de papa y pastos.

Los altos niveles de aluminio intercambiable reducen la disponibilidad de Ca, Mg, K y P, lo que hace necesarias enmiendas calcáreas para corregir la acidez y mejorar la fertilidad. Esta situación se presenta especialmente en suelos con pH cercano a 4,8, comúnmente destinados a cultivos intensivos como papa, café y pasturas, que dependen de altos insumos sintéticos.

- *Materia orgánica.* En Colombia se ha identificado una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la altitud: a medida que disminuye la temperatura, aumenta la materia orgánica debido a la baja tasa de mineralización. Por esta razón, la interpretación del porcentaje de materia orgánica varía según el tipo de clima –frío, medio o cálido–. En este estudio se aplicó la clasificación propuesta por el ICA (1992), que establece categorías como bajo, medio o alto.

Teniendo en cuenta los rangos altitudinales en los que se recolectaron las muestras de suelo, se evaluaron los siguientes municipios: Silvia –2598 m s. n. m.–, Puracé –2935 m s. n. m.– y Popayán –2144 m s. n. m.–, clasificados como clima frío, y Cajibío –1742 msnm–, clasificado como clima medio. Los resultados se presentan en el Gráfico 6.

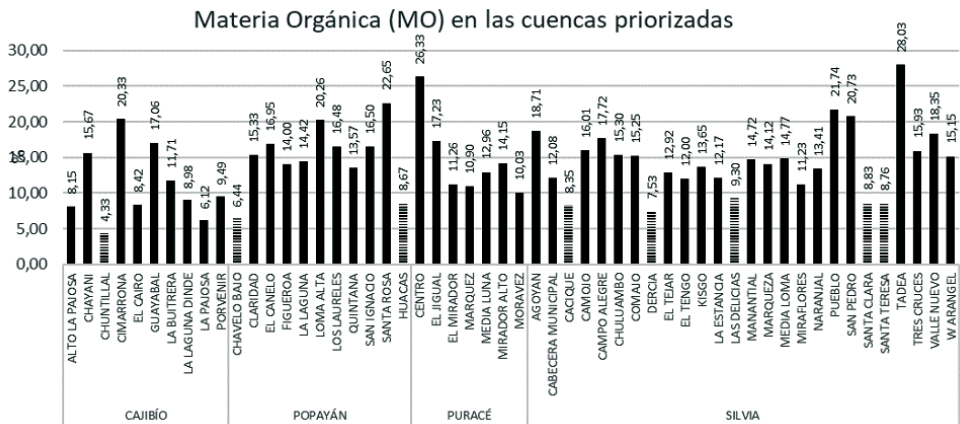


Gráfico 6. Comportamiento de MO en las zonas de monitoreo en los municipios beneficiarios  
Fuente: elaboración propia.

Se destaca que el 87 % de los suelos presentan altos porcentajes de materia orgánica, resultado típico de los suelos andinos o suelos orgánicos, como los categoriza Silva Mojica (2000), al superar el 10 %. Este alto contenido tiene un impacto positivo sobre los cultivos, pues constituye una fuente de N, P, S y otros elementos menores, además de incrementar la capacidad amortiguadora y la capacidad de intercambio catiónico del suelo (ICA 1992).

No obstante, algunas investigaciones (Greenland y Dart 1972; Michelin 1982; Munévar y León 1973) señalan que la disponibilidad de nitrógeno aprovechable puede ser baja debido a la limitada tasa de mineralización, especialmente en zonas de alta montaña. Por ello, se recomienda realizar aplicaciones de mantenimiento.

- *Fósforo disponible.* En suelos extremadamente ácidos ( $\text{pH} < 5,5$ ), la disponibilidad de fósforo puede ser muy baja debido a su alta fijación, que lo inmoviliza formando compuestos insolubles (Jaramillo 2002). En los análisis realizados, esta condición se observó en el 67 % de las muestras. Según la categorización del ICA (1992), se identificó que:
  - a. El 56 % de las muestras presenta disponibilidad baja ( $< 20$  ppm).
  - b. El 18 %, disponibilidad media (20-40 ppm).
  - c. El 25 %, disponibilidad alta ( $> 40$  ppm).

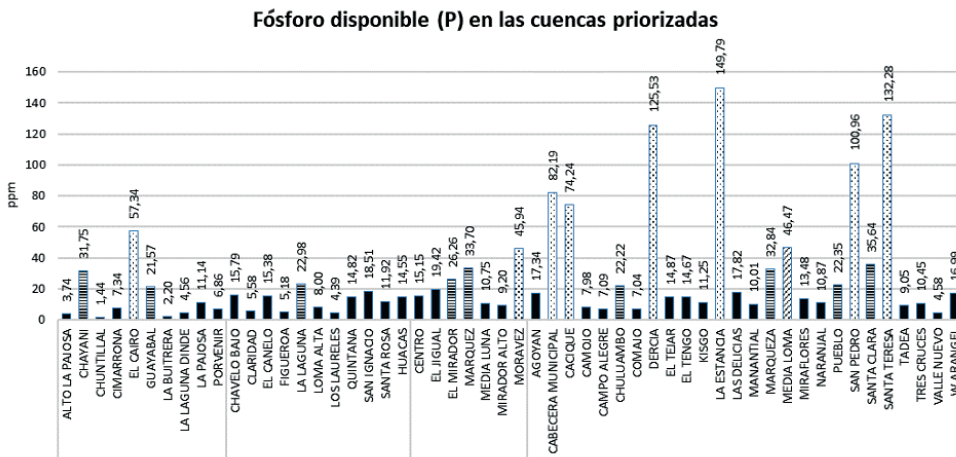


Gráfico 7. Comportamiento de fósforo disponible en las zonas de monitoreo en los municipios beneficiarios  
Fuente: elaboración propia.

Los valores más altos de disponibilidad de fósforo se presentaron en el municipio de Silvia para los cultivos de papa, pastos, fresa y algunas hortalizas.

## Conclusiones

### *Cajibío: recomendaciones de fertilidad para los principales cultivos*

#### *Cultivo de café*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* El café se cultiva entre 1400 y 2209 m s. n. m., con un pH promedio de 5,1, adecuado para su desarrollo, aunque valores de hasta 4,3 pueden afectar la disponibilidad de nutrientes. La materia orgánica es alta (10,3 %), lo que permite mantener dosis moderadas de nitrógeno. Sin embargo, los bajos niveles de calcio (1,82 cmol/kg) y magnesio (0,69 cmol/kg) pueden limitar el crecimiento radicular. Por ello, se recomienda la aplicación de enmiendas calcáreas en suelos con pH inferior a 4,5, así como la aplicación de zinc y boro para suplir deficiencias. También se sugiere el uso de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo.

#### *Cultivo de hortalizas*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* Las hortalizas analizadas se cultivan a 2209 m s. n. m., con un pH de 5,08, lo que indica ligera acidez. La materia orgánica es de 6,34 %, un nivel aceptable pero susceptible de mejora. Los bajos niveles de calcio (1,36 cmol/kg) y magnesio (0,52 cmol/kg) pueden afectar el crecimiento y la resistencia a enfermedades. Para optimizar la fertilidad, se recomienda aplicar enmiendas calcáreas y compost bien descompuesto. Esto aumentará la materia orgánica y mejorará la estructura del suelo. Además, es fundamental mantener una buena humedad y evitar la compactación para favorecer el desarrollo radicular.

#### *Cultivo de pastos*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* Los suelos destinados a pastos, ubicados entre 1700 y 1750 m s. n. m., presentan un pH promedio de 5,24, dentro de un rango aceptable. La materia orgánica es alta (8,28 %), lo que favorece la retención de humedad. Los niveles de calcio (2,1 cmol/kg) y magnesio (0,60 cmol/kg) son adecuados, aunque pueden optimizarse con la aplicación de dolomita. El potasio en niveles medios puede afectar la calidad del forraje, por lo que se recomienda la aplicación de sulfato de potasio y fertilizantes nitrogenados para mejorar su valor nutricional. Asimismo, es fundamental evitar el sobrepastoreo y promover la rotación con leguminosas, lo que incrementa la disponibilidad de nitrógeno y reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos.

## *Popayán: recomendaciones de fertilidad para los principales cultivos*

### *Cultivo de café*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* Los suelos analizados (1600-2000 m s. n. m.) presentan alta acidez (pH 5,0) y aluminio intercambiable elevado, lo que afecta la absorción de calcio y magnesio y limita el desarrollo radicular. Además, el fósforo disponible es bajo (6,7 ppm), lo que restringe el crecimiento de las plantas. Aunque la materia orgánica es alta (9,2 %), la toxicidad del aluminio puede dificultar su aprovechamiento. Para mejorar la fertilidad, se recomienda aplicar cal dolomítica para reducir la acidez y la toxicidad del aluminio, junto con fertilización fosfatada –roca fosfórica– y potásica. La incorporación de materia orgánica y la rotación de cultivos contribuirán a mejorar la calidad y sostenibilidad del suelo.

### *Cultivo de pastos*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* Los suelos destinados a pastos (1700-2000 m s. n. m.) tienen un pH de 5,5, con acidez moderada y niveles de aluminio controlados, aunque con fósforo bajo (6,2 ppm), lo que limita el crecimiento radicular y la calidad del forraje. La materia orgánica es adecuada (8,1 %), lo cual favorece la retención de humedad. Se recomienda aplicar cal agrícola o dolomita para corregir la acidez y mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales. La fertilización fosfatada y la incorporación de materia orgánica mediante abonos verdes y estiércol compostado fortalecerán la estructura del suelo. Asimismo, la rotación con leguminosas mejorará la fijación de nitrógeno y optimizará la productividad del pasto.

### *Cultivo de hortalizas*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* En suelos de 2200-2600 m s. n. m., el pH de 5,3 y el aluminio moderado afectan la absorción de calcio y magnesio. La disponibilidad de fósforo es baja (4,2 mg/kg), lo que limita el desarrollo radicular, mientras que la materia orgánica (6,8 %) es moderada. Se recomienda aplicar cal agrícola para mejorar la absorción de nutrientes y fertilizantes fosfatados –superfosfato simple o roca fosfórica– para corregir la deficiencia de fósforo. La incorporación de compost y abonos orgánicos mejorará la estructura y retención de agua del suelo. Adicionalmente, la fertilización con potasio y micronutrientes, junto con la rotación de cultivos y abonos verdes, garantizará la sostenibilidad del sistema productivo.

### ***Silvia: recomendaciones de fertilidad para los principales cultivos***

#### *Cultivo de pastos*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* El suelo destinado a pastos en Silvia (2500-3000 m s. n. m.) presenta una acidez moderada (pH 5,3), lo que puede afectar la absorción de fósforo y calcio. El contenido de fósforo disponible es bajo (5,4 ppm), lo que limita el desarrollo radicular y la productividad del forraje. Aunque el nivel de materia orgánica es adecuado (9,2 %), el potasio se encuentra en una concentración media (1,9 cmol/kg), lo que puede influir negativamente en la resistencia del forraje y su calidad nutricional.

Se recomienda la aplicación de cal agrícola para reducir la acidez del suelo, superfosfato triple para aumentar la disponibilidad de fósforo y sulfato de potasio para mejorar la calidad del forraje. Adicionalmente, la incorporación de leguminosas en rotación contribuirá a aumentar la disponibilidad de nitrógeno y a mejorar la estructura del suelo.

### ***Puracé: recomendaciones de fertilidad para los principales cultivos***

#### *Cultivo de pastos*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* Los suelos de 2500-3100 m s. n. m. presentan un pH de 4,9, lo que indica alta acidez, y un contenido de aluminio intercambiable de 2,5 meq/100 g, factores que limitan la absorción de nutrientes y afectan el crecimiento radicular. Aunque la materia orgánica es adecuada (7,8 %), el fósforo disponible es bajo (5,5 mg/kg), lo cual restringe el desarrollo del pasto. El potasio (0,38 cmol/kg) es moderado, pero podría volverse limitante a largo plazo. Para mejorar la fertilidad, se recomienda aplicar cal dolomítica (1,5-2,5 t/ha), con el fin de reducir la acidez y mejorar la disponibilidad de fósforo y calcio. Asimismo, se sugiere complementar con fosfato de roca o superfosfato triple, junto con la aplicación de compost o estiércol bien descompuesto, para fortalecer la nutrición del suelo y aumentar la productividad del pasto.

#### *Cultivo de fresa*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* El suelo presenta pH 5,2 y 2,0 meq/100 g de aluminio intercambiable, lo que afecta la absorción de fósforo (5,9 mg/kg) y micronutrientes. La materia orgánica es alta (9,1 %), aunque su descomposición puede influir en la dinámica del pH y en la disponibilidad

de nutrientes. El potasio (0,39 cmol/kg) es moderado, pero esencial para la calidad de los frutos. Se recomienda realizar encalado con carbonato de calcio o dolomita, acompañado del uso de compost enriquecido con calcio y magnesio para estabilizar el pH. Para mejorar la disponibilidad de fósforo, se sugiere aplicar roca fosfórica parcialmente acidulada y biofertilizantes. La fertirrigación con extractos húmicos y aminoácidos contribuirá a optimizar la nutrición y calidad de los frutos.

### *Cultivo de papa*

*Diagnóstico y recomendaciones generales.* El suelo altoandino de Puracé presenta pH 5,0 y 2,3 meq/100 g de aluminio intercambiable, condiciones que afectan la absorción de fósforo, calcio y magnesio y reducen el tamaño y rendimiento de los tubérculos. Aunque la materia orgánica es adecuada (8,5 %), el fósforo disponible es insuficiente. Para mejorar la fertilidad, se recomienda aplicar cal dolomítica para neutralizar la acidez y reducir la toxicidad del aluminio, además de superfosfato triple para aumentar la disponibilidad de fósforo. La fertilización con potasio favorecerá la calidad de los tubérculos, mientras que la rotación con leguminosas fortalecerá la estructura y fertilidad del suelo.

## Referencias

- Altieri, Miguel y Clara Nicholls  
2020 Agroecology: Challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 47 (3): 204-215. doi: <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2281> (Acceso: 10/11/2025).
- Castillo, Luis *et al.*  
1982 *Fertilidad de suelos y fertilizantes*. Tibaitatá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Castro, Dimas *et al.*  
1991 *Génesis y taxonomía de los Andisoles colombianos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Gliessman, Stephen *et al.*  
2007 Agroecología: Promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*. 16 (1): 13-23. Disponible en: [www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/134](http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/134) (Acceso: 20/11/2024).
- ICA –Instituto Colombiano Agropecuario–  
1992 *Fertilización en diversos cultivos-quinta aproximación: Manual de asistencia técnica n°25*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Jaramillo, Daniel  
2002 *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia

Kibblewhite, Mark; Karl Ritz y Mike Swift

2008 Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363 (1492): 685-701. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178> (Acceso: 12/12/2024).

MADR –Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural–

2012 Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12723> (Acceso: 12/12/2024).

Quiroga-Canaviri, Jorge y María Estrella Sánchez

2023 The bioeconomy in harmony with nature. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 9: 2289-2317. doi: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i18.18409>. (Acceso: 12/12/2024).

Silva, Francisco

2000 *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelo, plantas y agua para riego*. Bogotá: Sociedad colombiana de la ciencia del suelo

Toledo, Víctor y Narciso Barrera

2008 *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria editorial.



# Mapas de coberturas para las subcuencas prioritizadas y las áreas estratégicas

JOHANA ANDREA SÁNCHEZ GUEVARA Y YADY TATIANA SOLANO CORREA

## Introducción

Los mapas de coberturas y la identificación de servicios ecosistémicos hídricos –SEH– son herramientas fundamentales para la gestión sostenible del territorio, pues permiten comprender la distribución y dinámica de los ecosistemas en relación con la disponibilidad y regulación del agua. En esta sección se presentan los mapas de coberturas generados para las seis subcuencas prioritizadas y la identificación de áreas ambientales estratégicas mediante el reconocimiento participativo de los SEH, en el marco de la valoración integral de SEH –VISEH–. Este enfoque, descrito en detalle en el capítulo 1 de la sección 2, expone con mayor profundidad los insumos obtenidos y su relevancia para el análisis de modelos prospectivos y su integración con los saberes locales. Dichos insumos aportan a la planificación ambiental y a la toma de decisiones, lo cual favorece la conservación de ecosistemas clave y el fortalecimiento de la gestión hídrica en los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán.

La clasificación de coberturas en las subcuencas Los Ranchos, Las Piedras, Pedregosa, Cajibío, Palacé y Piendamó se llevó a cabo mediante un modelo de *deep learning* –DL– aplicado a imágenes Sentinel-2 (Sentinel-2 2024), con resolución espacial de 10 m. El método detallado se encuentra publicado en Arrechea *et al.* (2023), lo cual permitió la automatización del proceso a nivel de píxel. Este enfoque posibilitó la identificación de doce coberturas, que posteriormente fueron corregidas manualmente e incluyeron una categoría adicional –humedales–. Para garantizar la coherencia con la normativa nacional, los datos se ajustaron al nivel 2 de la nomenclatura *corine land cover* –CLC– (Castellanos 2010).

Paralelamente, en el taller de VISEH se convocó a conocedores locales de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán, quienes, a partir de mapas impresos, identificaron áreas estratégicas como nacimientos de agua, bocatomas, escuelas y bosques sembrados, entre otras. Esta información permitió la elaboración de un mapa de SEH, que integra el conocimiento local en la planificación territorial y en el uso del recurso hídrico.

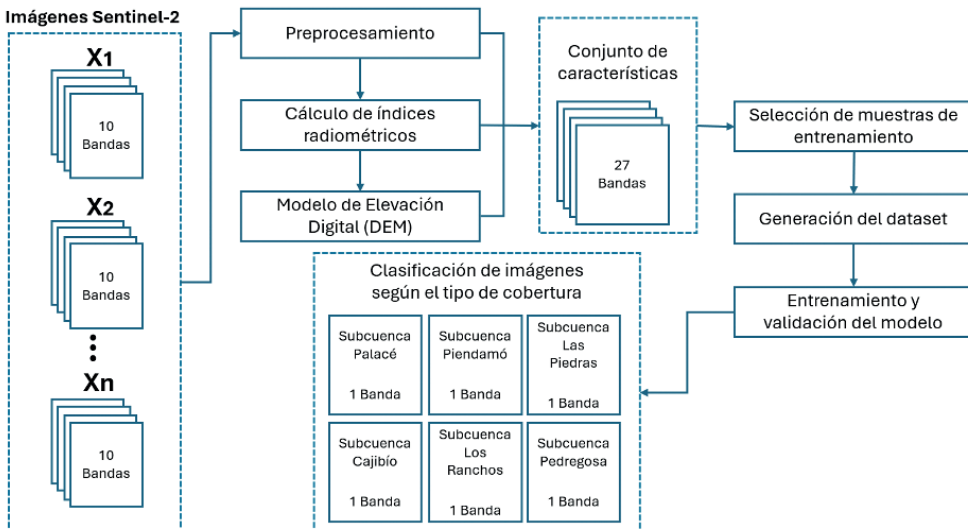
A continuación, se presentan los resultados de la generación de los mapas de coberturas.

## Metodología

Para la obtención de coberturas de manera semiautomática, el procedimiento seguido se ilustra en la Esquema 1. Este proceso inició con el preprocesamiento de imágenes Sentinel-2, mediante la corrección de aspectos geométricos y radiométricos, así como el cálculo de índices; entre ellos, el índice normalizado de vegetación –NDVI, por sus siglas en inglés–, utilizado para resaltar la cobertura vegetal. Cabe destacar que estas imágenes son de acceso gratuito y ofrecen la mayor resolución espacial disponible en este tipo de productos –10 m por píxel–.

Una vez realizadas las correcciones y la extracción de características como el NDVI, se integró la información de un modelo de elevación digital –DEM–, también de acceso libre. De esta manera, se conformó un conjunto de variables que incluyó tanto las bandas originales como los índices derivados. Este conjunto de características permitió resaltar distintos grupos de coberturas –en algunos casos, con mayor eficacia que en otros–, lo que facilitó su separación de manera semiautomática.

Para lograrlo, fue necesario seleccionar muestras de entrenamiento, las cuales se introdujeron en un algoritmo de aprendizaje automático encargado de realizar la clasificación. La selección se efectuó mediante una interfaz gráfica, escogiendo ejemplos representativos de cada tipo de cobertura. Dichas muestras se almacenaron y, posteriormente, se depuraron, eliminando duplicados tanto dentro de una misma clase como entre clases diferentes, con el fin de evitar sesgos en el modelo.



Esquema 1. Metodología para la clasificación de coberturas

Nota: En las subcuencas priorizadas mediante análisis de imágenes multiespectrales Sentinel-2.

Fuente: elaboración propia a partir de Arrechea *et al.* (2023).

Adicionalmente, se truncaron los valores fuera de rango en las bandas espectrales para garantizar la coherencia de los datos. Con las muestras finales se generaron pequeños recortes de tamaño  $N \times N$  –menores que la imagen completa–, los cuales constituyeron el conjunto de entrenamiento y validación (80 % y 20 %, respectivamente). Se aplicaron técnicas de balance de datos para equilibrar la cantidad de muestras por clase.

Posteriormente, se entrenó un modelo de aprendizaje profundo –CNN basada en LeNet– utilizando estos recortes y sus 32 canales de información. Tras el ajuste de los hiperparámetros –por ejemplo, tasa de aprendizaje y número de épocas–, se validaron los resultados con el 20 % de las muestras, al verificar la precisión de la clasificación de coberturas. Finalmente, cada modelo entrenado se aplicó a las subcuencas correspondientes, lo que generó clasificaciones en bandas únicas por tipo de cobertura. Este flujo metodológico permitió obtener un mapeo detallado y consistente, integrando información espectral, índices e insumos topográficos. La metodología completa puede consultarse en Arrechea *et al.* (2023).

Una vez obtenida la clasificación automática de coberturas mediante la metodología descrita, se identificaron doce clases: cuerpos de agua, herbazal denso, zonas urbanas, bosque sembrado, pastos limpios, pastos naturales, cultivos, bosque denso, bosque abierto y fragmentado, zonas de extracción minera, arbustales y tierras desnudas o degradadas. Posteriormente, se incluyó de forma manual una categoría adicional –humedales–.

Para mejorar la precisión de los mapas y garantizar su utilidad en la toma de decisiones, se aplicó un proceso de ajuste en dos etapas:

1. *Corrección supervisada.* Se basó en la fotointerpretación de la imagen base y en el uso de imágenes auxiliares (PlanetScope 2024), con el fin de identificar y corregir errores comunes en la clasificación. En esta fase se eliminaron artefactos como nubes y sombras, los cuales se sustituyeron por las coberturas correspondientes. Asimismo, se corrigieron inconsistencias en clases fácilmente reconocibles, como cuerpos de agua y páramos, con el propósito de reflejar de manera más precisa la realidad territorial.
2. *Validación técnica y comunitaria.* Se llevaron a cabo reuniones con el equipo del proyecto y actores locales para revisar y ajustar las coberturas en áreas estratégicas. Durante este proceso, se discutió la necesidad de estandarizar la clasificación bajo la nomenclatura CLC, utilizada oficialmente en Colombia (Catellanos 2010). Aunque inicialmente se consideró emplear el nivel 3, las limitaciones de resolución y el esfuerzo manual requerido llevaron a homogeneizar los datos en el nivel 2.

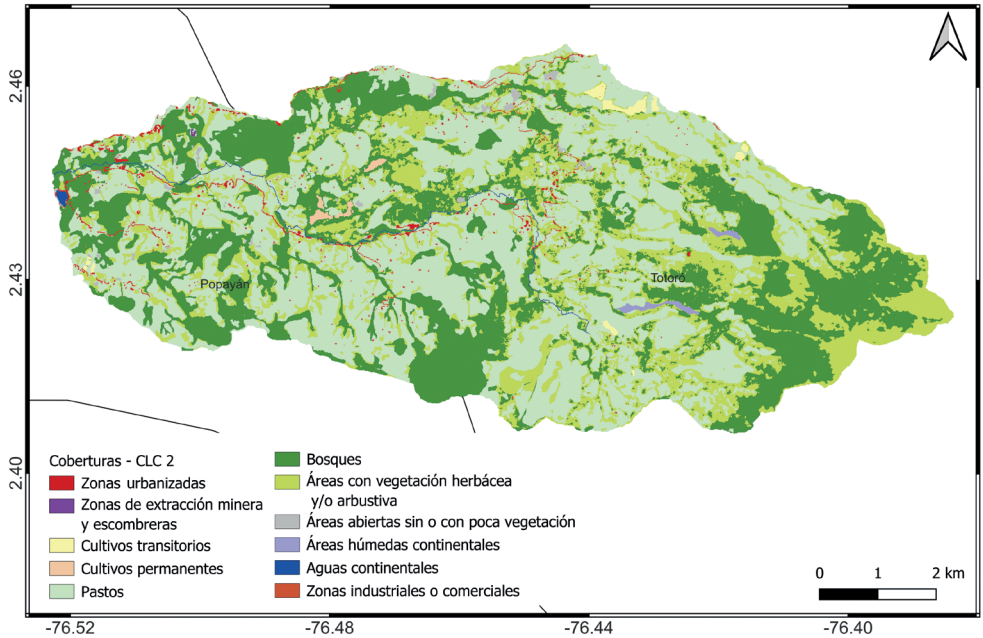
Además de la estandarización, en esta etapa se realizaron ajustes específicos en zonas estratégicas, identificadas tanto por el equipo técnico como por la comunidad. Dada la gran extensión de las subcuencas priorizadas, la corrección manual completa resultaba inviable en términos de tiempo y recursos. En este sentido, la participación de conocedores locales fue esencial para mejorar la precisión de los mapas, ya que aportaron información clave sobre la distribución real de coberturas en sus territorios. Este enfoque participativo no solo permitió refinar la cartografía, sino que también fortaleció la apropiación comunitaria de los resultados, lo cual facilitó su uso en procesos de planificación y gestión ambiental.

## Resultados y discusión

### *Subcuenca del río Las Piedras*

La distribución de coberturas refleja tanto la vocación productiva del territorio como las presiones ambientales que enfrenta. En las zonas altas, predominan los bosques y la vegetación arbustiva, fundamentales para la biodiversidad y la regulación hídrica. En la zona media, la presencia de pastos y cultivos evidencia la relevancia de la ganadería y la agricultura en la economía local y en la seguridad alimentaria.

En las inmediaciones de Popayán se observan áreas urbanizadas, mientras que en sectores próximos al río y a las vías se identifican actividades de minería y escombreras, que impactan los suelos y la calidad del agua. Por su parte, los humedales y cuerpos de agua destacan por su papel en la provisión de servicios ecosistémicos, especialmente en la regulación de caudales y en el mantenimiento de la biodiversidad acuática. Finalmente, las áreas con escasa cobertura vegetal evidencian una fuerte intervención humana y procesos de transición hacia otros usos, lo que subraya la necesidad de una gestión ambiental integral que logre equilibrar la producción con la conservación (Mapa 1).



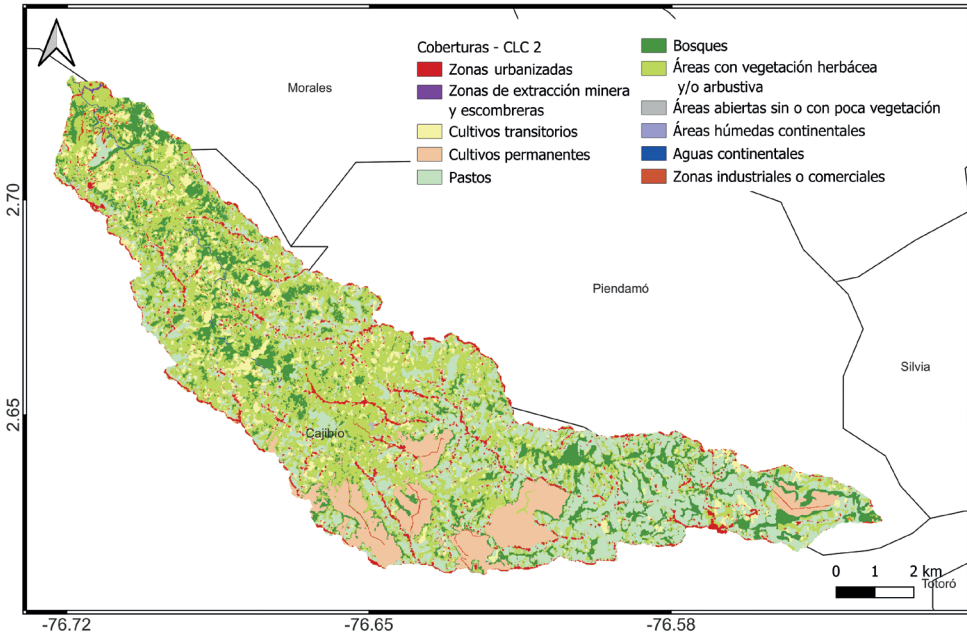
Mapa 1. Clasificación de coberturas de la subcuenca Las Piedras

Nota: Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

### *Subcuenca del río Pedregosa*

El territorio combina usos agrícolas, forestales y urbanos. En las zonas bajas, predominan los cultivos permanentes, especialmente en el suroccidente, donde la intervención humana es más intensa. En las zonas medias y altas, los pastos y la vegetación herbácea o arbustiva sugieren actividades ganaderas y agropecuarias de menor impacto. Los bosques, aunque fragmentados, se concentran en áreas elevadas y en corredores estratégicos, siendo cruciales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. Las zonas urbanizadas se expanden junto a vías principales y en centros poblados como Cajibío, lo que evidencia una creciente presión antrópica. Asimismo, se identifican áreas de minería y escombreras, asociadas con riesgos de degradación del suelo y contaminación del agua. Por último, los cuerpos de agua y humedales destacan por su papel en la regulación de caudales y en la provisión de servicios ecosistémicos, claves para el equilibrio ambiental (Mapa 2).



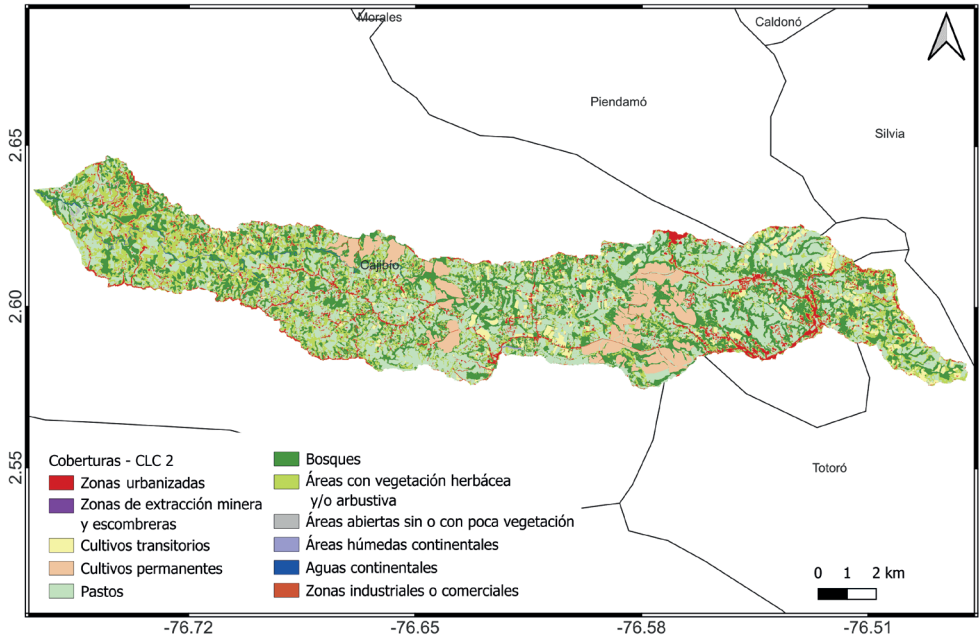
Mapa 2. Clasificación de coberturas de la subcuenca pedregosa

Nota: Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

### *Subcuenca del río Cajibío*

Se observa una diversidad de coberturas que integra usos agrícolas, forestales y urbanos. En las zonas altas y menos intervenidas predominan los bosques y la vegetación arbustiva, fundamentales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. En las áreas medias y bajas, los cultivos permanentes –bosque sembrado–, transitorios y pastos reflejan la relevancia de la agricultura y la ganadería como actividades económicas estratégicas. Los sectores urbanos y comerciales se expanden en torno a Cajibío y a las vías principales, lo que evidencia una creciente presión antrópica. Los cuerpos de agua y humedales se destacan por su papel en la regulación de caudales y la recarga de acuíferos, lo cual contribuye a la provisión de servicios ecosistémicos. En conjunto, la dinámica de usos del suelo refleja la interacción entre presión humana y potencial productivo, lo que subraya la necesidad de estrategias de ordenamiento sostenible que garanticen el equilibrio entre producción y conservación de los recursos naturales (Mapa 3).



Mapa 3. Clasificación de coberturas de la subcuenca Cajibío

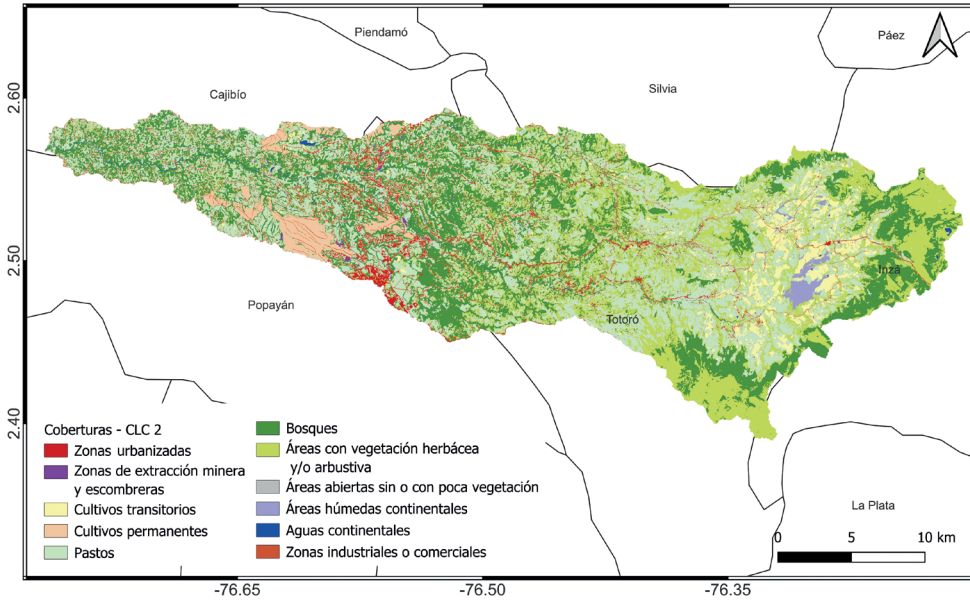
Nota: Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

### *Subcuenca del río Palacé*

Se observa una diversidad de coberturas donde los bosques y la vegetación arbustiva de páramo, presentes en las zonas altas, resultan esenciales para la regulación hídrica y la biodiversidad. En las áreas centrales y occidentales, los cultivos permanentes y los pastos reflejan la importancia de la agricultura y la ganadería, especialmente en el municipio de Cajibío. Hacia las inmediaciones de Popayán, se concentran los asentamientos urbanos y las zonas industriales, donde se evidencia una creciente presión antrópica.

Asimismo, se identifican áreas de minería y escombreras, con riesgos de degradación del suelo y contaminación del agua. Los humedales y cuerpos de agua cumplen un rol fundamental en la recarga de acuíferos y la regulación de caudales. Las áreas con poca vegetación evidencian procesos de cambio de uso del suelo, lo que demanda una adecuada gestión ambiental. En conjunto, la dinámica territorial muestra la necesidad de equilibrar las actividades productivas con la conservación de los recursos naturales, lo cual asegura la sostenibilidad de la subcuenca (Mapa 4).



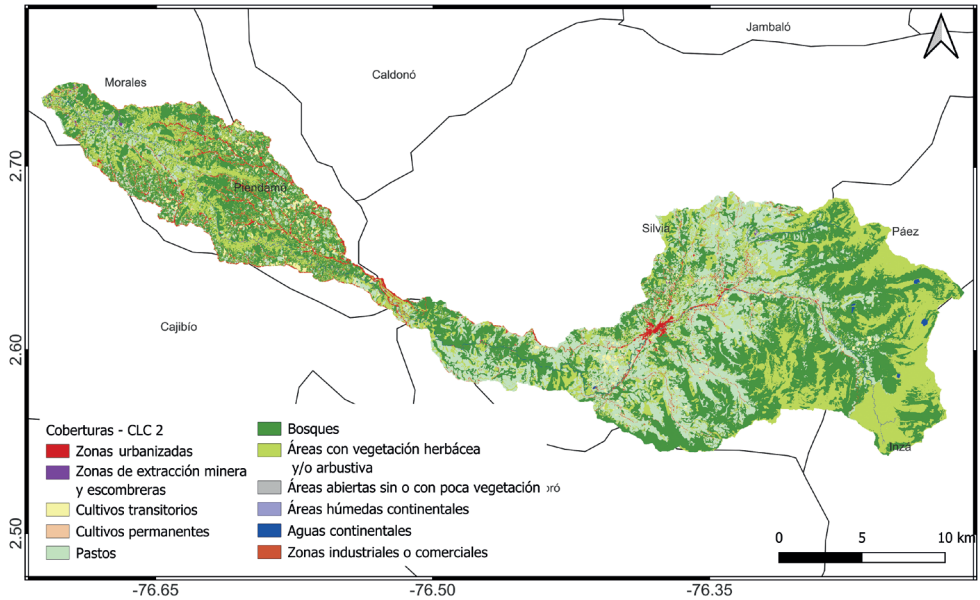
Mapa 4. Clasificación de coberturas de la subcuenca Palacé

Nota: Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

### *Subcuenca del río Piendamó*

La subcuenca del río Piendamó presenta una diversidad de coberturas. En las zonas altas, los bosques y la vegetación herbácea de páramo son fundamentales para la regulación hídrica y la biodiversidad. En las áreas intermedias y bajas, los pastos y cultivos reflejan la relevancia de la ganadería y la agricultura como actividades productivas principales. Las zonas urbanizadas y comerciales, especialmente en torno a Piendamó y Silvia, evidencian una creciente presión antrópica. A ello se suman las áreas de minería y escombreras, que representan riesgos de degradación del suelo y afectación de la calidad del agua. Los humedales y cuerpos de agua destacan por su papel en la recarga de acuíferos y la regulación de caudales. Finalmente, las áreas con poca vegetación reflejan procesos de transición en los usos del suelo, lo que resalta la necesidad de estrategias de manejo sostenible que equilibren la producción y la conservación de los recursos naturales (Mapa 5).



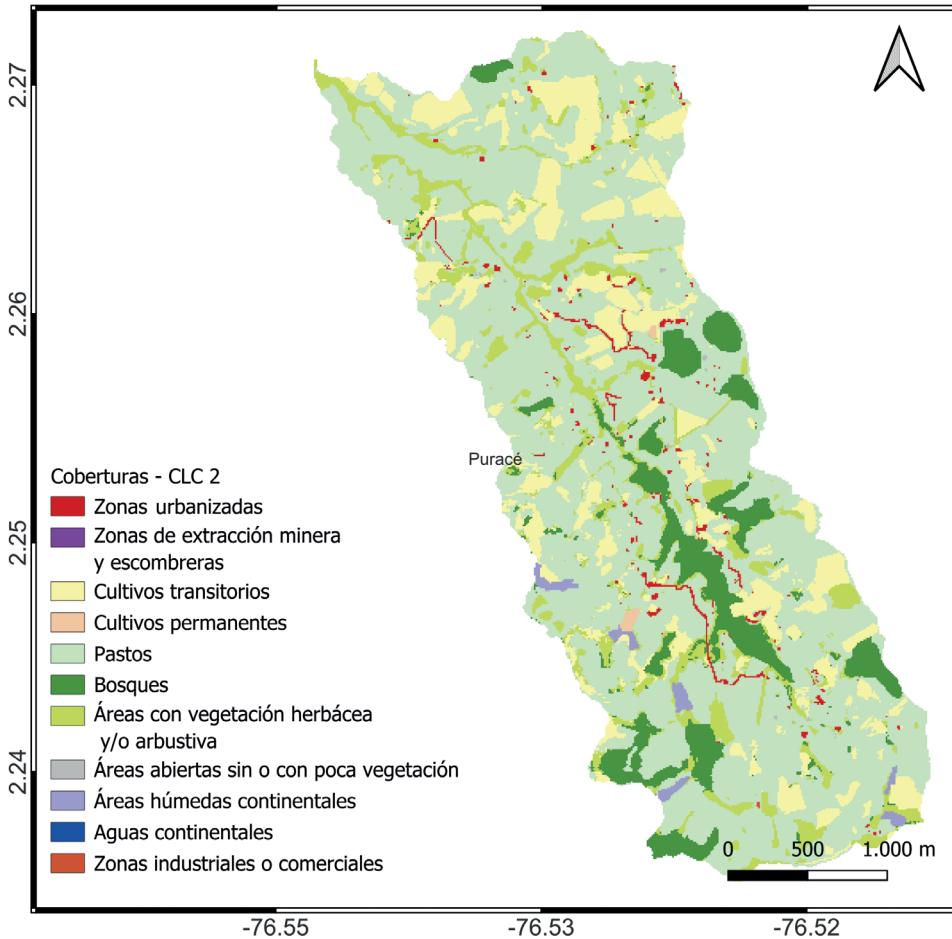
Mapa 5. Clasificación de coberturas de la subcuenca Piendamó

Nota. Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

### *Microcuenca Los Ranchos*

Ubicada en Puracé, esta subcuenca combina usos agrícolas, ganaderos y áreas naturales clave para la conservación. En las zonas medias y bajas, predominan cultivos y pastos, lo que refleja la importancia de la actividad agropecuaria en la región. En contraste, los bosques y la vegetación arbustiva en áreas menos intervenidas son fundamentales para la regulación hídrica y la biodiversidad. Las zonas urbanizadas y las vías de conexión articulan los principales asentamientos, mientras que la minería y las escombreras generan presiones ambientales sobre los suelos y el agua. Finalmente, los humedales y cuerpos de agua subrayan la necesidad de una gestión sostenible que permita mantener los servicios ecosistémicos y equilibrar la producción con la protección de los recursos naturales (Mapa 6).



Mapa 6. Clasificación de coberturas de la microcuenca Los Ranchos

Nota: Nivel 2 de CLC.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 1 presenta la distribución porcentual y en km<sup>2</sup> de las coberturas a nivel 2 de CLC en las seis subcuencas priorizadas. Los “Pastos” –P– predominan en la mayoría de ellas, alcanzando hasta un 63,22 % en la subcuenca Los Ranchos. Los “Bosques” –B– también muestran proporciones significativas, superando el 30 % en Piendamó y Las Piedras. En contraste, las “Zonas urbanizadas” –ZU– y las “Zonas de extracción minera” –ZEME– registran porcentajes bajos, lo que indica una menor presión antrópica de tipo urbano-minero. El área total de las subcuencas presenta un rango amplio, desde 9,52 km<sup>2</sup> en Los Ranchos hasta 644,71 km<sup>2</sup> en Palacé.

Tabla 1. Conteo de coberturas para las clasificaciones finales en el nivel 2 de CLC para las seis subcuencas priorizadas

Coberturas*	Las Piedras Área		Pedregosa Área		Cajibío Área		Palacé Área		Piendamó Área		Los Ranchos Área	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
ZU	0,98	0,65	5,25	4,58	6,57	7,27	4,54	29,25	2,95	11,57	1,22	0,12
ZEME	0,013	0,0084	0,038	0,033	0	0	0,28	1,82	0,061	0,24	0	0
CT	0,42	0,28	8,46	7,32	3,69	4,08	4,098	26,42	1,33	5,19	15,69	1,49
CP	0,22	0,15	8,75	7,56	7,10	7,85	2,76	17,79	0	0	0,15	0,014
P	42,38	27,92	25,84	22,33	36,22	40,08	32,57	209,98	25,15	98,52	63,22	6,02
B	31,05	20,46	13,039	11,27	24,90	27,56	26,66	171,89	41,49	162,51	8,80	0,84
AVHA	23,92	15,76	38,46	33,25	21,11	23,36	28,058	180,89	28,55	111,82	10,11	0,96
AASCPV	0,49	0,33	0,028	0,024	0,096	0,11	0	0	0,023	0,092	0,054	0,0051
AHC	0,24	0,16	0	0	0,033	0,037	0,71	4,55	0,012	0,047	0,75	0,071
AC	0,27	0,18	0,14	0,12	0,27	0,30	0,33	2,12	0,42	1,66	0	0
ZI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0073	0,0007
Total	100	65,89	100	86,45	100	110,67	100	644,71	100	391,64	100	9,52

Nota: Las abreviaciones de coberturas corresponden a ZU: Zonas urbanas, ZEME: Zonas de extracción minera, CT: Cultivos transitorios, CP: Cultivos permanentes, P: Pastos, B: Bosques, AVHA: Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, AASCPV: Áreas abiertas sin o con poca vegetación, AHC: Áreas húmedas continentales, AC: Aguas continentales, ZI: Zonas industriales.

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

El análisis de las coberturas en las subcuencas priorizadas –Las Piedras, Pedregosa, Cajibío, Palacé, Piendamó y Los Ranchos– evidencia una marcada heterogeneidad en los usos del suelo, que integran actividades agrícolas, ganaderas, forestales y urbanas. Los bosques y la vegetación arbustiva en zonas altas cumplen un papel fundamental en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad, mientras que en las áreas medias y bajas predominan cultivos y pastos, lo que

resalta la importancia de la agricultura y la ganadería para la economía local. La presencia de zonas urbanizadas y áreas de extracción minera refleja una creciente presión antrópica, con riesgos para la calidad del suelo y del agua. Por su parte, los humedales y cuerpos de agua resultan esenciales para la recarga de acuíferos y la regulación de caudales. La identificación de estas coberturas, junto con la participación de actores locales en el proceso de validación, ha permitido generar mapas precisos y pertinentes para la planificación territorial. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible que equilibren las actividades productivas con la conservación de los recursos naturales, con el fin de asegurar la sostenibilidad ambiental y la provisión de servicios ecosistémicos en las subcuencas analizadas.

## Referencias

Arrechea, Darwin *et al.*

2023 Multiclass land use and land cover classification of andean sub-basins in colombia with Sentinel-2 and deep learning. *Remote Sensing*. 15 (10): Article 10. doi: <https://doi.org/10.3390/rs15102521> (Acceso: 12/12/2024).

Catellanos, Henry

2010 *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología corine land cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

PlanetScope

2024 PlanetScope Overview. Disponible en: <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/> (Acceso: 12/12/2024).

# Valoración sociocultural: Percepción de los actores locales

DIANA MARCELA RUÍZ ORDÓÑEZ, JUAN PABLO MARTÍNEZ IDROBO,  
JULIANA SALAZAR BENÍTEZ

## Marco analítico

Desde la perspectiva de la valoración plural, los valores relacionales hacen referencia a la conexión no instrumental del ser humano con la naturaleza. Estos valores integran diversas cosmovisiones y culturas, así como consideraciones éticas de cuidado, responsabilidad y justicia socioambiental. Incluyen también valores intrínsecos, como el deber moral hacia la naturaleza y el reconocimiento del valor de las distintas formas de vida, independientemente de su utilidad para los seres humanos. Por su parte, los valores instrumentales se basan en las preferencias humanas, considerando tanto valores de uso como de no uso, y son, por naturaleza, sustituibles (Himes y Muraca 2018).

Bajo este enfoque, se llevó a cabo un proceso de exploración sobre las percepciones de los servicios ecosistémicos –SE– (Esquema 1). En él se analizó su importancia dentro del tejido agua-alimentos-territorio, los conflictos que emergen de estas interacciones y las oportunidades para la gestión y la acción colectiva. El proceso comprendió los siguientes pasos:



Esquema 1. Metodología para la valoración cultural de los servicios ecosistémicos  
Fuente: elaboración propia.

## Resultados y discusión

### *Percepciones*

Los valores relacionales reflejan la conexión no instrumental del ser humano con la naturaleza, los cuales integran cosmovisiones, culturas y principios éticos de cuidado y justicia socioambiental. En este sentido, las percepciones e ideas en torno a los SE identificadas pueden agruparse en las siguientes categorías de análisis (Figura 1):

#### *Comunitario/colectivo*

Relaciona los SE con el bienestar de las comunidades: “servicios dirigidos a la comunidad, relacionados con recursos naturales aprovechados para la vida, el bienestar y la supervivencia de las comunidades”; como regalos para la vida: “todo lo que la naturaleza nos ofrece o utilizamos”, y como un medio para fortalecer la identidad: “son aquellos que proyectan hacia el buen desarrollo ambiental, cultural y cosmogónico” (Taller VISEH 2024).

#### *Cuidado*

Implica responsabilidad en el mantenimiento de los SE: “cuido del medioambiente y de los recursos naturales”; corresponsabilidad con los ecosistemas: “posibilidad de sostener un ecosistema para el uso común, pues nos proporciona beneficios”, y la oportunidad de concientizar sobre su cuidado: “son los servicios del diario vivir de nosotros, los cuales no valoramos y no cuidamos” (Taller VISEH 2024).

#### *Integradora y relacional*

Los SE están inmersos en el territorio, en la vida y en el saber: “es tener conocimiento de todo el territorio”; son parte de la realidad: “realidades que se presentan en nuestras comunidades, el ecosistema y las personas”, y reflejan dependencia e interacción: “cada uno depende del otro”, “lo que nos regala la Madre Tierra” (Taller VISEH 2024).

#### *Salud ambiental*

Los SE ofrecen soberanía alimentaria “proporciona alimentos nutritivos”, seguridad hídrica “agua limpia, potable” y bienestar para las comunidades “reguladores de enfermedades” (Taller VISEH 2024).





Fotografía 1. Mural en Cajibío  
Nota: Mural elaborado por Wilmer Solarte.  
Tomada por: Luiyi Dorado (2025).

### *Expresiones artísticas en Popayán*

Los participantes de la IE El Canelo plasmaron su visión sobre el agua como fuente de vida, equilibrio y sustento (Fotografía 2). Se destacó su vínculo con la agricultura, la soberanía territorial y la medicina tradicional, así como preocupaciones ambientales, como la contaminación y la incertidumbre sobre su ciclo. Las representaciones enfatizaron la interdependencia entre el agua, la naturaleza y la sostenibilidad comunitaria.



Fotografía 2. Mural en Popayán  
Nota: Mural elaborado por Wilmer Solarte.  
Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

*Expresiones artísticas en Puracé*

El ejercicio resaltó que el agua, los alimentos y el territorio trascienden lo físico, los cuales se constituyen en elementos culturales y espirituales vinculados a cosmovisiones indígenas y prácticas agrícolas tradicionales (Fotografía 3). Cultivos y huertas reflejan saberes locales sobre biodiversidad y seguridad alimentaria. A través del mural, los niños de la Institución Educativa El Mirador expresaron su visión ecológica y social, construyendo símbolos comunitarios que representan el impacto de la crisis ambiental en la organización territorial. Estas actividades fortalecen la creatividad, la identidad cultural y la sostenibilidad.



Fotografía 3. Mural en Puracé

Nota: Mural elaborado por Wilmer Solarte.

Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

*Expresiones artísticas en Silvia*

Participaron los niños de la IE Sagrado Corazón –Kizgó–. En esta actividad, se resaltó la importancia de cultivos locales como ullucos, papa, arveja, maíz y trigo, esenciales en la alimentación y en las prácticas tradicionales, como la chicha para las mingas, aunque estas han disminuido con el tiempo (Fotografía 4). La chicha de maíz y trigo sigue siendo valorada por su simbolismo de fuerza y vitalidad. Asimismo, la laguna de Kizgó emergió como un símbolo de identidad comunitaria, vinculada a una historia ancestral sobre su origen en tiempos de sequía.

A través de la pintura, los niños, jóvenes y adultos expresaron su relación con el agua y el territorio, convirtiéndose en portavoces de una red de significados. Sus murales, más que paisajes, fueron mapas culturales que integran dimensiones existenciales, espirituales y sociales. El agua emergió como un ser vivo, esencial para la identidad colectiva y la supervivencia. El mural testimonia este diálogo, en el que, junto a páramos, animales y plantas, se establece una relación recíproca.



Fotografía 4. Mural en Silvia  
Nota: Mural elaborado por Wilmer Solarte.  
Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

El análisis del ejercicio muralístico en municipios del Cauca identificó cuatro dimensiones fundamentales de la relación agua-territorio, entendidas como un entramado complejo e interdependiente (Figura 2). La dimensión vital y existencial destaca el agua como flujo continuo para la vida, los ecosistemas y la producción alimentaria. La dimensión espiritual y cultural resalta al agua como un ser con el que se dialoga y a través del cual se integra sabiduría y conexión intrínseca. La dimensión social y comunitaria enfatiza la interdependencia, donde la identidad colectiva surge del compromiso con la naturaleza y la soberanía alimentaria. Finalmente, la dimensión territorial y ecológica aborda las prácticas de conservación como formas de habitar y dialogar con el territorio, dentro de las cuales se reconoce la biodiversidad y los ciclos ecosistémicos como actos de memoria y proyección. Todas estas dimensiones convergen en una comprensión integral de la existencia, donde lo humano y lo natural se entrelazan profundamente.

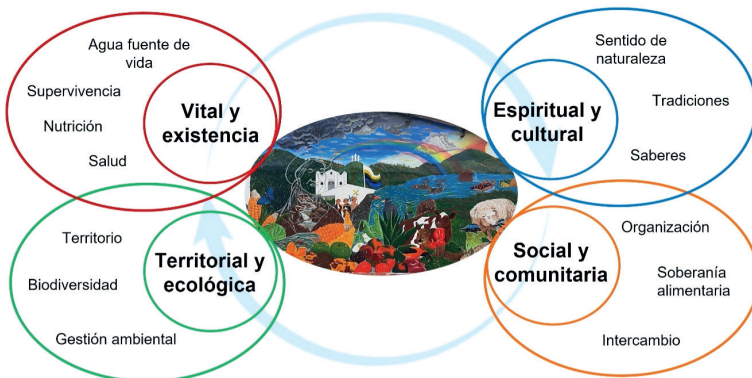


Figura 2. Integración de las dimensiones socioecológicas expresadas en los murales  
Fuente: elaboración propia.

## *Conflictos y gestión*

La gestión ambiental enfrenta conflictos entre los actores debido a los valores e intereses diferenciados, los cuales influyen en comportamientos y procesos de cambio. La valoración plural resulta clave, al resaltar los valores relacionales en la conservación de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la gobernanza (Munda 1996; Munda *et al.* 1994; Silvetti 2011). En este sentido, desde un enfoque socioecológico, se reconoció la interdependencia entre los SE y los elementos como el agua, la fauna, el suelo y la vegetación. Esto permitió identificar los principales factores que afectan las dinámicas socioecológicas en los municipios de interés.

### *Impulsores de cambio y conflictos en Cajibío*

- *Zona Guayabal-Porvenir-UT.* Los conflictos relacionados con el agua incluyen la tala y deforestación, la contaminación hídrica y la pérdida de identidad cultural. Estos problemas generan desafíos como la falta de capacitación y de articulación en el cuidado y manejo del agua.
- *La Capilla, Lomas Largas, La Buitrera.* Los problemas relacionados con el agua se asocian con cambios en el uso del suelo, el cambio climático, la baja cohesión social, el crecimiento poblacional, la modificación de cauces, la tala y la deforestación. Esto genera baja articulación entre instituciones y comunidades, expansión ganadera, erosión en pendientes y deterioro paisajístico. En cuanto al suelo, se observan pérdida de fertilidad, falta de manejo de aguas servidas y expansión ganadera, lo que provoca conflictos comunitarios, baja educación ambiental y fallas en procesos institucionales. En el componente de vegetación, las principales afectaciones derivan de invasiones biológicas, uso de agroquímicos, quemadas, inundaciones y crecimiento poblacional, lo que agrava la contaminación del aire, el riesgo de deslizamientos y la degradación de ecosistemas nativos y agroecosistemas.
- *Zona Túnel, La Pajosa, El Cairo.* Los problemas relacionados con el agua incluyen el cambio en el uso del suelo, la tala, la contaminación hídrica, el cambio climático, la baja cohesión social y la pérdida de identidad cultural. Esto agudiza los conflictos por la falta de saneamiento básico, el desperdicio de agua, la baja articulación interinstitucional-comunitaria, la disminución en la regulación de caudales, el deterioro paisajístico y el aumento del riesgo de deslizamientos.
- En cuanto al suelo, los principales problemas son el cambio en su uso, la tala y deforestación, las invasiones biológicas y la pérdida de fertilidad e identidad cultural. Como consecuencia, se agravan la baja cohesión social, la erosión, el deterioro paisajístico y los deslizamientos. Respecto a la vegetación y fauna, la deforestación, las invasiones biológicas y los cambios en el uso del suelo generan deterioro paisajístico, menor regulación hídrica y mayor riesgo de deslizamientos.

*Impulsores de cambio y conflictos en Popayán*

- *Zona Los Laureles.* Los principales problemas incluyen la contaminación del agua, el crecimiento poblacional, la deforestación, la contaminación por cabuya y la ganadería. En el suelo, la quema, la compactación y la contaminación afectan su calidad, lo que provoca disminución del caudal, pérdida de cultivos y contaminación atmosférica. En cuanto a la vegetación, la tala, la quema, las fumigaciones y la expansión urbana han reducido la disponibilidad de agua y aire, además de aumentar las zonas de riesgo. Respecto a la fauna, la tala, el monocultivo, la quema y la urbanización han generado conflictos por la falta de regulación y control del ecoturismo y de visitantes externos.
- *Zona Quintana.* Los principales problemas relacionados con el agua incluyen el crecimiento poblacional, la modificación de cauces, la falta de manejo de aguas servidas, los cambios en el uso del suelo, las invasiones biológicas, la contaminación por agroquímicos, el cambio climático, la deforestación y la expansión ganadera. Estas problemáticas han generado conflictos como el incumplimiento de planes de paz y convivencia, la escasa participación comunitaria en la gestión de cuencas, la pesca ilegal, la falta de coordinación en acciones territoriales y el deficiente saneamiento básico. Además, se presentan desperdicio de agua, baja fertilidad del suelo, erosión en pendientes, baja regulación de caudales, deterioro paisajístico, riesgos de deslizamientos, distribución inequitativa del recurso hídrico y la falta de acceso a agua segura en los hogares.
- En relación con el suelo, se observan problemas como la expansión ganadera descontrolada, erosión, incendios, uso excesivo de agroquímicos, crecimiento demográfico y riesgo de inundaciones. Además, persiste la creencia errónea –según las comunidades– de que es necesario poseer grandes extensiones de tierra para subsistir, lo que fomenta la ganadería extensiva, el monocultivo y la falta de delimitación de predios. Estas dinámicas han intensificado conflictos sociales, desigualdad y pobreza y han afectado también la distribución de alimentos, la seguridad sanitaria y el acceso a la educación, lo que provoca la migración juvenil.
- Se reporta el uso indiscriminado de leña y material vegetal para la cocción, un manejo deficiente de plagas debido a la baja adopción de tecnologías y la llegada de nuevas poblaciones que han debilitado los pactos comunitarios, la identidad cultural y la comercialización de productos, además de una escasa articulación entre comunidades urbano-rurales. En cuanto a la fauna, la pérdida de ecosistemas por incendios, la tala indiscriminada y el uso de herbicidas han reducido la biodiversidad. La caza sin control y el turismo convencional han agravado la desaparición de especies locales –aves, armadillos, peces, erizos, venados y mariposas–.

*Impulsores de cambio y conflictos en Puracé*

- Se identificaron diversas actividades que impactan el agua, como cambios en el uso del suelo, contaminación, baja regulación de caudales y escasa articulación interinstitucional y comunitaria. Estas problemáticas han generado conflictos como la falta de saneamiento básico, la erosión en los volcanes Puracé y Sotará, y la desconfianza en los procesos de producción limpia.
- En cuanto al suelo, los principales problemas incluyen la deforestación, la pérdida de fertilidad, las invasiones biológicas y la falta de canales de comercialización. Esto ha derivado en riesgos de deslizamientos, deterioro paisajístico, potrerización en zonas de pendiente y pérdida de identidad. La deforestación es el principal factor de presión sobre la vegetación que ha intensificado los impactos sobre el agua y el suelo.
- Respecto a la fauna, las invasiones biológicas, el cambio climático y los cambios en el uso del suelo han debilitado la articulación comunitaria y la identidad cultural.

*Impulsores de cambio y conflictos en Silvia*

- *Componente agua.* Los principales impactos provienen de la deforestación, la contaminación, el uso de agroquímicos, la ocupación de nacimientos y los cambios en el uso del suelo. Estos factores han generado conflictos, como la falta de saneamiento básico, la potrerización en pendientes con erosión, la baja regulación de caudales, la escasez de agua segura y disputas con la autoridad ambiental.
- *Componente suelo.* Se presentan conflictos asociados a la deforestación, la erosión por extracción, los incendios, el uso de químicos agrícolas, la sobreexplotación y el crecimiento poblacional. Esto ha provocado baja fertilidad, riesgos de deslizamientos, deterioro paisajístico, pérdida de identidad cultural y desconfianza en los procesos de producción limpia.
- *Componente vegetación.* Las afectaciones incluyen cambios en el uso del suelo, deforestación, cultivos ilícitos, producción de madera y expansión de vías. Estas acciones han generado deterioro paisajístico, pérdida de canales de comercialización, potrerización en zonas de erosión y una débil articulación comunitaria.
- *Componente fauna.* La fauna se ha visto impactada por la proliferación de especies invasoras y el aumento de plagas, factores agravados por la transformación del hábitat y la falta de regulación ambiental.

*Oportunidades de gestión*

Con base en los resultados del ejercicio VISEH, se presentan las estrategias y acciones de gestión para los municipios priorizados en el departamento del Cauca (tablas 1, 2, 3 y 4). Para cada recomendación y acción de gestión, se asignó un color que indica el período de tiempo en el que se debe implementar la acción: rojo, corto plazo (1-2 años); amarillo, mediano plazo (2-5 años); verde, largo plazo (5 años o más).

Tabla 1. Acciones de gestión de la biodiversidad y sus SE en Cajibío

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Guayabal-Porvenir-UT</b>	
<b>Agua</b>	
Capacitación desde el acueducto y las instituciones locales-regionales para generar empoderamiento comunitario, apoyarse en las JAC y en proyectos culturales	
<b>La Capilla, Lomas largas, La Buitrera</b>	
<b>Agua</b>	
Fortalecimiento organizacional/comunitario para la protección de zonas de importancia hídrica con aislamiento y reforestación –especies nativas– en áreas de pastoreo, para la retención de humedad del suelo con prácticas de “afloje” del terreno y prácticas productivas sostenibles.	
Sistemas de tratamiento en acueductos rurales para agua multipropósito.	
Manejo de conflicto o “pacto de convivencia” articulado al POT y POMCH y formalización de figuras de protección complementaria a la compra de predios de interés ambiental.	
<b>Suelo</b>	
Fortalecimiento organizacional/comunitario con escuelas, instituciones y organizaciones sociales, sobre el conocimiento del territorio y el diálogo basados la educación ambiental.	
Implementación del manejo de abonos y control de plagas	
Tecnificación de las practicas productivas para que sean más limpias.	
<b>Vegetación</b>	
Recuperación de taludes y zonas susceptibles de remoción, mediante obras biomecánicas	
Zonas de reservas de la sociedad civil con censo arbóreo	

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Túnel, la Pajosa, el Cairo</b>	
<b>Agua</b>	
Protección de zonas de importancia hídrica con aislamiento y reforestación que mejoren la continuidad de la franja riparia.	
Fortalecimiento organizacional y comunitario	
<b>Suelo</b>	
Siembra de especies nativas en áreas de pastoreo –mejorar la retención de humedad del suelo–.	
<b>Vegetación</b>	
Zonas de reservas de la sociedad civil que implementen prácticas productivas sostenibles.	
Custodios de semillas para la recuperación de variedades resistentes a la variación climática	
<b>Fauna</b>	
Fortalecimiento organizacional y comunitario	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Acciones de gestión de la biodiversidad y sus SE en Popayán

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Laureles</b>	
<b>Agua</b>	
Mejorar el proceso de lavado de cabuya y proteger la ronda hídrica	
<b>Suelo</b>	
Control de quema, manejo de arvenses, rotación de cultivos e implementación de biofábricas.	
<b>Vegetación</b>	
Masificar el uso de estufas ecológicas e implementar acciones de restauración, obras biomecánicas y sistemas silvopastoriles.	
<b>Fauna</b>	
Aviturismo articulado al fortalecimiento organizacional –comunidades/instituciones–	

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Quintana (Asopro-Quintana)</b>	
<b>Agua</b>	
Fomentar procesos de organización y unidad para el manejo articulado del agua.	
Dar manejo al impacto ecológico que existe en las fuentes hídricas, especialmente en la continuidad de bosques riparios.	
Estrategias de visibilización de zonas y acciones en torno a la oferta ecoturística con control del impacto de visitantes.	
Generar espacios para la educación ambiental que integre acciones de monitoreos y seguimiento de la calidad del agua	
<b>Suelo</b>	
Rotación de potreros con mejoramiento de pastos, raza del ganado	
Control de plagas y uso de abono orgánico.	
Fortalecimiento cadenas de valor con recuperación de recetas tradicionales.	
Semillas recuperadas con manejo tecnificado	
Educación ambiental formal en las escuelas y los colegios que facilite la integración intergeneracional desde el reconocimiento del territorio	
<b>Vegetación</b>	
Consolidar las zonas conservadas con especies nativas recuperadas y espacios de sucesión natural	
Censo arbóreo en las reservas naturales	
Turismo académico y responsable	
Alternativas para electricidad –estufa ecológica–	
<b>Quintana –Acaragro–</b>	
<b>Agua</b>	
Protección de zonas de importancia hídrica con aislamiento, reforestación y continuidad de zonas de bosques riparios.	
Sistemas de tratamiento en acueductos rurales para agua multipropósito	
Consolidación de las zonas de reservas de la sociedad civil en complemento con la adquisición de predios de interés ambiental.	
Pacto de convivencia articulado al POT y POMCH, la red de reservas y el fortalecimiento organizacional y comunitario.	

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Quintana –Asocampo–</b>	
<b>Agua</b>	
Obras de aislamiento, protección, mantenimiento del caudal ecológico, franja riparia –30 m–.	
<b>Suelo</b>	
La gente en la ciudad consume los productos para que se potencie la producción con rotación de cultivos y abonos orgánicos.	
Siembra de especies nativas que fortalezcan la recuperación de semillas.	
Prácticas productivas sostenibles	
<b>Vegetación</b>	
Evitar la quema descontrolada y motivar la siembra de especies nativas	
Fortalecer la red de custodios de semillas, con la recuperación de variedades resistentes a las condiciones climáticas	
Recuperación de taludes y zonas susceptibles de remoción, mediante obras biomédicas	
<b>Fauna</b>	
Conservación de hábitats, acompañado de educación ambiental para las nuevas generaciones,	
<b>Cabildo de Quintana</b>	
<b>Agua</b>	
Procesos de reforestación.	
Manejo de aguas estancadas	
Mejorar la infraestructura de los SAAR	
Prácticas de control del territorio con educación ambiental y comunicación para la cooperación y corresponsabilidad.	
<b>Suelo</b>	
Actividades de reforestación con integración de niños y jóvenes.	
Manejo silvopastoril y el aumento de prácticas de producción orgánica.	
Fomentar cadenas de valor para el ecoturismo.	
<b>Fauna</b>	
Control de la caza, protección en las reservas La Montaña y El Laurel, con articulación interinstitucional	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Acciones de gestión de la biodiversidad y sus SE en Puracé-ASCEMOL

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Vereda el Molino – el Mirador</b>	
<b>Agua</b>	
Protección de zonas de importancia hídrica con aislamiento y reforestación, especialmente en zonas de pastura y franja riparia.	
Formalización de zonas de reservas de la sociedad civil, articulada a un proceso de fortalecimiento organizacional y comunitario.	
<b>Suelo</b>	
Siembra de especies nativas en áreas de pastoreo, para incrementar la retención de humedad del suelo con prácticas de “afloje” del terreno.	
Mejoramiento de zonas de erosión por actividad ganadera intensiva	
<b>Vegetación</b>	
Custodios de semillas, recuperación de variedades resistentes a las condiciones climáticas.	
Prácticas productivas sostenibles	
<b>Fauna</b>	
Prohibición de caza y limitación de la pesca	
Capacitación-sensibilización –conservación de los recursos naturales–	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Acciones de gestión de la biodiversidad y sus SE en Silvia

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Molino</b>	
<b>Agua</b>	
Protección de zonas de importancia hídrica con aislamiento y reforestación con acciones de continuidad en la zona de bosques riparios.	
Fortalecimiento organizacional y comunitario articulado a un pacto de convivencia, los instrumentos de gestión POT y POMCH y la red de reservas naturales.	
Sistemas de tratamiento en acueductos rurales para abastecer agua multipropósito articulado a prácticas productivas sostenibles y de ahorro y uso eficiente del agua.	

Acción de manejo y gestión concertada	Plazo
<b>Suelo</b>	
Siembra de especies nativas en áreas de pastoreo, para incrementar la retención de humedad del suelo con prácticas de “afloje” del terreno.	■
Custodios de semillas, recuperación de variedades resistentes a las condiciones climáticas, fortalecimiento organizacional y comunitario	■
Recuperación de taludes y zonas susceptibles de remoción, mediante obras biomecánicas	■
<b>Vegetación</b>	
Articulación interinstitucional y comunitaria para la adquisición de predios de interés ambiental.	■
Incentivar las prácticas productivas sostenibles, articuladas a la red de custodios de semillas mediante la recuperación de variedades resistentes a las condiciones climáticas	■
<b>Fauna</b>	
Fortalecimiento organizacional y comunitario articulado a la red de reservas naturales, espacios de vida y procesos de educación ambiental.	■
<b>Manchay</b>	
<b>Agua</b>	
Talleres de manejo y cuidado del consumo del agua en los que se establezcan rutas de trabajo concertadas.	■
Adquisición de predios para reubicación de familias localizados en zonas de fragilidad ecológica	■
<b>Suelo</b>	
Fortalecimiento de buenas prácticas productivas y manejo (agua-suelo)	■
Fortalecimiento organizacional y comunitario para fomentar la producción limpia, el reciclaje y el cambio de uso del suelo, acorde a su vocación.	■
<b>Vegetación</b>	
Custodios de semillas, para la recuperación de variedades resistentes a la variación climática	■
Educación ambiental en escuelas y organizaciones comunitarias para la población diferencial	■
<b>Fauna</b>	
Talleres educativos para la conservación de los recursos naturales y cuidado de los hábitats.	■
Sanciones y control territorial	■

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

El análisis de valoración sociocultural-percepciones de los SE evidencia la necesidad de integrar los saberes tradicionales y las prácticas culturales en la formulación de políticas para la gestión territorial y ambiental, dado que estas, a menudo, priorizan valoraciones ecológicas y económicas que desestiman otro tipo de relaciones intangibles y no materiales, las cuales influyen directamente en la calidad de vida y el bienestar. El reconocimiento de los valores relacionales a través de actividades comunitarias que involucran expresiones artísticas, como el muralismo, es una estrategia participativa relevante que permite, de manera visual, narrar sus vivencias territoriales y fortalecer los procesos de diálogo e intercambio de conocimiento y saberes ancestrales entre diferentes grupos etarios de la comunidad. Adicionalmente, este tipo de iniciativas acentúa su reconocimiento como parte integral del sistema, del cual son tanto hacedores como gestores de cambio, las cuales estimulan la cohesión social, fundamental para enfrentar desafíos socioambientales futuros y promover procesos de gobernanza territorial desde la ética y el valor intrínseco de las contribuciones de la naturaleza.

La oferta de servicios ecosistémicos en los municipios priorizados es diversa y permite el desarrollo de actividades productivas, así como la construcción de identidad y territorio en relación con el agua, el suelo, la vegetación y la fauna. Estas características forman parte de la riqueza natural de las zonas de trabajo y representan un potencial para la sostenibilidad ambiental y el bienestar comunitario.

Sin embargo, esta riqueza enfrenta amenazas derivadas de prácticas productivas intensivas y extensivas que impactan negativamente la disponibilidad hídrica y la calidad del suelo. La degradación ambiental resultante no solo pone en riesgo la estabilidad de los ecosistemas, sino que también profundiza la brecha socioeconómica en las comunidades rurales, donde el acceso al agua limpia sigue siendo una limitante crítica para la equidad y el desarrollo. La falta de medidas efectivas de conservación y gestión sostenible podría comprometer, a largo plazo, la capacidad de estas regiones para mantener su oferta de servicios ecosistémicos y garantizar condiciones de vida dignas para su población.

Las acciones de gestión identificadas evidencian que la gestión sostenible de los recursos naturales y sus servicios ecosistémicos requiere el fortalecimiento organizacional y comunitario, con enfoque en la educación ambiental y la participación de las comunidades locales. La protección del agua, suelo, vegetación y fauna se impulsa mediante la reforestación con especies nativas, prácticas productivas sostenibles, manejo adecuado de conflictos y creación de reservas comunitarias. Estas acciones promueven la conservación ambiental, la resiliencia climática y el desarrollo sostenible del territorio.

## Referencias

- Himes, Austin y Barbara Muraca  
 2018 Relational values: The key to pluralistic valuation of ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 35: 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.09.005> (Acceso: 21/01/2025).
- Taller VISEH --Valoración de servicios Ecosistémicos Hídricos--  
 2024 *Comunidades de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia*.  
 Popayán: Proyecto Bieconomía.
- Munda, Giuseppe  
 1996 Cost-benefit analysis in environmental assessment: Some methodological issues. *Ecological Economics*. 19: 157-168. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(96\)00048-1](https://doi.org/10.1016/0921-8009(96)00048-1) (Acceso: 21/01/2025).
- Silvetti, Felicitas  
 2011 Una revisión conceptual sobre la relación entre campesinos y servicios ecosistémicos. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 8 (66): 19-45. doi <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr8-66.rcsr> (Acceso: 21/01/2025).



# Parte 2

Estrategias de gestión adaptativa  
para la sostenibilidad: Gobernanza,  
bioeconomía y escenarios de cambio

**E**n el umbral de un futuro marcado por la incertidumbre climática y la creciente presión sobre los recursos naturales, la gestión prospectiva del territorio emerge como un imperativo ineludible. Esta sección se adentra en la complejidad de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– en cuatro municipios del Cauca –Cajibío, Puracé, Silvia y Popayán–, donde se explora la intrincada red de interacciones entre el conocimiento técnico-científico y los saberes locales. Nuestra aproximación no solo diagnostica la situación actual, sino que proyecta escenarios futuros y propone estrategias de gobernanza adaptativas para afrontar los desafíos venideros. La premisa central de este análisis radica en la convicción de que la sostenibilidad territorial no puede alcanzarse mediante soluciones unidimensionales. En cambio, requiere un enfoque holístico que entrelace la precisión de la percepción remota, la modelación climática y el análisis bioeconómico con la sabiduría arraigada en las comunidades locales. A través del prisma de la valoración integral de los SEH –VISEH–, se devela cómo las dinámicas del agua y el suelo, percibidas y gestionadas localmente, son esenciales para la seguridad hídrica, la producción agrícola y la biodiversidad.

La participación comunitaria, lejos de ser un mero apéndice metodológico, se erige como el pilar fundamental de este proceso investigativo y propositivo. Las voces de los habitantes de estos cuatro municipios resuenan con preocupaciones apremiantes: la gestión del agua, la ausencia del Estado y los impactos productivos de actividades como la ganadería extensiva, la minería y los monocultivos. Sin embargo, en estas mismas voces reside la clave para la resiliencia territorial. La corrección participativa de mapas de coberturas de suelo, un ejercicio de cocreación del conocimiento, ejemplifica el potencial transformador de la colaboración entre científicos, técnicos y comunidades locales.

Esta sección trasciende la descripción estática de los SEH para aventurarse en el terreno de la prospectiva, mediante el análisis de la oferta y demanda de estos servicios con un horizonte de dos décadas. Las proyecciones climáticas para el período 2041-2070, validadas por la percepción comunitaria, pintan un panorama de desafíos significativos: incrementos de temperatura entre 1,0 °C y más de 2,0 °C en gran parte de la región, alteraciones en los patrones de precipitación y consecuentes modificaciones en la disponibilidad hídrica. Estos cambios, lejos de ser abstracciones científicas, se materializan en riesgos tangibles para la seguridad alimentaria, la estabilidad ecosistémica y el bienestar de las comunidades. Ante este escenario de transformación acelerada, la bioeconomía emerge como un paradigma prometedor que reconcilia la conservación ambiental con el desarrollo socioeconómico. Las prácticas agroforestales, el ecoturismo, la valorización de productos derivados de la biodiversidad y otras iniciativas sostenibles representan alternativas viables para diversificar las economías locales mientras se protegen los ecosistemas estratégicos. Sin embargo, como revela nuestro análisis, la implementación efectiva de la bioeconomía enfrenta barreras significativas: la fragmentación institucional, la limitada capacidad técnica y financiera de las comunidades y la desarticulación entre actores clave.

La superación de estas barreras requiere una gobernanza ambiental colaborativa, adaptativa e inclusiva. La creación de Comités Locales de Agua y Biodiversidad –CLAB–, el fortalecimiento de los planes de ordenamiento territorial con enfoque hídrico y el desarrollo de cadenas de valor sostenibles son algunas de las estrategias propuestas para catalizar la transformación territorial. Estas iniciativas, lejos de ser imposiciones externas, emergen del diálogo entre los saberes locales y el conocimiento técnico-científico, factores que garantizan su pertinencia y viabilidad.

La articulación de actores institucionales y comunitarios trasciende la mera coordinación logística para convertirse en un imperativo ético y estratégico. La creación de espacios de diálogo y concertación –donde confluyan las voces de comunidades indígenas, campesinos, científicos, funcionarios públicos y empresarios– es el cimiento sobre el cual se construyen soluciones innovadoras a problemas complejos. Esta interacción no solo enriquece el diseño de políticas públicas, sino que también fortalece el tejido social y la resiliencia comunitaria. El análisis de las estrategias existentes para la gestión de los SEH revela tanto avances significativos como desafíos persistentes. Los marcos normativos nacionales e internacionales ofrecen directrices valiosas, pero su implementación efectiva requiere adaptación a las realidades territoriales y apropiación por parte de las comunidades locales. La educación ambiental, el fortalecimiento de capacidades organizativas y la creación de mecanismos de financiamiento sostenible son eslabones esenciales en esta cadena de transformación.

Esta sección, en última instancia, es una invitación a repensar la relación entre la sociedad y su entorno natural desde una perspectiva sistémica, integradora y prospectiva. Es un llamado a construir un futuro donde la sostenibilidad no sea una utopía abstracta, sino una realidad palpable enraizada en prácticas cotidianas, un futuro donde la gestión del territorio se nutra de la sabiduría ancestral y se fortalezca con la precisión de la ciencia contemporánea, un futuro donde la bioeconomía impulse el desarrollo sin comprometer el legado natural para las generaciones venideras.

Los modelos prospectivos que presentamos a continuación no pretenden predecir con exactitud matemática lo que ocurrirá en las próximas décadas, sino más bien delinear posibles trayectorias y puntos de inflexión donde la acción colectiva puede generar cambios significativos. La gobernanza sostenible que proponemos no es una fórmula rígida, sino un proceso adaptativo que evoluciona a medida que aprendemos de nuestros éxitos y fracasos. Es, en esencia, un camino compartido hacia la equidad socioecológica y la resiliencia territorial.

Invitamos al lector a adentrarse en las páginas siguientes con una mirada crítica pero esperanzadora, reconociendo tanto la magnitud de los desafíos como el potencial transformador de la acción colectiva informada. Los servicios ecosistémicos hídricos no son meros recursos por explotar, sino el sustento vital de comunidades diversas y ecosistemas complejos. Su gestión sostenible es, quizás, uno de los mayores retos y oportunidades de nuestro tiempo.

# Modelos prospectivos que integran el conocimiento y los saberes locales

JOHANA ANDREA SÁNCHEZ GUEVARA, DIANA MARCELA RUÍZ ORDÓÑEZ  
Y YADY TATIANA SOLANO CORREA

## Introducción

La gestión prospectiva del territorio exige la integración del conocimiento técnico-científico con los saberes locales para garantizar la sostenibilidad de los SEH. En este contexto, y en el marco del proyecto de ‘Bioeconomía’, se llevó a cabo el taller de valoración integral de servicios ecosistémicos hídricos –VISEH– en los cuatro municipios priorizados –Cajibío, Puracé, Silvia y Popayán–, donde las comunidades identificaron las dinámicas del agua y del suelo en sus territorios y se resaltó su importancia para la seguridad hídrica, la producción agrícola y la biodiversidad.

Desde el componente participativo, se expresaron preocupaciones sobre la gestión del agua, la ausencia del Estado y los impactos productivos. Entre ellas, se destacó la necesidad de conservar las fuentes hídricas y fomentar prácticas sostenibles. Asimismo, la corrección de mapas de coberturas de suelo con la participación local permitió integrar conocimientos comunitarios y técnicos, lo cual aportó insumos para una planificación territorial participativa que fortalece la gobernanza y la resiliencia de los ecosistemas, con énfasis en los SEH.

## Metodología

Para la identificación y zonificación de los servicios ecosistémicos –SE– a nivel de subcuenca, se utilizaron los mapas de coberturas del suelo. A partir de esta información, se estableció la relación entre los tipos de cobertura y la provisión de SE, lo que permitió la elaboración de mapas de zonificación específicos.

Asimismo, se analizaron los conflictos asociados al uso y acceso a los SE en la región y se identificaron posibles rutas de gestión. Este proceso se enriqueció mediante la corrección de los mapas de coberturas del suelo con

la participación de actores locales en cada zona de interés, lo cual facilitó la integración del conocimiento comunitario con la información técnica, como la reportada en la tercera y cuarta comunicación del cambio climático.

La zonificación se llevó a cabo con base en la Tabla 1, considerando la clasificación de servicios ecosistémicos propuesta por el Common International Classification of Ecosystem Services –CICES– (Haines-Young y Potschin 2012). Esta clasificación permitió categorizar los SE en dos grupos focales: provisión y regulación, lo cual facilitó un análisis detallado de su distribución en las subcuencas priorizadas. A partir de esta estructura, se generaron los mapas de SE, con el fin de asegurar un enfoque estandarizado y alineado con metodologías internacionales para la evaluación y gestión de los ecosistemas.

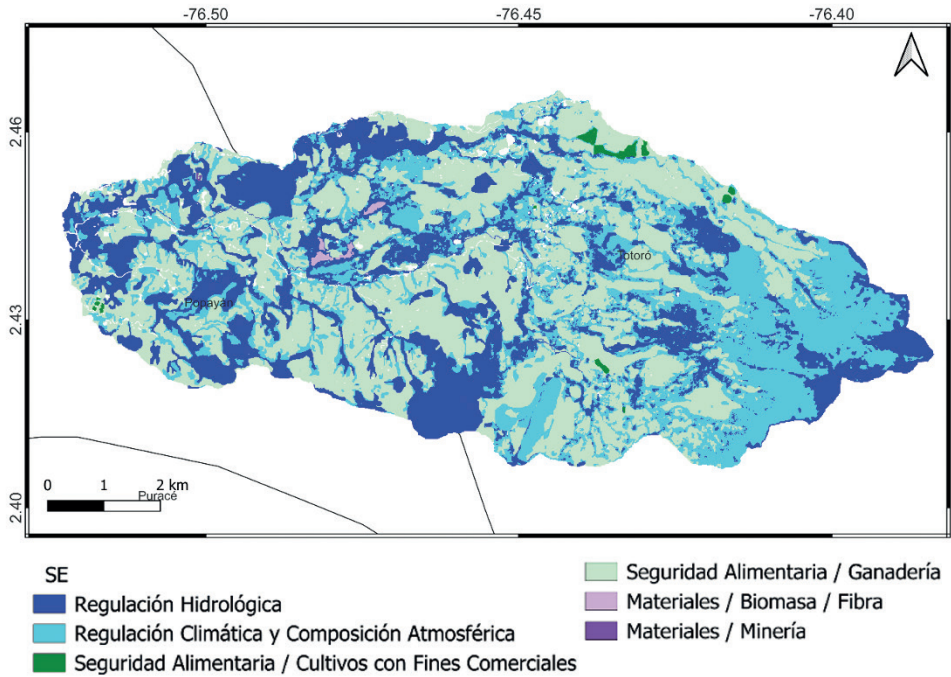
Tabla 1. Tipo de SE por cobertura

Coberturas del suelo	Tipo de SSE	Categoría SE
Agua	Regulación hidrológica	Regulación
Herbazal denso/páramo		
Bosque abierto y fragmentado		
Humedales		
Pastos naturales	Regulación del clima y la composición atmosférica	Regulación
Bosque denso		
Arbustales		
Cultivos	Seguridad alimentaria/ Cultivos con fines comerciales	Abastecimiento
Pastos limpios	Seguridad alimentaria/ganadería	
Bosque sembrado	Materiales/biomasa/fibra	
Zonas de extracción minera	Materiales/minería	

Nota: Marco de clasificación CICES

Fuente: elaboración propia a partir de EEA (2019).

## Resultados y discusión

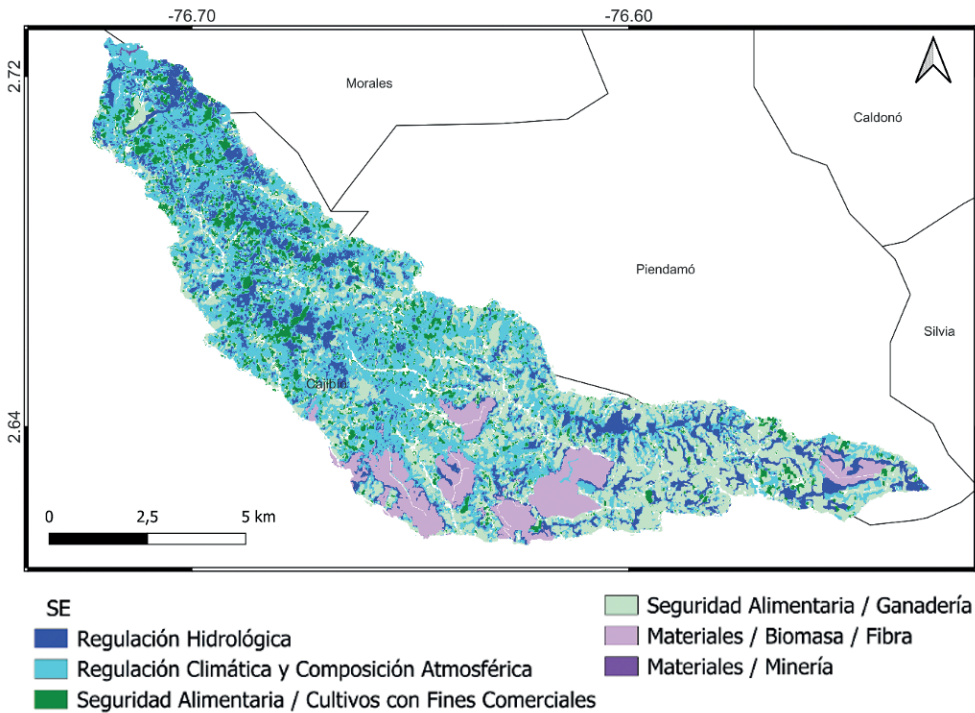
*Subcuenca del río Las Piedras*

Mapa 1. Servicios ecosistémicos, subcuenca del río Las Piedras  
Fuente: elaboración propia.

La distribución de los SE en la subcuenca de Las Piedras (Mapa 1) se relaciona estrechamente con las coberturas, los usos del suelo y los procesos de gestión ambiental. En las zonas mejor conservadas de la parte alta predominan los servicios de regulación hidrológica y climática. Sin embargo, en la zona media se identifican amplias áreas destinadas a la provisión de recursos para la seguridad alimentaria y la producción ganadera, principal actividad de la cuenca. Hacia el límite con Totoró, se observan monocultivos, mientras que en el cauce principal del río Las Piedras se realiza la extracción de materiales, principalmente de cantera. Finalmente, la presencia de bosques plantados impacta la biodiversidad local y la provisión de SEH.

### *Subcuenca del Río Pedregosa*

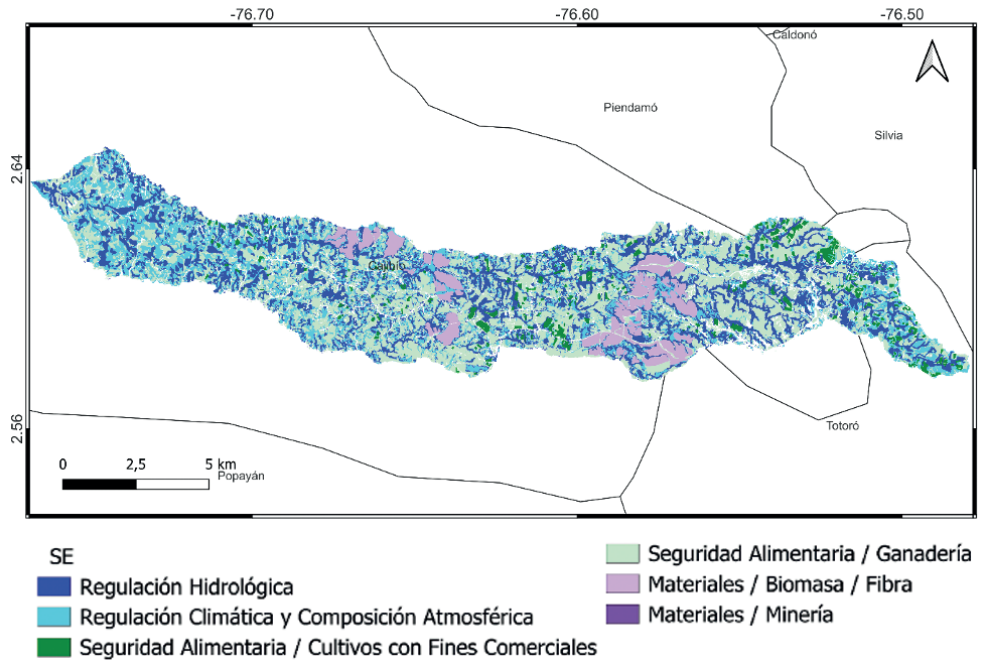
En la subcuenca La Pedregosa (Mapa 2) se evidencia una amplia distribución de los SE de regulación a lo largo de toda la cuenca, estrechamente asociados con las condiciones hidrológicas y climáticas favorecidas por la presencia de coberturas naturales bien conservadas. No obstante, en las zonas alta y media-alta se identifican áreas con potencial de generar impactos futuros, dado su uso para la extracción de materiales mineros y la producción de cultivos con fines comerciales y de seguridad alimentaria. Estos cultivos se concentran principalmente en la parte baja, donde rodean el cauce principal, convirtiendo a estas áreas en puntos estratégicos para articular procesos de restauración, conservación y producción bajo un enfoque agroecológico.



Mapa 2. Servicios ecosistémicos, subcuenca del río Pedregosa  
Fuente: elaboración propia.

### Subcuenca del Río Cajibío

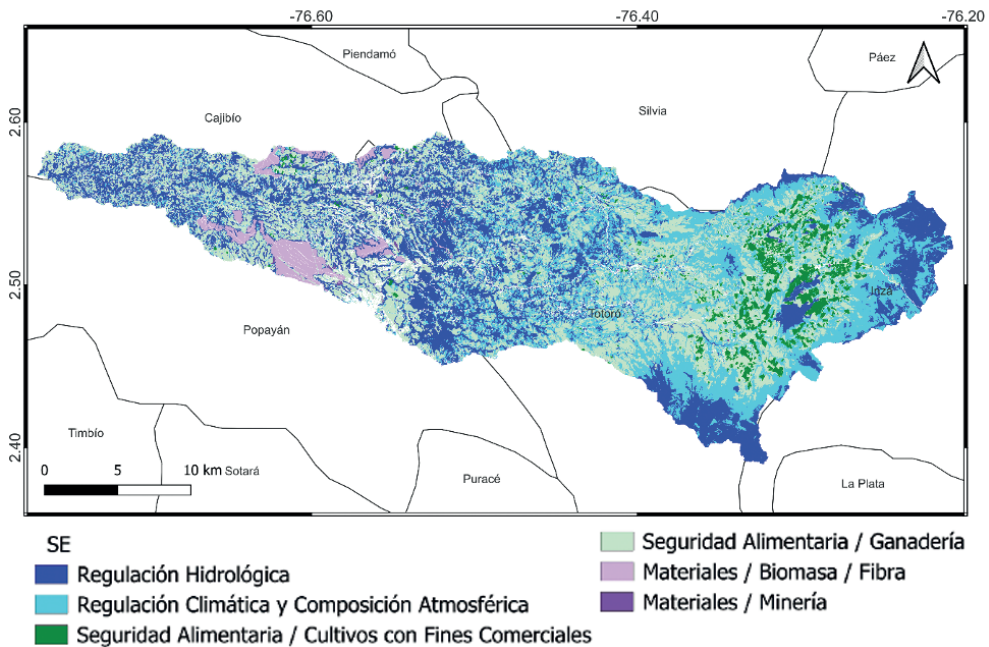
La subcuenca del río Cajibío (Mapa 3), aunque cuenta con SE de regulación hidrológica y climática gracias a la presencia de coberturas naturales y áreas boscosas que favorecen su provisión, también presenta zonas de alta intervención. En la parte media y baja, se concentran actividades de explotación de material de cantera, así como producción de biomasa y fibra, mientras que en las zonas alta y media se encuentran puntos dispersos de cultivos destinados a la seguridad alimentaria. Es fundamental orientar las acciones de gestión, especialmente hacia la zona alta, donde las áreas cultivadas se localizan cerca de la fuente hídrica, poniendo en riesgo la disponibilidad del recurso. La cuenca del río Cajibío cumple un papel clave en el abastecimiento de agua para las comunidades locales.



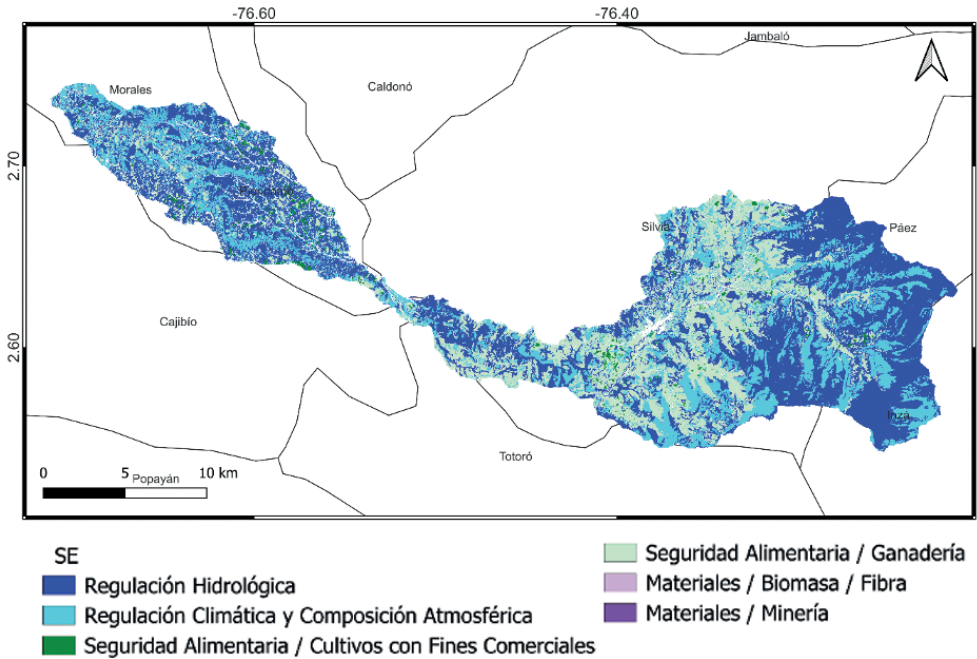
Mapa 3. Servicios ecosistémicos, subcuenca del río Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

### *Subcuenca del río Palacé*

Según el mapa de distribución de SE en la subcuenca del río Palacé (Mapa 4), es fundamental considerar las dinámicas presentes en la zona alta, donde convergen los servicios de regulación hidrológica y climática con áreas de provisión, que incluyen cultivos destinados tanto a la seguridad alimentaria como al comercio. En este contexto, cobra especial relevancia la expansión de monocultivos, cuya práctica intensiva y convencional constituye una amenaza para la disponibilidad de agua desde el nacimiento del río. Hacia las partes media y baja de la subcuenca, también se identifican puntos críticos de gestión, como las zonas de extracción de materiales de cantera y los procesos de explotación minera, que requieren una intervención adecuada para mitigar sus impactos ambientales. Es importante destacar que el río Palacé abastece de agua para múltiples usos a las comunidades locales; asimismo, representa una fuente complementaria clave para el área de expansión urbana de la ciudad de Popayán. Por ello, su gestión y conservación deben ser prioritarias tanto para las entidades competentes como para la comunidad.



Mapa 4. Servicios ecosistémicos, subcuenca del río Palacé  
Fuente: elaboración propia.

*Subcuenca del río Piendamó*

Mapa 5. Servicios ecosistémicos, subcuenca del río Piendamó  
Fuente: elaboración propia.

En la subcuenca del río Piendamó (Mapa 5) se desarrollan procesos de conservación que favorecen la provisión de SE de regulación hidrológica y climática, especialmente en la zona alta, considerada un sitio de interés ambiental por ser el nacimiento del río. En la zona media se observan cultivos vinculados tanto a prácticas comerciales como a pequeñas explotaciones orientadas a la seguridad alimentaria. Por su parte, en la parte baja se identifican áreas dispersas de cultivo que contribuyen a la provisión de servicios de abastecimiento para las comunidades locales, lo que resalta la importancia de su manejo sostenible para garantizar la oferta hídrica destinada a diversos usos, tanto rurales como urbanos.

### *Microcuenca Los Ranchos*

La oferta de SE en la microcuenca Los Ranchos (Mapa 6) se centra en la provisión, con especial énfasis en la seguridad alimentaria y en pequeños cultivos de carácter comercial. No obstante, una de las actividades más representativas y con mayor impacto en la dinámica hidrológica de la microcuenca es la expansión ganadera, lo que la convierte en un aspecto clave dentro de las estrategias de manejo y gestión.

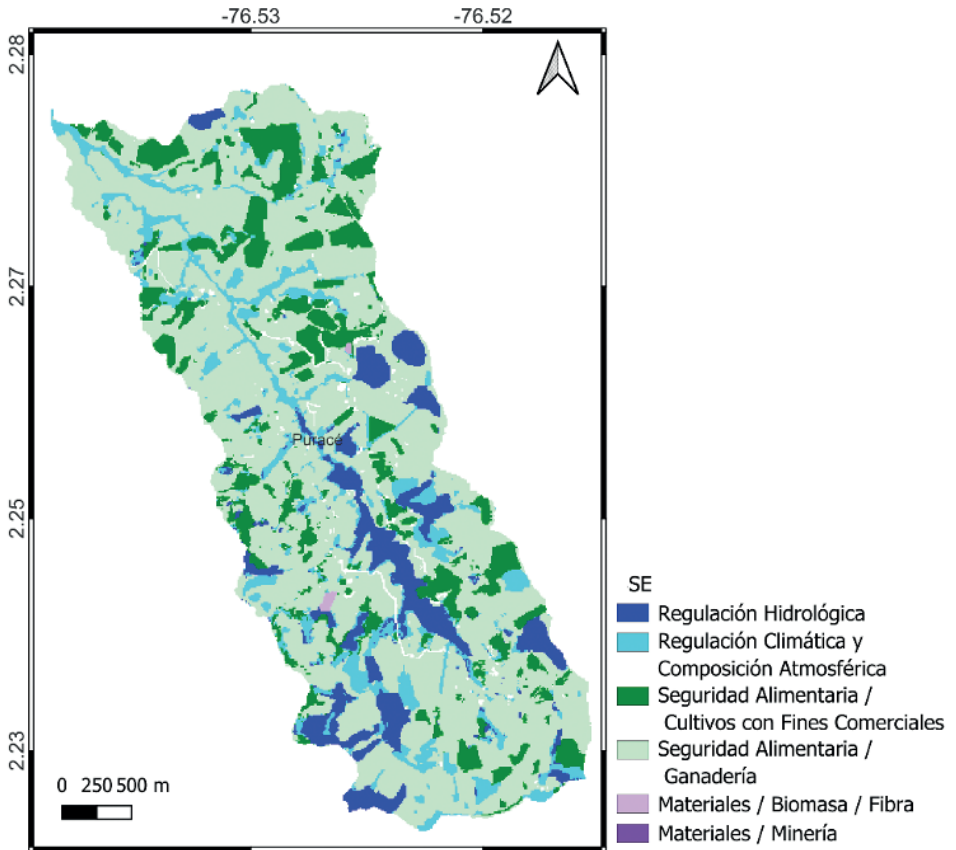
Dado que esta microcuenca constituye una fuente de abastecimiento de agua para las comunidades locales y es una de las más intervenidas en el área de estudio del proyecto, su conservación y restauración resultan prioritarias. La recuperación de coberturas naturales se presenta como una acción fundamental para fortalecer la regulación hídrica y climática, lo cual garantiza la sostenibilidad del ecosistema.

### *Principales conflictos asociados a la pérdida de servicios ecosistémicos en las subcuencas priorizadas*

Los resultados del taller de VISEH permitieron identificar los principales conflictos ambientales en cada municipio. Entre ellos, se destacan problemáticas como la falta de saneamiento básico, la contaminación del agua por agroquímicos y actividades productivas, la expansión ganadera y la degradación del suelo. Estos hallazgos evidencian la presión sobre los recursos naturales y la necesidad de implementar estrategias de manejo integradas que contribuyan a mitigar sus impactos.

Ante este escenario, se propusieron acciones orientadas a la protección de zonas hídricas, la reforestación, el fortalecimiento organizacional comunitario y la promoción de prácticas productivas sostenibles, tales como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos. No obstante, persisten preocupaciones en torno a la gestión del agua, la limitada presencia del Estado y los efectos negativos de ciertas actividades productivas. Estos aspectos resaltan la importancia de articular esfuerzos entre comunidades, instituciones y sectores productivos para garantizar la conservación de las fuentes hídricas y el desarrollo de modelos sostenibles de producción.

El análisis prospectivo de la oferta y la demanda de SSE, realizado de manera participativa en el marco del taller VISEH, revela una situación crítica a futuro en los municipios estudiados. Mientras que actualmente la oferta de recursos como agua, suelo, vegetación y fauna se mantiene en niveles moderados a altos, se proyecta una disminución significativa en los próximos veinte años, especialmente en Cajibío y Popayán. Esta reducción se atribuye a la contaminación, la deforestación y el cambio de uso del suelo, lo que evidencia la urgencia de implementar estrategias de adaptación y mitigación. Lo anterior se fundamenta en lo señalado por la tercera y cuarta comunicación del cambio climático (IDEAM 2015, 2024).



Mapa 6. Servicios ecosistémicos, microcuenca Los Ranchos  
Fuente: elaboración propia.

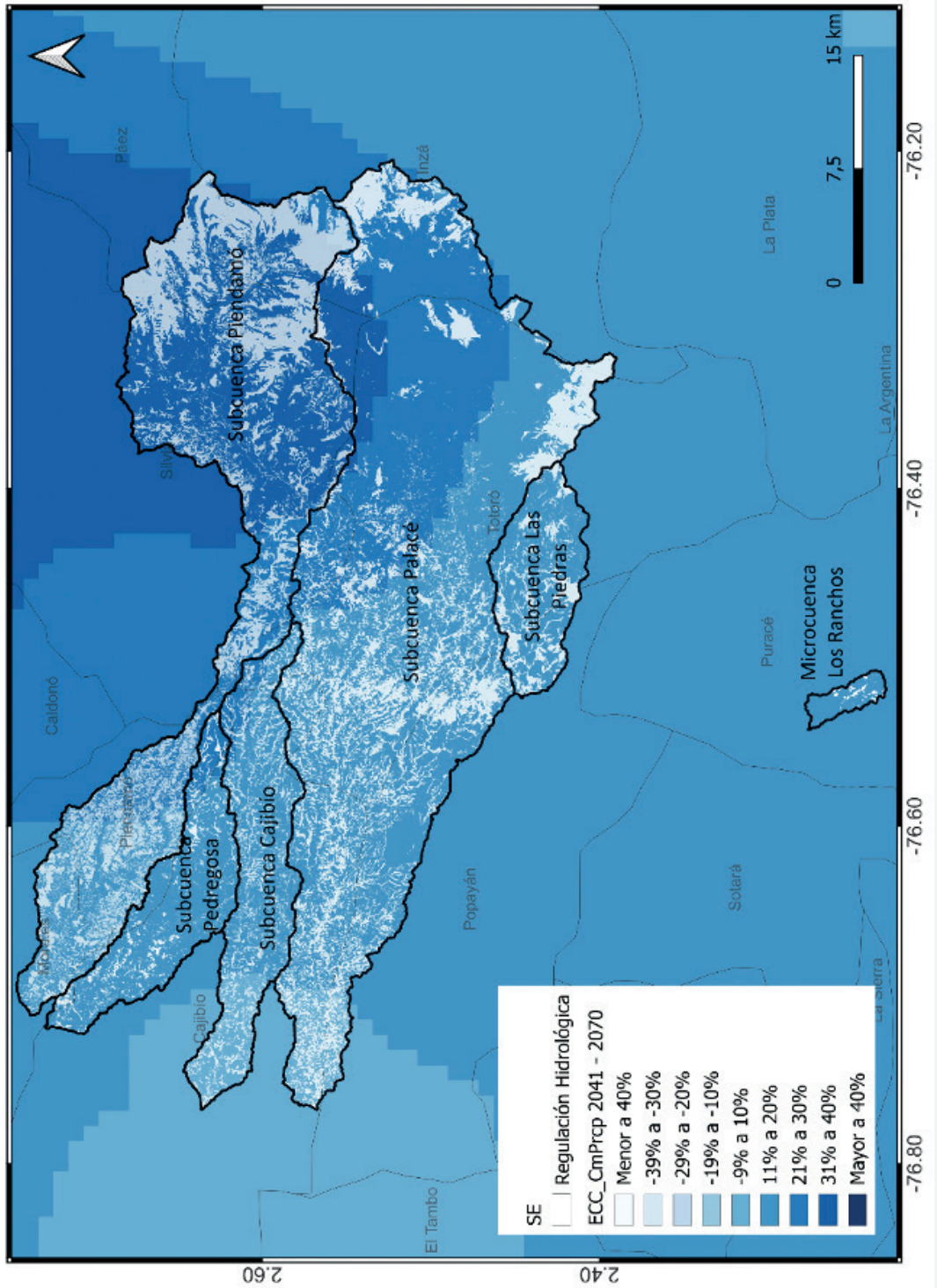
### Proyecciones climáticas y percepción comunitaria a veinte años, una convergencia entre el conocimiento local y la ciencia

Los escenarios de cambio en la precipitación (Mapa 7) y en la temperatura (Mapa 8) para el período 2041-2070, según el IDEAM (2015), confirman las tendencias que las comunidades ya perciben en sus territorios a mediano y largo plazo. Cabe resaltar que dichas proyecciones también han sido presentadas para un período posterior al año 2070. Sin embargo, dado que el ejercicio con las comunidades se realizó únicamente para los próximos veinte años, se consideró solo la proyección para el período 2041-2070.

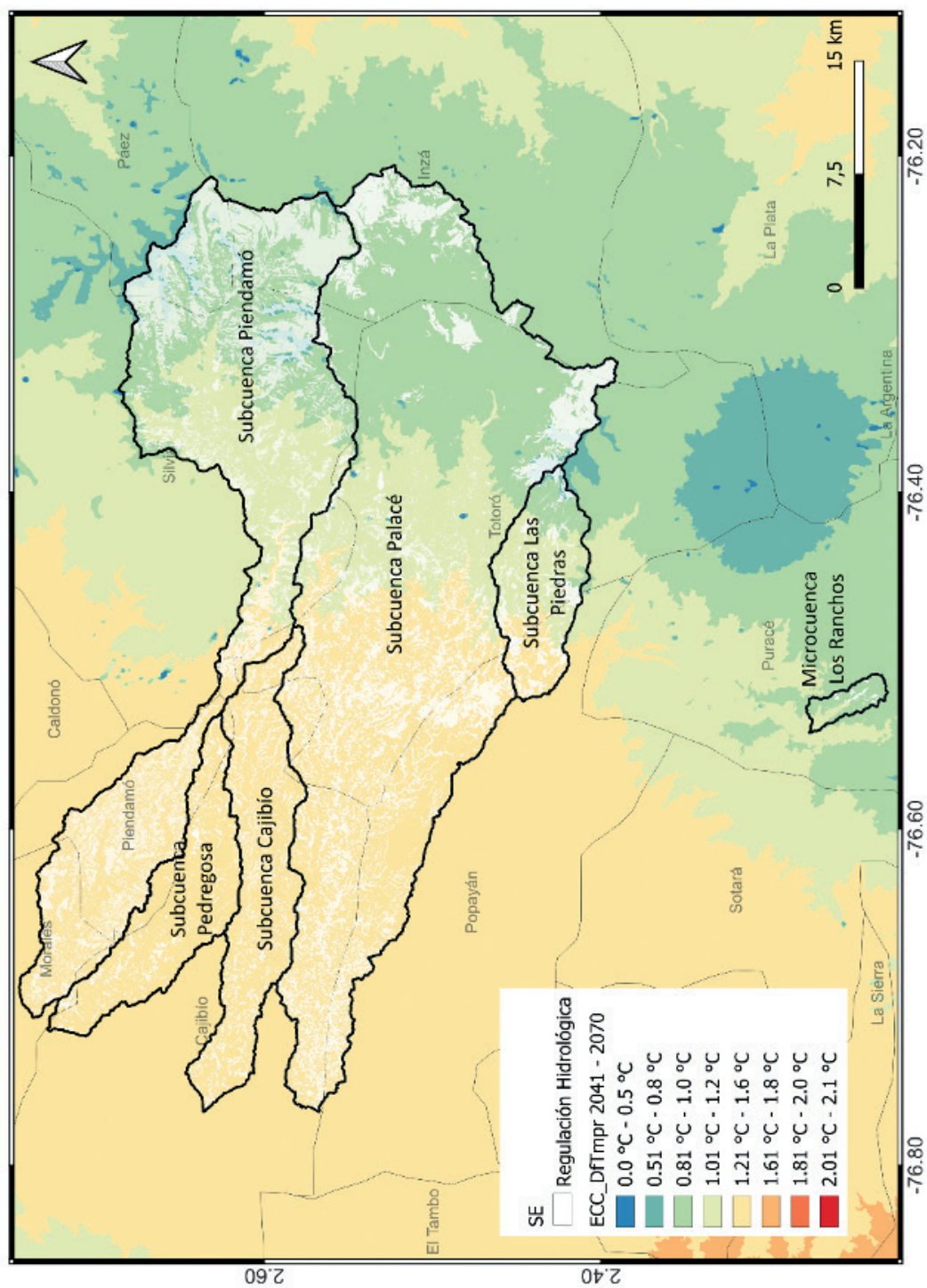
Por un lado, se proyectan incrementos de precipitación en zonas de montaña y Piedemonte, lo que podría mejorar la oferta de agua en determinados meses del año. No obstante, un aumento significativo de las lluvias también implica riesgos de inundaciones, erosión y deslizamientos en áreas con pendientes pronunciadas o con baja cobertura boscosa. Por otro lado, se prevé un aumento de la temperatura entre 1,0 °C y más de 2,0 °C en buena parte de la región, lo que incrementaría la evapotranspiración y reduciría la humedad disponible en el suelo, lo cual podría afectar la productividad agrícola y ganadera. Estas condiciones podrían agudizar los conflictos socioambientales identificados en los talleres VISEH, como la escasez de agua en épocas críticas, la baja fertilidad del suelo y la expansión de plagas y enfermedades.

En el análisis de oferta y demanda de SSE a veinte años, las comunidades resaltaron que, aunque en algunas subcuencas la disponibilidad hídrica actual aún es relativamente estable, la demanda tiende a incrementarse debido al crecimiento poblacional y al aumento de las actividades productivas. Las percepciones locales indican que la oferta de agua y suelo se verá reducida por factores como la contaminación, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, en concordancia con lo señalado en la *Tercera y Cuarta Comunicación del Cambio Climático* (IDEAM 2015, 2024). Estos documentos, basados en modelaciones y escenarios de emisiones, advierten sobre la vulnerabilidad de las regiones andinas y de Piedemonte frente a la variabilidad climática y el incremento de la temperatura. Así, la disminución de la disponibilidad de agua en las temporadas secas, combinada con picos de precipitación más intensos, puede alterar los ciclos productivos, intensificar los procesos erosivos y aumentar la probabilidad de eventos extremos.

El hecho de que la percepción comunitaria y los estudios técnicos de alcance nacional coincidan en la identificación de amenazas –cambios en la temperatura, alteraciones en los patrones de lluvia y degradación del suelo– refuerza la relevancia de los modelos prospectivos que integran el conocimiento local con la información científica. La participación de las comunidades en la corrección de mapas de coberturas del suelo y la adopción de enfoques como el taller VISEH permiten anticipar de manera más precisa los escenarios futuros y diseñar estrategias de adaptación ajustadas a cada contexto. Entre estas estrategias se destacan la protección de zonas hídricas, la reforestación, la recuperación de semillas nativas, la implementación de prácticas productivas sostenibles y el fortalecimiento organizacional. Todas estas, acciones esenciales para garantizar la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades frente al cambio climático.



Mapa 7. Escenario cambio de precipitación 2041-2070  
Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2015).



Mapa 8. Escenario cambio de temperatura 2041-2070  
Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2015).

## Conclusiones

En síntesis, la evidencia cartográfica y la proyección climática oficial (IDEAM 2015) respaldan la preocupación expresada por las comunidades respecto a la oferta y la demanda de SSE en un horizonte de dos décadas. Esta coincidencia entre la percepción local y las estimaciones nacionales valida la necesidad de una planificación territorial inclusiva, capaz de responder a la variabilidad y al cambio climático mediante la articulación interinstitucional, la educación ambiental y la gobernanza participativa. Solo de esta manera será posible mitigar los impactos negativos y, al mismo tiempo, aprovechar las oportunidades que surjan en el nuevo escenario climático, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los SEH y el bienestar de las generaciones futuras.

La aplicación de modelos prospectivos en la gestión de los SEH no solo contribuye a la conservación de los ecosistemas y a la seguridad hídrica, sino que también fortalece la gobernanza ambiental a través de la participación comunitaria. La combinación de información técnica y conocimiento local proporciona una base sólida para la toma de decisiones, lo cual asegura una planificación territorial inclusiva y adaptativa frente a los desafíos del cambio climático y la degradación ambiental.

## Referencias

- Haines-Young, Roy y Marion Potschin  
 2012 *Common international classification of ecosystem services*. Nottingham: Centre for Environmental Management, University of Nottingham.
- IDEAM –Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia–  
 2015 Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático: Resultados. Disponible en [www.cambioclimatico.gov.co/resultados](http://www.cambioclimatico.gov.co/resultados) (Acceso: 21/01/2025).
- 2024 Escenarios de cambio climático de la cuarta comunicación nacional de Colombia. Disponible en: [www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/el-ideam-presenta-nuevas-proyecciones-climaticas-para-colombia-escenarios-de-cambio-climatico-al](http://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/el-ideam-presenta-nuevas-proyecciones-climaticas-para-colombia-escenarios-de-cambio-climatico-al) (Acceso: 21/01/2025).



# Análisis de estrategias para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y la bioeconomía

MARGARITA TRIVIÑO, ALEJANDRO FIGUEROA,  
VIVIANA TRIVIÑO Y APOLINAR FIGUEROA CASAS

## Introducción

La gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el fortalecimiento de la bioeconomía se presentan como estrategias clave para garantizar el equilibrio entre la conservación ambiental y el desarrollo socioeconómico de los territorios. Este apartado analiza las principales políticas, planes, programas y proyectos relacionados con estas temáticas y destaca cómo pueden articularse en la construcción de una gobernanza ambiental. A través de un enfoque participativo y comunitario, se busca que las comunidades reconozcan la relevancia de estas estrategias no solo como marcos legales, sino también como oportunidades para el fortalecimiento de la bioeconomía local y regional. Más allá de la simple enumeración de instrumentos políticos, este capítulo enfatiza en el análisis de sus impactos, beneficios y desafíos. Gracias a ello, se promueve la cocreación de soluciones adaptadas a la realidad de los territorios.

La gestión sostenible de los SEH requiere un enfoque integral que considere las dinámicas territoriales, culturales y socioeconómicas. La gobernanza del agua, entendida como el conjunto de procesos de decisión y acción en torno al manejo del recurso hídrico, debe ser flexible y adaptativa para responder a los retos contemporáneos (Pahl-Wostl 2009). En este sentido, la integración de políticas públicas que impulsen la bioeconomía permite vincular la conservación ambiental con el desarrollo económico sostenible, lo cual favorece la resiliencia territorial (D'Amico *et al.* 2022). Asimismo, las redes de actores sociales –que incluyen comunidades, instituciones y sector privado– resultan determinantes para implementar estrategias efectivas (López y Schanz 2019). Finalmente, el fortalecimiento de capacidades locales y los procesos participativos en múltiples escalas se consolidan como condiciones esenciales para garantizar la legitimidad y sostenibilidad de las decisiones (Cuthill y Fien 2005).

## Metodología

El análisis se desarrolló mediante una metodología mixta que combinó herramientas cualitativas y cuantitativas. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a actores clave –entre ellos, comunidades locales, instituciones gubernamentales, ONG y representantes del sector privado–, con el fin de comprender sus percepciones sobre las políticas y estrategias relacionadas con los SEH y la bioeconomía. Asimismo, se llevaron a cabo talleres participativos en los municipios de Cajibío, Silvia, Popayán y Puracé, donde se recogieron insumos acerca de las necesidades y prioridades locales.

La información cuantitativa se obtuvo a partir de la revisión de bases de datos oficiales y estudios de caso. Tanto la información primaria como la secundaria fueron analizadas mediante herramientas como Atlas.ti y Gephi. Este enfoque permitió identificar brechas y oportunidades en la implementación de estrategias, al tiempo que promovió la integración de perspectivas diversas y la adopción de enfoques adaptativos.

## Resultados y discusión

### *Agua y sostenibilidad hídrica*

El agua, como eje fundamental para la vida y el desarrollo, enfrenta desafíos cada vez más complejos en los municipios estudiados debido a la degradación de los ecosistemas estratégicos, el aumento de la demanda hídrica y los efectos del cambio climático. La sostenibilidad hídrica, entendida como la capacidad de los ecosistemas y de las comunidades para garantizar la disponibilidad y calidad del recurso en el tiempo, depende de una gestión integral que equilibre las necesidades humanas, económicas y ambientales (UN Water 2020). Este enfoque resulta especialmente relevante en territorios como Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán, donde las fuentes hídricas no solo sustentan actividades productivas, sino que también son pilares de la biodiversidad y de las prácticas culturales de las comunidades locales.

La gestión integrada de los recursos hídricos –GIRH– constituye un marco ampliamente reconocido para abordar la sostenibilidad del agua. Este enfoque, promovido desde la *Conferencia de Dublín* (Gorre-Dale 1992), subraya la necesidad de considerar los aspectos sociales, económicos y ambientales en la planificación hídrica, asegurando, al mismo tiempo, la participación activa de las comunidades en la toma de decisiones (GWP 2000). En los municipios analizados, la GIRH enfrenta desafíos significativos, como la deforestación de las áreas de recarga hídrica, el uso intensivo de agroquímicos y la contaminación de las fuentes de agua. Estos problemas, agravados por la variabilidad climática, exigen intervenciones que integren restauración ecológica, educación ambiental y prácticas productivas sostenibles.

Un componente esencial de la sostenibilidad hídrica es la conservación de los ecosistemas estratégicos –páramos, humedales y bosques riparios–, los cuales cumplen un papel clave en la regulación del ciclo hidrológico, al actuar tanto como fuentes de agua como sistemas naturales de purificación. De acuerdo con De Groot *et al.* (2010), la pérdida de estos ecosistemas compromete no solo la disponibilidad del recurso, sino también su calidad, lo que aumenta la vulnerabilidad de las comunidades frente al cambio climático. En este sentido, iniciativas como los planes de manejo integral de cuencas hídricas –PMICH– y los programas de restauración ecológica resultan fundamentales para mitigar los impactos negativos y fortalecer la resiliencia territorial.

La participación comunitaria también desempeña un rol central en la gestión sostenible del agua. Según Ostrom (2015), la administración exitosa de los bienes comunes, como el agua, requiere de la involucración activa de las comunidades locales, portadoras de un conocimiento profundo sobre las dinámicas territoriales y las estrategias de manejo. En los municipios estudiados, las juntas administradoras de acueductos veredales y las comunidades indígenas han demostrado su capacidad para liderar procesos de conservación, desde la protección de nacimientos hasta la implementación de sistemas de monitoreo participativo (Colding *et al.* 2000). No obstante, estas iniciativas suelen carecer del respaldo técnico y financiero necesario, lo que limita su alcance e impacto.

La sostenibilidad hídrica implica, además, la adopción de modelos económicos que integren la bioeconomía como eje transversal. De acuerdo con la FAO y otros autores (Phelan *et al.* 2020; Sereke *et al.* 2015), un enfoque bioeconómico vinculado al agua puede impulsar actividades productivas sostenibles, tales como el ecoturismo, la agroforestería o la producción de bienes derivados de los ecosistemas. Estas prácticas no solo generan ingresos, sino que también fomentan la restauración de áreas degradadas y refuerzan la conexión de las comunidades con su entorno natural.

En este orden de ideas, la sostenibilidad hídrica en los municipios del Cauca requiere un enfoque integral que articule la GIRH, la participación comunitaria, la restauración ecológica y la bioeconomía. Fortalecer las capacidades locales, coordinar a los actores y garantizar el acceso equitativo al agua son pasos indispensables para asegurar que este recurso vital continúe siendo motor de vida, biodiversidad y desarrollo en los territorios.

### ***Bioeconomía como motor de sostenibilidad***

La bioeconomía se erige como una oportunidad transformadora para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el desarrollo socioeconómico de los municipios del Cauca. Este enfoque se fundamenta en el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales para generar beneficios económicos

y sociales, que contribuyen a la conservación ambiental y al fortalecimiento de las economías locales (Wellmer y Becker-Platen 2002). En un territorio caracterizado por su riqueza cultural y biodiversidad, como lo son los municipios analizados, la bioeconomía ofrece un camino prometedor hacia la sostenibilidad y la equidad social.

Los documentos revisados destacan que actividades como la agroforestería, el ecoturismo y la producción de bienes derivados de los ecosistemas estratégicos –por ejemplo, aceites esenciales o productos del bambú– representan prácticas clave para integrar la conservación con la generación de ingresos (UNEP 2021). Estas iniciativas no solo promueven la restauración de ecosistemas degradados, como páramos y humedales, sino que también diversifican las economías locales y reducen la dependencia de actividades extractivas. No obstante, para maximizar su impacto es esencial garantizar el acceso a recursos financieros, técnicos y de mercado, especialmente para los pequeños productores, quienes enfrentan barreras estructurales significativas (Leonidou *et al.* 2017).

Un pilar fundamental en la implementación de la bioeconomía es el fortalecimiento de capacidades locales y la integración de conocimientos ancestrales. Las comunidades indígenas y campesinas, gracias a su relación directa con los ecosistemas, poseen saberes tradicionales que pueden complementar los avances científicos y promover prácticas sostenibles de manejo del agua y del suelo (Colding *et al.* 2000). Según De Groot *et al.* (2010), el diálogo intercultural entre conocimientos ancestrales y enfoques técnico-científicos puede enriquecer las estrategias de conservación y sostenibilidad para lograr soluciones más inclusivas y adaptadas a las realidades locales.

En el plano político, la integración de la bioeconomía en los planes de desarrollo municipal y regional resulta esencial para consolidarla como un eje estratégico. La OCDE (2011) señala que los incentivos económicos –como créditos verdes y subsidios para prácticas sostenibles– son herramientas efectivas para fomentar la adopción de la bioeconomía en territorios rurales. Asimismo, la articulación entre instituciones públicas, comunidades, sector privado y academia resulta fundamental para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de las iniciativas. Este tipo de colaboración no solo amplía la escala e impacto de las acciones, sino que también fomenta la equidad en la distribución de los beneficios generados (ECA *et al.* 2020).

Pese a su potencial, la implementación de la bioeconomía enfrenta varios desafíos en el Cauca. Entre ellos, destacan la limitada infraestructura rural y la falta de conectividad, que dificultan el acceso a mercados para los productos derivados de los ecosistemas y constituyen una barrera recurrente para pequeños y medianos productores (Stromquist 2019). A ello se suma la falta de sensibilización y educación sobre los principios de la bioeconomía, lo que limita su adopción y apropiación en las comunidades. Esta situación se ve agravada por la fragmentación entre actores clave, lo cual reduce las posibilidades de cooperación para desarrollar proyectos integrales (Diversity 2016; Sanz-Hernández *et al.* 2019; UNEP 2016).

Superar estas barreras exige un enfoque integral y colaborativo. Sereke *et al.* (2015) sugieren que la promoción de redes de cooperación y la creación de espacios de concertación entre actores locales pueden facilitar el desarrollo de estrategias conjuntas, adaptadas a las necesidades y particularidades de cada territorio. Asimismo, la implementación de programas de educación ambiental y sensibilización es crucial para garantizar que las comunidades comprendan el valor de la bioeconomía y su relación con la sostenibilidad de los SEH.

En definitiva, la bioeconomía no solo representa un camino hacia la sostenibilidad ambiental, sino que también promueve la resiliencia económica de las comunidades rurales en el Cauca. Para consolidarla como motor de desarrollo sostenible, es necesario fortalecer las capacidades locales, fomentar la colaboración entre actores y garantizar que los beneficios derivados de estas prácticas se distribuyan de manera equitativa. Este enfoque permitirá avanzar hacia una gestión más integrada y sostenible de los recursos hídricos, alineada con los principios de equidad, justicia social y conservación ambiental.

### *Participación comunitaria como pilar para la gestión sostenible*

La participación comunitaria emerge como un elemento central para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el fortalecimiento de la bioeconomía en los municipios estudiados. Este enfoque reconoce que las comunidades locales no son únicamente beneficiarias de las políticas y proyectos ambientales, sino también actores clave con conocimiento, experiencia y capacidad para liderar procesos transformadores en sus territorios. Según Kiss *et al.* (2022), la participación genuina empodera a las comunidades y fomenta la corresponsabilidad, elementos indispensables para enfrentar los desafíos ambientales y sociales.

En los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán, las juntas de acción comunal y las juntas administradoras de acueductos veredales han demostrado ser pilares en la implementación de estrategias de conservación hídrica. Estas organizaciones locales lideran iniciativas como la protección de fuentes de agua, la reforestación y la educación ambiental, a menudo enfrentando barreras significativas relacionadas con la falta de recursos financieros, técnicos y de articulación institucional. Según Ostrom (2015), el éxito en la gestión de los bienes comunes, como el agua, depende de la capacidad de las comunidades para organizarse, establecer normas claras y garantizar su cumplimiento, lo que las JAC han logrado parcialmente pese a las dificultades.

El papel de las comunidades indígenas en municipios como Silvia y Puracé es particularmente relevante. A través de sus cabildos, integran saberes ancestrales en la gestión del agua y los ecosistemas y adoptan una visión holística que considera el agua como un elemento sagrado y esencial para la vida. Según Berkes *et al.* (2000), los conocimientos tradicionales aportan enfoques únicos que complementan las estrategias modernas de conservación y fortalecen la resiliencia

de los territorios frente a los retos del cambio climático. No obstante, su capacidad de incidencia en la toma de decisiones depende en gran medida de su inclusión en las redes de gobernanza locales y regionales, lo cual sigue siendo un desafío.

Un aspecto clave de la participación comunitaria es la educación ambiental, que no solo sensibiliza a la población sobre la importancia de los SEH, sino que también fomenta prácticas sostenibles a largo plazo. En este sentido, talleres, campañas y programas educativos dirigidos a agricultores, líderes comunitarios y estudiantes constituyen herramientas esenciales para construir una ciudadanía activa y comprometida con la sostenibilidad. Según UN-Water (2020), la educación ambiental es un catalizador de la acción colectiva, ya que promueve cambios de actitud y de comportamiento hacia un manejo más responsable de los recursos.

Otro componente crítico es la integración de las comunidades en la planificación y ejecución de proyectos de bioeconomía, como el ecoturismo, la agroforestería o la producción sostenible de bienes derivados de los ecosistemas. Estas actividades no solo generan beneficios económicos directos, sino que también fortalecen el tejido social y promueven la conservación de los recursos naturales. La participación activa de las comunidades en la bioeconomía es clave para garantizar que los beneficios se distribuyan de manera equitativa y que las estrategias implementadas resulten culturalmente apropiadas y sostenibles. Sin embargo, la participación comunitaria enfrenta retos importantes, como la fragmentación social, los conflictos de intereses entre actores y la desconfianza hacia las instituciones públicas. Superar estas barreras requiere la creación de espacios de diálogo inclusivos, en los que se valoren y respeten las diferentes perspectivas y conocimientos. Según Pahl-Wostl (2009), la gobernanza adaptativa, que promueve la flexibilidad y el aprendizaje colectivo, resulta fundamental para gestionar estos desafíos y construir soluciones integrales.

En suma, la participación comunitaria no solo constituye un medio para implementar estrategias ambientales, sino también un fin en sí mismo orientado a consolidar la gobernanza territorial y la sostenibilidad. Fortalecer las capacidades locales, integrar los saberes ancestrales con los conocimientos técnicos y promover la corresponsabilidad son pasos esenciales para garantizar la conservación de los SEH y el desarrollo de una bioeconomía resiliente.

### *Retos en la gestión del agua y la bioeconomía*

La investigación realizada sobre la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y la implementación de estrategias de bioeconomía en los municipios analizados evidenció diversas dificultades y retos que limitan la efectividad de las iniciativas propuestas. Estas dificultades no solo se relacionan con aspectos técnicos o institucionales, sino que también reflejan las complejidades sociales, culturales y económicas de los territorios, lo que subraya la necesidad de un enfoque integral y adaptativo.

Uno de los retos más evidentes es la fragmentación institucional. La falta de coordinación entre las entidades públicas, las comunidades locales y los actores privados dificulta la planificación conjunta y la implementación efectiva de políticas y proyectos. Según Pahl-Wostl *et al.* (2013), la gobernanza fragmentada en la gestión hídrica reduce la capacidad de respuesta ante problemas complejos y limita la integración de soluciones sostenibles. En los municipios estudiados se observó que la duplicidad de funciones y la ausencia de mecanismos claros de articulación generan conflictos de competencias y retrasos en la ejecución de estrategias.

Otra dificultad importante es la insuficiente participación comunitaria en los procesos de toma de decisiones. Aunque las comunidades indígenas y campesinas poseen un profundo conocimiento de los ecosistemas y una conexión cultural con los recursos hídricos, sus voces a menudo son subestimadas o excluidas de los espacios de gobernanza. Esto no solo socava la legitimidad de las políticas públicas, sino que también reduce su efectividad y sostenibilidad. De acuerdo con Berkes (2007), la inclusión de los saberes ancestrales y la participación activa de las comunidades son fundamentales para diseñar estrategias adaptadas a las realidades locales.

En el ámbito económico, la implementación de la bioeconomía enfrenta barreras significativas, como la falta de recursos financieros y técnicos para desarrollar iniciativas sostenibles. Las comunidades rurales, en particular, carecen de acceso a tecnologías limpias, capacitación técnica y mercados para comercializar productos derivados de prácticas bioeconómicas. Además, la dependencia de actividades extractivas y de monocultivos intensivos, que generan altos impactos ambientales, dificulta la transición hacia modelos productivos más sostenibles. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos –OECD– (2011), la bioeconomía requiere no solo inversión, sino también políticas públicas que promuevan la innovación, la formación y el acceso al financiamiento.

El cambio climático representa otro reto transversal que exacerba las dificultades existentes. Los municipios estudiados enfrentan impactos directos, como la variabilidad en las precipitaciones, la pérdida de biodiversidad y el aumento de fenómenos extremos como sequías e inundaciones. Estos efectos no solo afectan la disponibilidad y la calidad del agua, sino que también agravan las tensiones entre los actores debido a la competencia por recursos limitados. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático –IPCC, por sus siglas en inglés– (2014), la adaptación al cambio climático requiere fortalecer las capacidades locales y regionales mediante enfoques integrados y colaborativos.

En términos de gobernanza, la falta de herramientas efectivas para el monitoreo y la evaluación de las acciones implementadas es un desafío recurrente. Sin indicadores claros y sistemas de seguimiento participativos, resulta difícil medir el impacto de las estrategias y realizar ajustes oportunos. La UNESCO (UN Water 2020) enfatiza que los sistemas de monitoreo basados en la colaboración entre actores locales e instituciones son esenciales para garantizar la transparencia y la eficacia de las políticas ambientales.

Asimismo, las desigualdades sociales y económicas presentes en los territorios analizados agravan las dificultades para implementar estrategias de conservación y bioeconomía. Las comunidades más vulnerables, que suelen habitar áreas estratégicas de recarga hídrica, enfrentan limitaciones para acceder a servicios básicos, educación y oportunidades económicas. Estas desigualdades no solo dificultan su participación en los procesos de gobernanza, sino que también aumentan su dependencia de prácticas insostenibles. Los conflictos de intereses entre los diferentes actores representan un reto crítico. Mientras que algunos sectores priorizan la conservación ambiental, otros están más enfocados en la maximización de beneficios económicos a corto plazo, lo que genera tensiones y desacuerdos. Por ejemplo, los intereses del sector agroindustrial a menudo chocan con las necesidades de conservación de las comunidades indígenas y campesinas. Como señalan Agrawal y Gibson (1999), la construcción de consensos en contextos de alta diversidad requiere espacios de diálogo que reconozcan y valoren las distintas perspectivas.

Superar estos retos implica avanzar hacia modelos de gobernanza más inclusivos que promuevan la colaboración entre actores y la integración de soluciones innovadoras. La construcción de capacidades locales, la generación de confianza y la creación de políticas adaptativas son pasos esenciales para garantizar la sostenibilidad de los SEH y el desarrollo de una bioeconomía que beneficie a las comunidades y conserve los recursos naturales. Aprovechar estas oportunidades será clave para transformar las dificultades actuales en motores de cambio hacia un futuro más equitativo y sostenible.

### *Posibilidades y perspectivas para la sostenibilidad*

El análisis realizado revela un panorama alentador en términos de posibilidades y potencialidades para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el fortalecimiento de la bioeconomía en los municipios estudiados. A pesar de los retos, se han identificado dinámicas positivas y oportunidades que podrían transformar los territorios no solo en espacios resilientes frente al cambio climático, sino también en referentes de gobernanza ambiental colaborativa.

Uno de los hallazgos más esperanzadores es la riqueza cultural y ambiental que caracteriza a las comunidades locales. Las prácticas ancestrales de conservación, particularmente entre comunidades indígenas y campesinas, ofrecen modelos valiosos para la protección de los ecosistemas hídricos. Estas prácticas –como la reforestación con especies nativas y el manejo comunitario del agua– no solo tienen un impacto directo en la preservación de los SEH, sino que también refuerzan los vínculos culturales y sociales que sostienen la cohesión comunitaria (Berkes *et al.* 2003). Este enfoque comunitario puede complementarse con herramientas tecnológicas, como sistemas de monitoreo hídrico y bases de datos geoespaciales, para generar soluciones innovadoras y adaptadas a las realidades locales (UN Water 2020).

Asimismo, la bioeconomía emerge como una herramienta transformadora que integra la sostenibilidad ambiental con el desarrollo económico. Las iniciativas productivas sostenibles, como el ecoturismo, la agroforestería y el manejo de páramos, muestran un potencial significativo para diversificar las economías locales, generar empleos y, al mismo tiempo, reducir la presión sobre los ecosistemas estratégicos (Phelan *et al.* 2020). Estas actividades no solo promueven la conservación, sino que también posicionan a las comunidades como actores clave en la transición hacia modelos de desarrollo resilientes y sostenibles.

En el ámbito institucional, se destaca el compromiso de diversas organizaciones públicas, privadas y no gubernamentales por trabajar hacia objetivos comunes. Aunque las redes de actores aún presentan desafíos en términos de fragmentación, su existencia representa una base sólida para construir plataformas de gobernanza más robustas y colaborativas. La creación de espacios de articulación –como mesas de diálogo, consejos comunitarios y programas de formación conjunta– facilita la planificación integral y la toma de decisiones informadas (Pahl-Wostl 2009). Además, la participación activa de la academia y los centros de investigación ha sido crucial para la generación de conocimiento y la transferencia de tecnologías hacia los territorios, lo que fortalece las capacidades locales y mejora las estrategias de gestión.

Otro aspecto prometedor es la creciente disposición de las comunidades y los sectores productivos para colaborar en la construcción de estrategias compartidas. El interés por adoptar prácticas sostenibles y la apertura hacia el diálogo intercultural entre saberes técnicos y ancestrales reflejan un cambio positivo en las dinámicas sociales y económicas de los municipios (Agrawal y Gibson 1999). Este interés, sumado a la presión global por adoptar modelos de desarrollo sostenible, coloca a estos territorios en una posición estratégica para liderar iniciativas innovadoras y replicables en otros contextos.

Finalmente, las políticas públicas, aunque requieren ajustes, ofrecen un marco normativo que puede ser adaptado para fortalecer la gestión territorial. Normas como la Ley 99 de 1993 en Colombia y los objetivos de desarrollo sostenible – ODS– de las Naciones Unidas establecen bases sólidas para promover la equidad en el acceso al agua, la conservación de los ecosistemas y el desarrollo económico inclusivo. Estas directrices, junto con los acuerdos locales, brindan un camino claro para alinear los esfuerzos comunitarios, institucionales y privados hacia una gobernanza hídrica más eficiente y sostenible.

En síntesis, las posibilidades identificadas en este análisis subrayan que, aunque los retos persisten, los territorios cuentan con recursos humanos, naturales y culturales invaluable para avanzar hacia la sostenibilidad. El fortalecimiento de las redes de actores, la integración de la bioeconomía y la creación de políticas inclusivas y adaptativas son elementos clave para construir territorios resilientes y prósperos. La colaboración efectiva y la voluntad de innovar serán determinantes para enfrentar los desafíos y convertirlos en oportunidades de transformación y bienestar colectivo.

## Conclusiones

La presente investigación destaca la importancia de integrar enfoques interdisciplinarios y colaborativos para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el fortalecimiento de la bioeconomía en territorios ricos en diversidad cultural y ambiental. Los hallazgos evidencian que, a pesar de los desafíos derivados de la gobernanza fragmentada, las comunidades locales, las instituciones y los sectores productivos poseen un enorme potencial para transformar las dinámicas territoriales hacia modelos más sostenibles y resilientes. La articulación de saberes ancestrales con herramientas técnico-científicas, el fortalecimiento de redes de actores y la implementación de estrategias de bioeconomía constituyen soluciones integrales adaptadas a las realidades locales. En este sentido, la investigación subraya la necesidad de construir una gobernanza colaborativa que no solo garantice la conservación de los recursos hídricos y la biodiversidad, sino que también promueva el bienestar social y económico de las comunidades, lo que permite consolidar territorios resilientes frente a los retos del cambio climático.

## Referencias

- Agrawal, Arun y Clarke Gibson  
1999 Enchantment and disenchantment: The role of community in natural resource conservation. *World Development*. 27 (4): 629-649. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00161-2) (Acceso: 11/02/2025).
- Berkes, Fikret  
2007 Community-based conservation in a globalized world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104 (39): 15188-15193. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0702098104> (Acceso: 21/01/2025).
- Berkes, Fikret y Carl Folke  
1994 *Linking social and ecological systems for resilience and sustainability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berkes, Fikret; Johan Colding y Carl Folke  
2000 Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*. 10 (5): 1251-1262. doi: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2) (Acceso: 11/02/2025).
- 2003 *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cuthill, Michael y John Fien  
2005 Capacity building: Facilitating citizen participation in local governance. *Australian Journal of Public Administration*. 64 (4): 63-80. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8500.2005.00465a.x> (Acceso: 11/02/2025).

- D'Amico, Gaspare *et al.*  
 2022 Smart and sustainable bioeconomy platform: A new approach towards sustainability. *Sustainability*. 14 (1): 466. doi: <https://doi.org/10.3390/su14010466> (Acceso: 21/01/2025).
- De Groot, Rudolf *et al.*  
 2010 “Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation”. En: Pushpam Kumar (ed.), *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*, pp. 9-40. Londres: Routledge.
- ECA *et al.*  
 2020 Water and climate change. Disponible en: <https://repository.unescap.org/items/bdfe2f5b-5432-4b6f-b27c-3a1fb82b2df9> (Acceso: 21/01/2025).
- Gorre-Dale, Eirah  
 1992 The Dublin statement on water and sustainable development. *Environmental Conservation*. 19 (2): 181-181. doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892900030733> (Acceso: 11/02/2025).
- GWP –Global Warming Potential–  
 2000 Water security for development: Insights from African partnerships in action. Disponible en: [www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/water-security-for-development.-insights-from-african-partnerships-in-action-gwp-2010.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/water-security-for-development.-insights-from-african-partnerships-in-action-gwp-2010.pdf) (Acceso: 11/02/2025).
- IPCC –Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático–  
 2014 Climate change 2014 impacts, adaptation, and vulnerability. Disponible en: [www.sei.org/mediamanager/documents/Presentations/SEI-Klein-IPCC-AR5-WG2-](http://www.sei.org/mediamanager/documents/Presentations/SEI-Klein-IPCC-AR5-WG2-) (Acceso: 11/02/2025).
- Kiss, Bernadett *et al.*  
 2022 Citizen participation in the governance of naturebased solutions. *Environmental Policy and Governance*. 32 (3): 247-272. doi: <https://doi.org/10.1002/eet.1987> (Acceso: 11/02/2025).
- Leonidou, Leonidas *et al.*  
 2017 Internal drivers and performance consequences of small firm green business strategy: The moderating role of external forces. *Journal of Business Ethics*. 140 (3): 585-606. doi: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2670-9> (Acceso: 21/01/2025).
- López, Viviana y Heiner Schanz  
 2019 Agency in actor networks: Who is governing transitions towards a bioeconomy? The case of Colombia. *Journal of Cleaner Production*. 225: 728-742. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.306> (Acceso: 11/02/2025).
- OECD –Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos–  
 2011 Principles on water governance. Disponible en: [www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original./oecd-principles-on-water-governance-en.pdf](http://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf/_jcr_content/renditions/original./oecd-principles-on-water-governance-en.pdf) (Acceso: 11/02/2025).

Ostrom, Elinor

2015 *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press.

Pahl-Wostl, Claudia

2009 A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 19 (3): 354-365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001> (Acceso: 11/02/2025).

Pahl-Wostl, Claudia *et al.*

2013 Environmental flows and water governance: Managing sustainable water uses. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 5 (3-4): 341-351. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.06.009> (Acceso: 11/02/2025).

Phelan, Ann; Lisa Ruhanen y Judith Mair

2020 Ecosystem services approach for community-based ecotourism: Towards an equitable and sustainable blue economy. *Journal of Sustainable Tourism*. 28 (10): 1665-1685. doi: <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1747475> (Acceso: 11/02/2025).

Sanz-Hernández, Alexia; Encarna Esteban y Piedad Garrido

2019 Transition to a bioeconomy: Perspectives from social sciences. *Journal of Cleaner Production*. 224: 107-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.168> (Acceso: 11/02/2025).

Sereke, Firesenai *et al.*

2015 Innovative agroecosystem goods and services: Key profitability drivers in swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*. 35 (2): 759-770. doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2> (Acceso: 11/02/2025).

Stromquist, Nelly

2019 World Development Report 2019: The changing nature of work, by the World Bank. *International Review of Education*. 65 (2): 321-329. doi: <https://doi.org/10.1007/s11159-019-09762-9> (Acceso: 11/02/2025).

UNEP –United Nations Environment Programme–

2016 A snapshot of the world's water quality: Towards a global assessment. doi: <https://doi.org/978-92-807-3555-0> 9 (Acceso: 11/02/2025).

United Nations Environment Programme.

2021 *Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. Nueva York: United Nations.

Wellmer Franz y Jürgen Becker-Platen

2002 Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: A review. *International Journal of Earth Sciences*. 91 (5): 723-745. doi: <https://doi.org/10.1007/s00531-002-0267-x> 9 (Acceso: 11/02/2025).

# Hacia una gobernanza sostenible: Estrategias de conservación de los SEH y el fortalecimiento bioeconómico

MARGARITA TRIVIÑO, ALEJANDRO FIGUEROA,  
VIVIANA TRIVIÑO Y APOLINAR FIGUEROA CASAS

## Introducción

La investigación de estas temáticas se consolida en el presente capítulo como un espacio de análisis avanzado y de propuestas estratégicas para la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el desarrollo bioeconómico local y regional. Con base en los resultados obtenidos en los municipios de Cajibío, Popayán, Puracé y Silvia, este apartado presenta estrategias concretas y propuestas de políticas públicas orientadas a superar las debilidades encontradas y potenciar las fortalezas identificadas. En un contexto de cambio climático y presiones socioeconómicas, estas iniciativas buscan fortalecer la gobernanza hídrica, fomentar la participación comunitaria y consolidar modelos de desarrollo adaptados a las realidades territoriales. El énfasis está en articular a los diversos actores involucrados, aprovechando su diversidad cultural, ambiental y socioeconómica como una ventaja competitiva para diseñar soluciones sostenibles. Asimismo, se destacan herramientas innovadoras e inclusivas que integran conocimientos ancestrales y técnico-científicos para garantizar la resiliencia de los territorios frente a los retos actuales y futuros.

El marco teórico de este capítulo se centra en el diseño de políticas públicas como instrumentos transformadores en la gestión de los SEH y en la promoción de la bioeconomía. Según Sabatier y Mazmanian (1980), las políticas públicas deben adaptarse a las dinámicas sociales y ambientales del territorio para ser efectivas. En este sentido, los instrumentos de gobernanza hídrica, como los esquemas de pagos por servicios ambientales –PSA– y los planes de manejo de cuencas, resultan fundamentales para asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales (Makarigakis y Jimenez 2019). Asimismo, la integración de la bioeconomía permite vincular la conservación ambiental con el desarrollo económico, lo cual genera oportunidades inclusivas y sostenibles (FAO 2019). La cocreación de estrategias que articulen saberes ancestrales con enfoques técnico-científicos fortalece la resiliencia territorial (Colding *et al.* 2000). Este marco subraya la necesidad de sistemas adaptativos y colaborativos para enfrentar los retos del cambio climático y las desigualdades territoriales.

## Metodología

El enfoque metodológico de este apartado integra un análisis cualitativo y estratégico que combina datos obtenidos mediante talleres participativos, entrevistas semiestructuradas y revisión documental de normativas, planes, programas y estrategias vigentes en los municipios de Cajibío, Popayán, Puracé y Silvia. La metodología busca identificar brechas, fortalezas y oportunidades en la gestión de los SEH y en la implementación de iniciativas de bioeconomía, con énfasis en la articulación entre actores institucionales, comunitarios y privados. Este análisis se complementó con técnicas de mapeo de actores y gobernanza, que permitieron identificar dinámicas de interacción, desconexiones y posibles sinergias entre los involucrados. Asimismo, se realizaron diagnósticos participativos para evaluar las condiciones socioeconómicas, culturales y ambientales de los territorios, lo que facilitó el diseño de propuestas adaptadas a las necesidades locales. Este enfoque participativo asegura que las estrategias propuestas reflejen las realidades territoriales y promuevan una gestión sostenible.

## Resultados y discusión

### *Brechas en la gestión de los SEH y la bioeconomía*

La gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el fortalecimiento de la bioeconomía en los municipios estudiados representan avances importantes, aunque persisten barreras significativas que limitan su desarrollo pleno. Entre estas, se destacan la desconexión entre actores clave, la fragmentación institucional y la ausencia de mecanismos eficaces de implementación. Dichas limitaciones, sumadas a la insuficiencia de recursos técnicos y financieros, dificultan tanto la sostenibilidad ambiental como el desarrollo económico local. En este contexto, la bioeconomía se proyecta como un modelo transformador que vincula sostenibilidad ambiental y progreso económico, siempre que se implementen estrategias colaborativas y robustas capaces de superar los desafíos existentes.

Una de las principales dificultades radica en la limitada capacidad institucional para ejecutar acciones efectivas en los territorios. Aunque existen marcos normativos y políticas sectoriales, la implementación de iniciativas carece de seguimiento adecuado y, en muchos casos, desconoce las dinámicas comunitarias. Esto ha provocado que diversos proyectos de conservación de cuencas hídricas no alcancen resultados sostenibles, debido a la débil articulación entre instituciones y comunidades. Este vacío institucional genera además desconfianza, lo que debilita la posibilidad de consolidar procesos participativos sólidos.

Otro desafío crítico es la exclusión de los saberes ancestrales en la planificación y gestión de los SEH. Las comunidades indígenas y campesinas, poseedoras de un conocimiento profundo de los ecosistemas, suelen ser marginadas en los procesos de toma de decisiones. Incorporar sus perspectivas no solo enriquecería las estrategias de conservación, sino que también otorgaría mayor legitimidad social a las iniciativas y reforzaría su sostenibilidad a largo plazo.

Asimismo, aunque la bioeconomía ofrece un horizonte prometedor, aún no ha alcanzado su potencial debido a la falta de coordinación entre actores. Iniciativas como la agroforestería, el ecoturismo y la valorización de productos derivados de la biodiversidad han demostrado que es posible generar beneficios económicos y ambientales de manera simultánea. No obstante, muchas empresas privadas operan de forma aislada al priorizar objetivos económicos sobre metas ambientales y sociales. Esto reduce el impacto positivo de la bioeconomía y limita la consolidación de cadenas de valor inclusivas que beneficien directamente a las comunidades locales.

La fragmentación institucional profundiza la desconexión entre los actores involucrados. Las comunidades, ricas en conocimientos y prácticas tradicionales, suelen quedar relegadas en los procesos de gobernanza, mientras que las instituciones públicas carecen de mecanismos efectivos para integrar dichos saberes en sus políticas. A su vez, el sector privado, aunque fundamental para la consolidación de la bioeconomía, mantiene una articulación limitada con otros actores, lo cual restringe la generación de sinergias indispensables para una gestión sostenible.

De igual modo, las políticas públicas aún no logran consolidar un modelo de gobernanza que responda de manera efectiva a los desafíos del cambio climático y de la seguridad hídrica. En consecuencia, resulta necesario promover mecanismos participativos de monitoreo, adoptar tecnologías innovadoras y fortalecer las capacidades locales. Estas acciones podrían cerrar brechas existentes, fomentar la confianza entre los actores y garantizar un manejo más equitativo de los recursos hídricos. A pesar de estas dificultades, la investigación evidencia un potencial significativo para transformar las dinámicas actuales. Las comunidades locales han mostrado disposición para liderar procesos de conservación, mientras que algunas instituciones comienzan a reconocer la importancia de integrar la bioeconomía en sus estrategias. Este escenario abre una oportunidad única para articular esfuerzos de conservación con iniciativas de desarrollo económico sostenible.

En este sentido, el camino hacia una gestión exitosa de los SEH y el fortalecimiento de la bioeconomía exige el diseño de estrategias integrales que fomenten la articulación de actores, fortalezcan las capacidades locales e impulsen la innovación. La integración de saberes ancestrales con conocimientos técnicos, el desarrollo de redes de cooperación y la creación de incentivos para la participación del sector privado constituyen pilares fundamentales para superar las brechas existentes y construir un modelo de gobernanza inclusivo, resiliente y adaptado a las realidades de los territorios.

## *Oportunidades hacia una gobernanza colaborativa y sostenible*

Los hallazgos de la investigación revelan un escenario lleno de posibilidades para avanzar hacia una gobernanza colaborativa y sostenible en los municipios estudiados. La riqueza cultural y ambiental de estas regiones constituye un recurso invaluable para desarrollar modelos de gestión integrados, adaptativos e inclusivos. La fusión de saberes ancestrales –como las prácticas agroecológicas y la visión sagrada del agua de las comunidades indígenas– con herramientas técnico-científicas –como los sistemas de monitoreo hídrico y la modelación climática– tiene el potencial de generar estrategias altamente efectivas frente a desafíos globales como el cambio climático y la seguridad hídrica (Colding *et al.* 2000; Ostrom 2015). Este enfoque no solo fortalece la gestión de los recursos naturales, sino que también legitima las iniciativas al integrarse plenamente en las dinámicas locales.

La bioeconomía emerge como una de las oportunidades más prometedoras para estas regiones. Las prácticas productivas sostenibles –como el ecoturismo, la agroforestería y la producción de bienes derivados de los ecosistemas– no solo conservan los recursos naturales, sino que también generan ingresos y empleo para las comunidades locales. Este modelo económico, que combina sostenibilidad con valor agregado, constituye una herramienta clave para reducir la pobreza, diversificar las economías regionales y aumentar la resiliencia de las comunidades frente a los impactos del cambio climático (Bentsen *et al.* 2019; UNESCO 2020). Un ejemplo es el desarrollo de cadenas de valor sostenibles en torno a productos locales, capaces de dinamizar la economía mientras se protege la biodiversidad.

Para capitalizar estas oportunidades, resulta esencial avanzar hacia un modelo de gobernanza más inclusivo y articulado. Las redes de cooperación entre comunidades, instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales y sector privado deben fortalecerse mediante la creación de espacios de diálogo formales, como mesas técnicas y consejos locales, que faciliten la planificación conjunta y la implementación de estrategias integrales. Estas plataformas pueden actuar como catalizadores para integrar perspectivas diversas, diseñar políticas participativas y garantizar que las soluciones respondan a las necesidades locales. Además, la educación ambiental debe ocupar un lugar central al sensibilizar a las comunidades sobre la importancia de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y fomentar prácticas sostenibles que promuevan una relación más armónica con el entorno (IPCC 2014; Millennium Ecosystem Assessment 2005).

En el ámbito de las políticas públicas, se requiere un enfoque territorial que considere las particularidades de cada región y promueva la corresponsabilidad en la gestión de los recursos. El diseño de instrumentos flexibles –como los pagos por servicios ambientales y los incentivos para prácticas agroecológicas– puede catalizar la adopción de estrategias sostenibles. Asimismo, las inversiones en infraestructura verde y en proyectos de bioeconomía deben estar acompañadas de mecanismos de financiamiento

y apoyo técnico que permitan a las comunidades escalar sus iniciativas a nivel regional. Con ello garantizan su sostenibilidad a largo plazo (Baumann 2021; CRC 2022).

La articulación efectiva entre actores institucionales y comunitarios no solo representa una oportunidad para avanzar hacia la sostenibilidad, sino también una necesidad urgente frente a los retos actuales. Aprovechar las oportunidades identificadas permitirá construir territorios más resilientes, equitativos y preparados para enfrentar los desafíos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Este camino requiere voluntad política, innovación y, sobre todo, un compromiso genuino de todos los actores para trabajar de manera conjunta en la construcción de un futuro más justo y sostenible, donde la conservación de los SEH y el desarrollo bioeconómico constituyan pilares fundamentales del bienestar colectivo.

### *Estrategias para fortalecer la gobernanza ambiental y la bioeconomía local*

La investigación realizada en los municipios de Cajibío, Silvia, Puracé y Popayán permitió identificar estrategias clave para fortalecer la gobernanza ambiental y promover la bioeconomía local. Estas propuestas buscan superar las limitaciones estructurales y organizativas detectadas, a través del potencial de las comunidades y de los recursos naturales para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y el bienestar social y económico (Fotografía 1).



Fotografía 1. Estrategia de toma de decisiones asociadas al agua  
Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

Una de las estrategias centrales es la creación de comités locales de agua y biodiversidad –CLAB–, concebidos como plataformas participativas para la toma de decisiones inclusivas y la planificación conjunta. Estos comités permitirían la articulación efectiva entre comunidades locales, instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales –ONG– y el sector privado. Asimismo, garantizarían que todas las voces sean escuchadas y que las acciones respondan a las necesidades y prioridades del territorio. Según Ostrom (2015), los espacios de gobernanza colaborativa son esenciales para la gestión de bienes comunes, ya que fomentan la corresponsabilidad, fortalecen la confianza y promueven soluciones adaptativas.

Los CLAB tienen como propósito integrar las perspectivas comunitarias con enfoques técnicos y científicos, consolidando estrategias culturalmente pertinentes y técnicamente viables. Además, asumirían funciones clave como el monitoreo de los recursos hídricos, la identificación de áreas críticas para la conservación, la gestión de conflictos asociados al uso del agua y la coordinación de proyectos de desarrollo sostenible. Al promover la cooperación entre actores diversos, los CLAB pueden superar las barreras derivadas de la fragmentación institucional y la desconexión entre comunidades y gobiernos.

En paralelo, se propone fortalecer los planes de ordenamiento territorial –POT– con un enfoque hídrico y de bioeconomía. Esto implica priorizar la protección de ecosistemas estratégicos –como páramos, humedales y bosques riparios–, esenciales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. La incorporación de estos enfoques en los POT no solo garantiza la sostenibilidad ambiental, sino que también promueve un desarrollo territorial equilibrado y resiliente. La FAO (2019) señala que los enfoques territoriales integrados son fundamentales para lograr un balance entre el crecimiento económico y la conservación de los recursos naturales.

En el marco de la bioeconomía, se recomienda fomentar cadenas de valor sostenibles que impulsen el desarrollo económico sin comprometer los ecosistemas. Actividades como el ecoturismo, la agroforestería y la comercialización de productos derivados de la biodiversidad pueden diversificar las economías locales, reducir la presión sobre los recursos naturales y generar ingresos para las comunidades. No obstante, para que estas iniciativas sean efectivas, resulta indispensable contar con políticas públicas que incentiven su implementación, fortalezcan mercados inclusivos y aseguren una distribución equitativa de los beneficios.

El fortalecimiento de las capacidades locales también constituye una prioridad. Programas de formación en gestión ambiental, bioeconomía y resolución de conflictos pueden empoderar a las comunidades para liderar procesos de conservación y desarrollo sostenible. La UNESCO (2020) destaca que la educación ambiental no solo eleva la conciencia frente a los desafíos ambientales, sino que también cataliza la acción comunitaria y favorece transformaciones culturales hacia prácticas más sostenibles.

Finalmente, se propone la creación de fondos municipales para la conservación y el desarrollo sostenible, financiados mediante recursos internacionales, cooperación multilateral y contribuciones del sector privado. Estos fondos permitirían respaldar proyectos de conservación y restauración ecológica y bioeconomía, lo cual aseguraría la sostenibilidad financiera de las iniciativas.

En conjunto, los comités locales de agua y biodiversidad, junto con las estrategias propuestas, no solo buscan superar las debilidades identificadas, sino también capitalizar las oportunidades presentes en los territorios. Su implementación contribuiría a consolidar una gobernanza ambiental efectiva, fomentar un desarrollo económico sostenible y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a los retos del cambio climático. Estas propuestas representan un paso decisivo hacia la construcción de territorios más justos, inclusivos y sostenibles.

### *Transformando retos y desafíos en oportunidades*



Fotografía 2. Taller de gobernanza ambiental  
Tomada por: Luyi Dorado (2024).

La consolidación de una gobernanza ambiental (Fotografía 2) efectiva y el fortalecimiento de la bioeconomía local presentan tanto desafíos significativos como oportunidades únicas en los municipios estudiados. Estos retos, derivados de limitaciones estructurales y dinámicas socioculturales, exigen estrategias innovadoras capaces de transformar las dificultades en motores de desarrollo sostenible, las cuales garantizan la conservación de los servicios ecosistémicos hídricos y el bienestar de las comunidades.

Uno de los principales retos es la fragmentación de las redes de actores. La desconexión entre instituciones públicas, comunidades locales, sector privado y organizaciones no gubernamentales genera duplicación de esfuerzos, pérdida de recursos y debilita la capacidad de respuesta ante los desafíos ambientales. Según Pahl-Wostl (2009), superar estas barreras mediante redes colaborativas resulta esencial para construir gobernanzas adaptativas que respondan efectivamente a contextos de incertidumbre. La creación de espacios de diálogo y planificación conjunta, como los consejos locales de agua y biodiversidad, permitiría consolidar plataformas de cooperación, fortalecer la confianza y garantizar la toma de decisiones inclusivas.

En el ámbito comunitario, las juntas de acción comunal y las administradoras de acueductos veredales enfrentan limitaciones derivadas de la falta de recursos técnicos y financieros, lo que restringe su capacidad para liderar proyectos de conservación. Por su parte, las comunidades indígenas y campesinas, a pesar de su profundo conocimiento del territorio, tienen dificultades para acceder a herramientas modernas y para que su aporte sea plenamente reconocido en la gestión hídrica. Ostrom (2015) subraya que el éxito en la administración de los bienes comunes depende de la organización comunitaria y del acceso a recursos que permitan implementar soluciones sostenibles.

En paralelo, la bioeconomía, aunque prometedora, presenta una integración limitada en las políticas públicas y en las estrategias locales. Actividades sostenibles como la agroforestería, el ecoturismo o la producción de bienes derivados de los ecosistemas poseen un gran potencial, pero enfrentan barreras relacionadas con mercados restringidos, escaso financiamiento y débil infraestructura. La FAO (2020) sostiene que la bioeconomía requiere incentivos económicos, cadenas de valor sostenibles y marcos normativos sólidos que respalden su desarrollo.

El cambio climático amplifica estas vulnerabilidades al afectar la disponibilidad y calidad del agua, lo que incrementa las tensiones entre distintos usos y usuarios. La ausencia de sistemas de monitoreo y de datos actualizados limita la capacidad de los municipios para anticipar y mitigar sus impactos. Sin embargo, como señala el IPCC (2014), las soluciones basadas en la naturaleza, tales como la restauración de ecosistemas estratégicos, son herramientas efectivas para construir resiliencia y garantizar la sostenibilidad territorial.

Frente a estos retos, emergen oportunidades relevantes que pueden transformar las dinámicas actuales. La integración de saberes ancestrales con enfoques técnicos y científicos ofrece soluciones adaptadas a las particularidades locales. Las comunidades indígenas y campesinas poseen un conocimiento invaluable que, al combinarse con herramientas modernas como los sistemas de monitoreo geoespacial, puede enriquecer las estrategias de conservación y manejo sostenible de los SEH (Colding *et al.* 2000).

La bioeconomía, a su vez, se perfila como un enfoque transformador. Promover cadenas de valor basadas en el uso sostenible de los ecosistemas no solo diversifica las economías locales, sino que también fortalece la resiliencia económica de las comunidades rurales. Actividades como el ecoturismo, la producción sostenible de café bajo sombra y la valorización de productos naturales generan beneficios económicos directos mientras incentivan la conservación ambiental. Para maximizar su impacto, es fundamental desarrollar políticas públicas que integren incentivos financieros y mercados inclusivos, como destaca la FAO (2024).

El fortalecimiento de las redes de actores y la creación de espacios de diálogo inclusivos constituyen acciones clave para consolidar una gobernanza colaborativa. Esto implica el desarrollo de mecanismos institucionales que faciliten la planificación conjunta, promuevan la corresponsabilidad y articulen esfuerzos entre sectores. UNESCO (2020) enfatiza que la educación ambiental y la sensibilización son esenciales para catalizar cambios culturales hacia la sostenibilidad, lo que permite a las comunidades empoderarse en la conducción de procesos de transformación territorial.

La implementación de estas estrategias requiere un enfoque integral que combine gobernanza colaborativa, bioeconomía y educación ambiental. Mediante la articulación de actores, el fortalecimiento de capacidades locales y la promoción de prácticas innovadoras, los municipios estudiados pueden transformarse en referentes de sostenibilidad y resiliencia. Este camino no solo garantizará la conservación de los SEH, sino que también mejorará la calidad de vida de las comunidades, sentando las bases para un futuro en el que la equidad y la sostenibilidad sean una realidad compartida.

## Conclusiones

La investigación realizada destaca que la articulación entre actores institucionales y comunitarios, acompañada de estrategias innovadoras, resulta esencial para la conservación de los SEH y el impulso de la bioeconomía en los territorios estudiados. Enfoques colaborativos, como los comités locales de agua y biodiversidad, junto con herramientas de manejo sostenible de los recursos naturales y de restauración ecológica, se presentan como soluciones que integran conocimientos ancestrales y técnico-científicos, las cuales fomentan una gobernanza participativa. Asimismo, la bioeconomía se proyecta como un motor de desarrollo sostenible, al abrir oportunidades socioeconómicas que respetan los límites ambientales y fortalecen las economías locales.

No obstante, alcanzar estos objetivos exige superar barreras estructurales, fortalecer las capacidades locales y garantizar la equidad en la toma de decisiones. Este capítulo reafirma que, con voluntad política y cooperación multisectorial, es posible consolidar una gobernanza que permita construir territorios sostenibles frente a los desafíos presentes y futuros.

## Referencias

- Baumann, Franz  
2021 The next frontier-human development and the anthropocene: UNDP Human Development Report 2020. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 63 (3): 34-40. doi: <https://doi.org/10.1080/00139157.2021.1898908> (Acceso: 21/01/2025).
- Bentsen, Niclas; Søren Larsen e Inge Stupak  
2019 Sustainability governance of the danish bioeconomy-the case of bioenergy and biomaterials from agriculture. *Energy, Sustainability and Society*. 9 (1): 40. doi: <https://doi.org/10.1186/s13705-019-0222-3> (Acceso: 21/01/2025).
- Berkes, Fikret; Johan Colding y Carl Folke  
2000 Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*. 10 (5): 1251-1262. doi: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2) (Acceso: 21/01/2025).
- CRC –Corporación Autónoma Regional del Cauca–  
2022 *Informe anual de gestión de la Corporación Autónoma Regional del Cauca*. Popayán: CRC.
- FAO –Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura–  
2019 *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. Roma: FAO.  
2024 *Bioeconomy for food and agriculture: A global stocktaking study*. Roma: FAO.
- IPCC –Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático–  
2014 Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability. Disponible en: [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/) (Acceso: 21/01/2025).
- Makarigakis, Alexandros y Blanca Jiménez  
2019 UNESCO's contribution to face global water challenges. *Water (Switzerland)*. 11 (2):388. doi: <https://doi.org/10.3390/w11020388> (Acceso: 21/01/2025).
- Ostrom, Elinor  
2015 *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pahl-Wostl, Claudia  
2009 A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 19 (3): 354-365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001> (Acceso: 21/01/2025).
- Sabatier, Paul y Daniel Mazmanian  
1980 The implementation of public policy: A framework of analysis. *Policy Studies Journal*. 8 (4): 538-560. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1541-0072.1980.tb01266.x> (Acceso: 21/01/2025).

- UNESCO –Organización de las Naciones Unidas para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura–  
2020 Education for sustainable development: A roadmap.  
doi: <https://doi.org/10.54675/YFRE1448> (Acceso: 21/01/2025).
- UNESCO –Organización de las Naciones Unidas para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura–  
2020 Global education monitoring report 2020: Inclusion and education:  
All means all. Disponible en: <https://gem-report-2020.unesco.org>  
(Acceso: 21/01/2025).



# Parte 3

De la planificación a la acción:  
Agrosistemas sostenibles,  
bioeconomía y cadenas de valor  
para la reactivación del territorio

**E**l cambio climático, la pérdida de biodiversidad y los efectos de la pandemia de covid-19 impulsaron una crisis social y económica que ha exacerbado el desempleo, la pobreza y la desigualdad, especialmente en las zonas rurales. Esta realidad evidenció la fragilidad de los modelos de desarrollo convencionales y subrayó la necesidad de repensar las estrategias productivas y económicas bajo un enfoque más sostenible. En este contexto, la bioeconomía se perfila como una alternativa clave para transformar los sistemas productivos, lo que permite promover el uso eficiente y regenerativo de los recursos naturales, la diversificación económica y la resiliencia territorial. Su aplicación en la ruralidad permite generar valor agregado a partir de la biodiversidad y el conocimiento tradicional, mediante prácticas más verdes, inclusivas y sostenibles que equilibran la producción con la conservación de los ecosistemas y el bienestar social.

En esta sección se presenta un análisis detallado sobre la implementación de estrategias bioeconómicas en territorios priorizados de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, donde comunidades campesinas e indígenas enfrentan múltiples desafíos para equilibrar la soberanía alimentaria y la productividad agropecuaria con la conservación de los recursos naturales. A través de un enfoque holístico, se establece una línea base que orienta la gestión territorial hacia criterios de sostenibilidad a largo plazo, la cual combina diagnóstico científico, innovación tecnológica y participación activa de los actores locales.

La sección se estructura en tres capítulos. El primero aborda la evaluación del estado de sostenibilidad de las fincas mediante la aplicación de herramientas diagnósticas e información esencial sobre los factores socioeconómicos y ambientales que influyen en la productividad y en el uso de los servicios ecosistémicos hídricos. El segundo describe la implementación de agrosistemas sostenibles, como los sistemas hidropónicos y acuapónicos, en la que resalta su impacto en la seguridad alimentaria, el desarrollo económico local y la sostenibilidad ambiental. Finalmente, el tercero explora la organización de actores en cadenas de valor, a través del análisis de estrategias para fortalecer la asociatividad y la comercialización sostenible de productos agropecuarios.

El enfoque metodológico se basó en la integración de conocimientos tradicionales con innovaciones ecotecnológicas, promoviendo la participación activa de las comunidades en el diseño, implementación y gestión de soluciones sostenibles mediante la estrategia de diplomado. La combinación de prácticas agroecológicas con herramientas modernas de análisis no solo mejora la eficiencia en el uso de recursos como el agua y el suelo, sino que también fortalece la gobernanza territorial y la cohesión social. En este marco, la bioeconomía se consolida como un eje transversal para potenciar la resiliencia de los sistemas productivos frente a los efectos del cambio climático y las crisis económicas.

Los resultados obtenidos constituyen un aporte significativo para el diseño de estrategias replicables en otros territorios rurales con condiciones similares. Al visibilizar los procesos de planificación, implementación y evaluación de prácticas sostenibles, esta sección ofrece un marco de referencia para la formulación de políticas públicas y el desarrollo de proyectos que fomenten la sostenibilidad en el sector agropecuario. De esta manera, se contribuye a la construcción de un modelo de gestión integral del territorio, que garantice la viabilidad de los sistemas productivos sin comprometer la estabilidad ecológica ni el bienestar de las comunidades.

# Planificación sostenible de fincas: Un enfoque participativo que integra principios de bioeconomía

CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ, JULIANA SALAZAR BENÍTEZ,  
JUAN DIEGO OTERO SARMIENTO Y APOLINAR FIGUEROA CASAS

## Introducción

La evaluación y gestión de la sostenibilidad en zonas rurales es fundamental para promover una agricultura que equilibre la productividad con la conservación de los servicios ecosistémicos y el bienestar social (Power 2010). La planificación sostenible de fincas se ha consolidado como una herramienta clave que, desde un enfoque holístico, busca integrar los componentes socioecológicos y garantizar la sostenibilidad de las actividades agrícolas a largo plazo (Masot y Gascón 2021). La protección de la biodiversidad y, en particular, de los servicios ecosistémicos hídricos resulta crucial para mantener la funcionalidad de los agroecosistemas. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles contribuye a conservar la biodiversidad, mejorar la calidad del suelo y facilitar la adaptación de los sistemas a la variabilidad climática, aspectos esenciales para fortalecer la seguridad y la soberanía alimentaria de las comunidades, así como para promover un desarrollo equitativo y la salud ambiental.

Diversas investigaciones evidencian la importancia de incorporar prácticas sostenibles en el sector agrícola. Por ejemplo, la adopción de tecnologías de precisión y planes de conservación del agua ha demostrado mejorar la eficiencia en el uso de insumos y aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático (Xing y Wang 2024). De igual manera, la integración de sistemas de información en la gestión de agroecosistemas ha facilitado los procesos de toma de decisiones, promoviendo prácticas más sostenibles (Da Fonseca *et al.* 2020). Un caso destacado es el de la Asociación de Organizaciones de los Cuchumatanes –ASOCUCH–, que sistematizó experiencias de cuatro organizaciones de productores en Guatemala, dentro de las cuales resaltó la importancia de la gestión territorial y del manejo sostenible de las fincas. Este estudio mostró la necesidad de integrar prácticas sostenibles en la planificación para mejorar la productividad y conservar los recursos naturales (ASOCUCH 2016). Asimismo, una investigación que evaluó una finca agroecológica mediante la

metodología OSALA demostró que la implementación de prácticas agroecológicas puede mejorar tanto la sostenibilidad ambiental como la socioeconómica (Rivas 2018).

Pese a estos avances, muchas fincas en contextos rurales del departamento del Cauca, Colombia –donde predominan comunidades indígenas, afrodescendientes y campesinas– enfrentan serias dificultades para implementar prácticas sostenibles. Entre ellas se encuentran los efectos del conflicto armado, la falta de acceso a tecnologías adecuadas, los recursos financieros limitados, la ruptura en la transmisión intergeneracional de conocimientos y la tensión entre producción y conservación. A esto se suma la ausencia de evaluaciones integrales sobre la sostenibilidad de las fincas, lo que dificulta identificar los aspectos críticos que requieren intervención (Dhillon y Moncur 2023). La carencia de un diagnóstico o línea base sobre los componentes sociales, ambientales y económicos conduce a la toma de decisiones poco fundamentadas (Rodríguez *et al.* 2019).

Conocer el estado actual de la sostenibilidad de las fincas es, por tanto, un paso esencial para establecer una línea base que permita planificar objetivos y estrategias orientadas a mejorar la eficiencia en el uso de insumos, reducir los costos de producción, promover la diversificación de cultivos, fomentar el uso responsable de los servicios ecosistémicos, equilibrar la producción con la conservación y aumentar la resiliencia de los territorios frente al cambio climático. Esta evaluación inicial ofrece información valiosa para diseñar intervenciones específicas, adaptadas a cada comunidad, que promuevan procesos de autoorganización, gobernanza y desarrollo rural más equitativo y sostenible (Del Arco *et al.* 2021; Guo *et al.* 2023).

El objetivo de este documento es presentar los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta denominada “planificación sostenible de fincas” en cuatro comunidades beneficiarias del proyecto ‘Bioeconomía’, conformadas por campesinos e indígenas de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, en el departamento del Cauca. Este proceso permitió establecer una línea base sobre la sostenibilidad de las fincas en cada región, así como identificar fortalezas y áreas de mejora en la gestión de los recursos naturales y en las prácticas agrícolas. Este enfoque participativo y sistémico ofrece la oportunidad de articular conocimientos tradicionales con perspectivas agrícolas sostenibles y tecnologías innovadoras, con el fin de mejorar la productividad. Gracias a ello, se fortalece la cohesión social y se empodera a las comunidades en la gestión responsable y sostenible de sus territorios.

## Metodología

### *Planificación sostenible de la finca*

En el marco del proyecto ‘Bioeconomía’ se desarrolló un diplomado como estrategia de democratización del conocimiento científico y de transferencia

tecnológica. En este participaron comunidades campesinas e indígenas beneficiarias, junto con el equipo de investigadores del proyecto, con el objetivo de propiciar un espacio de intercambio de saberes. El proceso formativo estuvo estructurado en cuatro módulos: gestión de servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, soluciones basadas en la naturaleza, encadenamiento productivo e intercambio de experiencias.

En el primero de ellos se llevó a cabo un taller sobre planificación sostenible de la finca (Fotografía 1), que permitió recopilar información clave sobre los predios, identificar las prácticas agropecuarias existentes y evaluar las condiciones actuales de sostenibilidad ambiental, productiva y socioeconómica. Esta metodología participativa también posibilita la formulación de acciones de mejora en el manejo integral de las fincas, basadas en las experiencias de cada territorio y en la evidencia científica, con el propósito de garantizar la integración de criterios ecológicos, económicos y socioculturales en la planificación de actividades sostenibles. En la Tabla 1 se presenta una descripción general de los participantes del taller.



Fotografía 1. Fotocomposición de la jornada del Diplomado en Fortalecimiento Bioeconómico Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

Tabla 1. Descripción general de los participantes del taller

Municipio	Ubicación	Asociación	Nro. de participantes
Puracé	Veredas: El Molino, El Jigal-zona El Mirador-Paletará	ASCEMOL	16
Popayán	Veredas: Las Huacas, El Canelo, La Laguna y Los Laureles	ASOCAMPO y cabildo indígena de Quintana	16
Cajibío	Veredas: El Cairo, La Venta, Alto Grande, Cenegueta, La Buitrera, Alto La Pajosa y La Viuda		17
Silvia	Veredas: Las Tres Cruces, Agua Blanca, El Tengo, Chuloambo, El Manzanal, Buihos, Pueblito Resguardo de Guambia	Resguardo indígena de Kisgó y resguardo indígena de Guambia	13

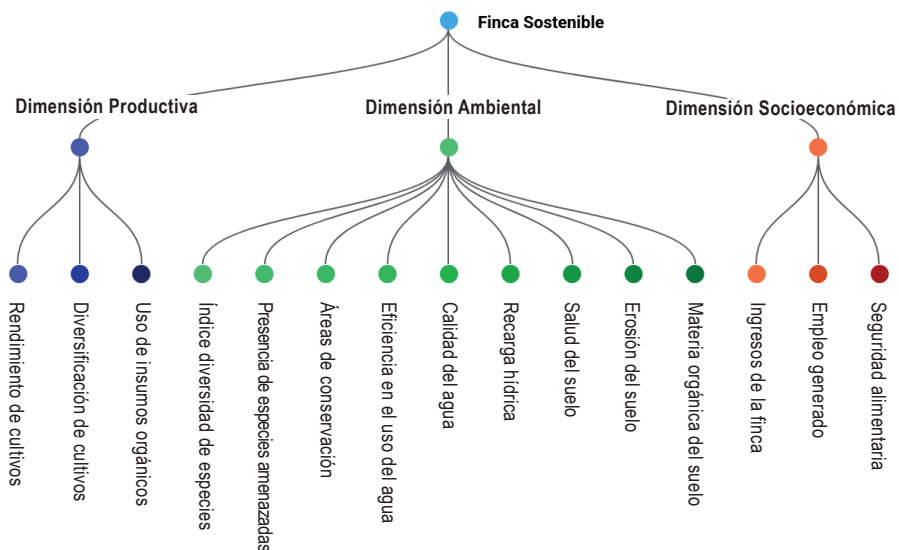
Fuente: elaboración propia.

### *Matriz-planificación sostenible de fincas*

El instrumento de planificación sostenible de fincas integró tres dimensiones fundamentales para garantizar un enfoque sistémico (Esquema 1). La dimensión productiva incluyó tres criterios orientados a evaluar la diversificación y el rendimiento de los cultivos, así como el uso de insumos orgánicos. La dimensión ambiental incorporó nueve criterios relacionados con el manejo del suelo y del agua, las áreas de conservación y la diversidad de especies. Finalmente, la dimensión socioeconómica consideró tres criterios que permitieron valorar la seguridad alimentaria de la familia, la generación de ingresos derivados de la producción agrícola y el empleo generado.

Esta estructura metodológica posibilitó obtener una visión integral del estado actual de las fincas y planificar acciones que armonicen la producción con la sostenibilidad ambiental y el bienestar social de las comunidades. Asimismo, se presenta la escala de valoración utilizada para cada uno de los criterios, con un rango de calificación de 1 a 5. Los participantes dispusieron de sesenta minutos para realizar la evaluación de los quince criterios y, además, formular observaciones críticas sobre aquellos con menor desempeño, proponiendo actividades de mejora basadas en su experiencia y conocimiento.

## Dimensiones y Criterios - Planificación Sostenible de Fincas



Esquema 1. Criterios y planificación sostenible de fincas

Fuente: elaboración propia.

## Resultados y discusión

Los resultados de la evaluación multicriterio realizada por los participantes del taller se presentan en las figuras 1, 2, 3 y 4. En estos gráficos tipo telaraña se muestra la valoración otorgada a cada uno de los quince criterios en las fincas analizadas. El orden de presentación de los resultados es el siguiente: Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia. Asimismo, en la Tabla 2 se exponen los promedios de la valoración de los criterios para cada municipio.

### *Puracé*

Promediando los valores otorgados a las dieciséis fincas analizadas, los criterios con mejor desempeño fueron:

- El criterio 5 –Presencia de especies amenazadas (4,06)– indica la existencia de pocas especies en estado de amenaza o con preocupación menor.
- El criterio 11 –Erosión del suelo (4,0)–, refleja una erosión mínima, con pérdidas casi imperceptibles.

Tabla 2. Resultados promedio valoración criterios por municipio

Crterios de sostenibilidad- planificación de la finca	Promedio Puracé	Promedio Popayán	Promedio Cajibío	Promedio Silvia
1. Rendimiento de cultivos	2,88	3,00	3,12	3,31
2. Diversificación de cultivos	2,06	3,19	3,00	3,54
3. Uso de insumos orgánicos	1,19	3,75	3,12	3,31
4. Índice de diversidad de especies	2,88	3,56	3,47	4,00
5. Presencia de especies amenazadas	4,06	3,06	2,82	3,46
6. Áreas de conservación	3,44	3,06	3,76	3,46
7. Eficiencia en el uso del agua	2,56	3,19	3,76	3,23
8. Calidad del agua	2,75	2,94	3,53	3,77
9. Recarga hídrica	2,63	3,06	3,47	3,85
10. Salud del suelo	2,81	3,50	3,47	4,08
11. Erosión del suelo	4,00	3,63	3,88	4,00
12. Materia orgánica del suelo	3,13	3,31	3,65	4,15
13. Ingresos de la finca	2,75	2,73	2,94	3,23
14. Empleo generado	1,56	1,93	2,76	2,69
15. Seguridad alimentaria	2,88	3,07	3,47	3,69

Escala valoración de criterios	1 - < 2		Crítico
	2 - < 3		Aceptable
	3 - < 4		Medio
	4 - 5		Bueno

Fuente: elaboración propia.

- El criterio 6 –Áreas de conservación (3,44)– evidencia que entre el 7 % y el 15 % del área de las fincas se destina a conservación.

En contraste, los criterios con menor rendimiento fueron:

- El criterio 3 –Uso de insumos orgánicos (1,19)– muestra un uso muy bajo de insumos orgánicos (menos del 25 %), predominando los agroquímicos sintéticos.
- El criterio 14 –Empleo generado (1,56)– señala que las fincas generan apenas entre uno y dos empleos, generalmente restringidos a los miembros de la familia.
- El criterio 2 –Diversificación de cultivos (2,06)– indica la presencia de solo dos a tres cultivos por finca; es decir, una diversificación baja y con riesgo moderado.

### *Popayán*

Promediando los valores otorgados a las dieciséis fincas analizadas, los criterios con mejor desempeño fueron:

- El criterio 3 –Uso de insumos orgánicos (3,75)– evidencia un predominio en el uso de insumos orgánicos (aproximadamente el 50 %) y una reducción significativa en el uso de agroquímicos.
- El criterio 11 –Erosión del suelo (3,63)– refleja un nivel de erosión leve a mínimo, con pérdidas prácticamente imperceptibles.
- El criterio 4 –Índice de diversidad de especies (3,56)– muestra una diversidad media-alta, caracterizada por una amplia variedad de especies y ecosistemas más complejos y resilientes.

En contraste, los criterios con menor desempeño fueron:

- El criterio 14 –Empleo generado (1,93)– indica que las fincas generan apenas entre uno y dos empleos, generalmente restringidos a los miembros de la familia
- El criterio 13 –Ingresos de la finca (2,73)– señala ingresos medios-bajos, suficientes para cubrir los costos de producción, pero con un margen muy reducido –o inexistente– para el ahorro o la inversión.

- El criterio 8 –Calidad del agua (2,94)– muestra una calidad aceptable para la mayoría de los usos, aunque con algunos parámetros por fuera de los límites ideales.

### *Cajibío*

Promediando los valores otorgados para las diecisiete fincas analizadas, los criterios con mejor rendimiento fueron:

- El criterio 11 –Erosión del suelo (3,88)– indica una erosión leve a mínima, con pérdidas prácticamente imperceptibles
- El criterio 6 –Áreas de conservación (3,76)– muestra que aproximadamente entre el 10 % y el 20 % de la finca está destinada a la conservación.
- El criterio 7 –Eficiencia en el uso del agua (3,76)– refleja un consumo de agua dentro o por debajo de los estándares, gracias al uso eficiente y a la implementación de tecnologías de ahorro.

Por otra parte, los criterios con menor rendimiento fueron:

- El criterio 14 –Empleo generado (2,76)– indica que la finca genera entre tres y cinco empleos, incluyendo algunos trabajadores temporales.
- El criterio 5 –Presencia de especies amenazadas (2,82)– señala una presencia media de especies vulnerables a la extinción.
- El criterio 13 –Ingresos de la finca (2,82)– muestran ingresos que cubren los costos de producción y permiten un pequeño margen de ahorro o inversión.

En este municipio, los indicadores de menor desempeño no presentan valores críticos, aunque sí representan oportunidades para plantear acciones y planes de mejora.

### *Silvia*

Promediando los valores otorgados para las trece fincas analizadas, los criterios con mejor rendimiento fueron:

- El criterio 12 –Materia orgánica del suelo (4,15)– indica la presencia de un suelo fértil, con buena estructura y capacidad de retención de agua, con un contenido de materia orgánica entre el 3 % y el 4 %.

- El criterio 10 –Salud del suelo (4,08)– refleja un suelo fértil, con buena estructura, alta actividad biológica y adecuada capacidad de retención de agua.
- El criterio 11 –Erosión del suelo (4,0)– señala una erosión mínima, con pérdidas prácticamente imperceptibles.

Por otra parte, los criterios con menor rendimiento fueron:

- El criterio 14 –Empleo generado (2,69)– indica que la finca genera entre tres y cinco empleos, incluyendo algunos trabajadores temporales.
- El criterio 7 –Eficiencia en el uso del agua (3,23)– muestra un consumo de agua dentro de los estándares recomendados, aunque con margen de mejora.
- El criterio 13 –Ingresos de la finca (3,23)– evidencian ingresos que cubren los costos de producción y permiten un pequeño margen de ahorro o inversión.

En este municipio, los indicadores de menor desempeño no presentan valores críticos, pero sí representan oportunidades para formular acciones y planes de mejora.

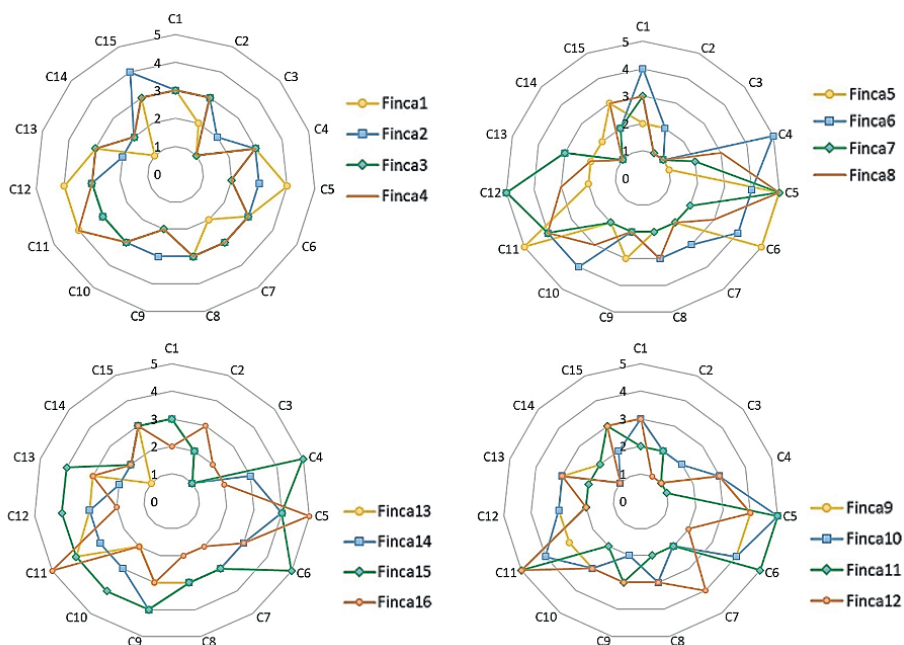


Figura 1. Evaluación de la sostenibilidad de fincas-municipio de Puracé  
Fuente: elaboración propia.

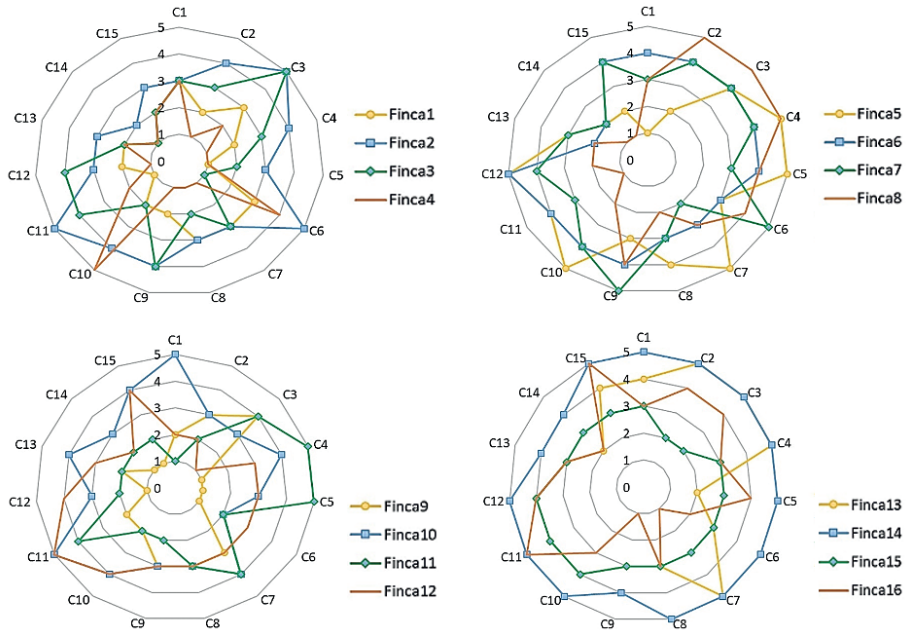


Figura 2. Evaluación de la sostenibilidad de fincas-municipio de Popayán  
Fuente: elaboración propia.

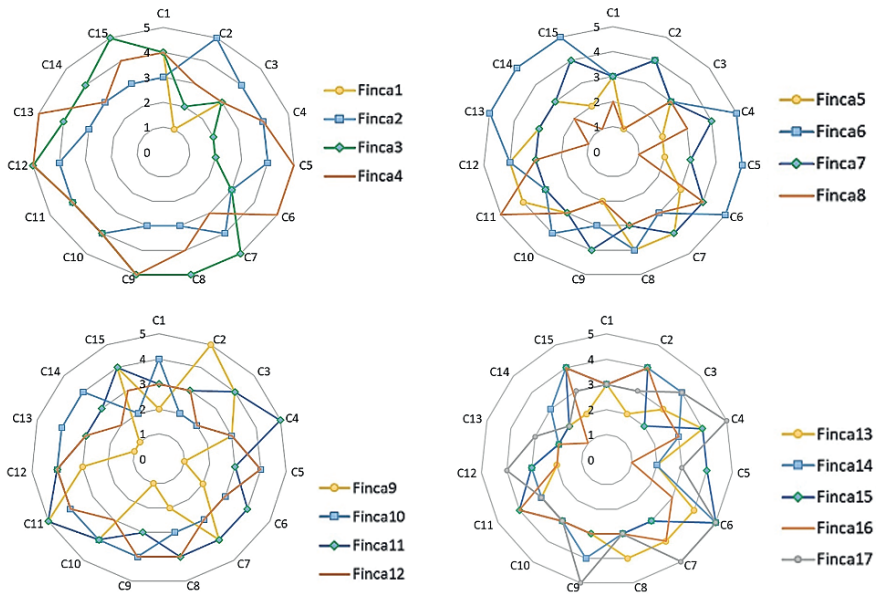


Figura 3. Evaluación de la sostenibilidad de fincas-municipio de Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

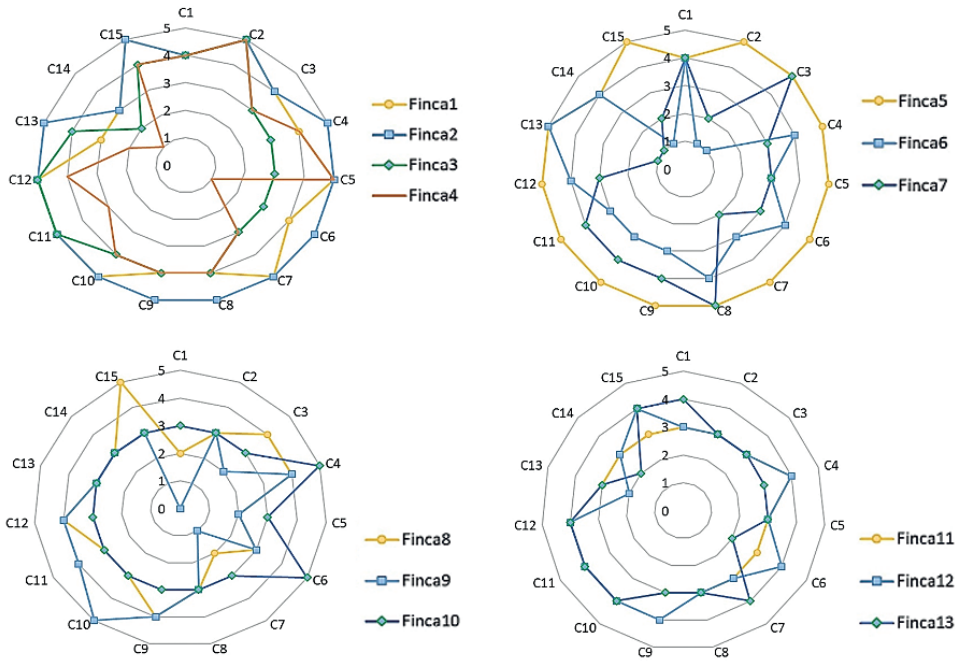


Figura 4. Evaluación de la sostenibilidad de fincas-municipio de Silvia  
Fuente: elaboración propia.

### *Acciones hacia la sostenibilidad de las fincas*

A continuación, en la Tabla 3 se presentan algunas acciones de mejora para cada uno de los criterios, orientadas a fortalecer la sostenibilidad productiva, ambiental y socioeconómica de las fincas. Estas acciones fueron propuestas por las mismas comunidades en el marco del taller realizado.

Tabla 3. Recomendaciones y acciones hacia la sostenibilidad para cada criterio

Criterio	Acciones hacia la sostenibilidad
1. Rendimiento de cultivos	<p>Implementar agrosistemas para mejorar la productividad, reducir la huella ecológica de las actividades agropecuarias y conservar el suelo.</p> <p>Usar técnicas de rotación y asociación de cultivos –cultivos intercalados o policultivos– para optimizar el uso de nutrientes y la gestión ecológica de plagas.</p> <p>Promover procesos de aprendizaje sobre buenas prácticas agrícolas -BP- y manejo integrado de cultivos.</p> <p>Usar biofertilizantes y compost para mejorar la fertilidad del suelo y reducir el uso de agroquímicos.</p> <p>Introducir y/o recuperar variedades de cultivos adaptadas a las condiciones agroclimáticas locales.</p>
2. Diversificación de cultivos	<p>Fomentar la producción de cultivos tradicionales y nativos con valor comercial y nutricional.</p> <p>Implementar cultivos intercalados para mejorar la resiliencia del sistema productivo –finca–.</p> <p>Promover huertas familiares para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la dependencia del mercado.</p> <p>Integrar especies perennes –de larga duración (dos años)– con especies de ciclo corto, para garantizar cosechas en diferentes épocas del año.</p> <p>Continuar con los procesos de custodios de semillas autóctonas.</p>
3. Uso de insumos orgánicos	<p>Desarrollar biofábricas como instrumento de riqueza para el agricultor, el suelo, la planta y la vida, mediante programas comunitarios para la producción de abonos orgánicos –biofermentados, líquidos, sólidos–.</p> <p>Implementar técnicas de compostaje y lombricultura –proceso que transforma residuos orgánicos en humus de lombriz, mediante la acción de lombrices y microorganismos– con residuos orgánicos locales.</p> <p>Fomentar el uso de bioplaguicidas y extractos vegetales para el control de plagas, así como la gestión ecológica de plagas mediante cultivos intercalados.</p> <p>Integrar un programa educativo en las escuelas rurales donde los estudiantes apropien conocimientos –académicos y tradicionales– sobre agricultura orgánica, compostaje, bioinsumos y agroecología de manera práctica, reconociendo la importancia de producir y consumir alimentos sanos y nutritivos.</p> <p>Fortalecer y dar continuidad a iniciativas como las huertas escolares orgánicas y los laboratorios vivos de aprendizaje, donde los niños y jóvenes puedan experimentar la producción de alimentos sin agroquímicos.</p>
4. Índice de diversidad de especies	<p>Incentivar la siembra de especies nativas y forrajeras para mantener la biodiversidad en los territorios.</p> <p>Establecer y reestablecer corredores biológicos para conectar fragmentos de hábitats naturales. A su vez, esto permite desarrollar estrategias de monitoreo de la biodiversidad en estas zonas.</p> <p>Diseñar sistemas agroforestales con especies productivas y de conservación, así como incentivar la creación de bancos de semillas con variedades locales.</p>

Criterio	Acciones hacia la sostenibilidad
5. Presencia de especies amenazadas	<p>Desarrollar un programa de aprendizaje intergeneracional, donde los jóvenes guardianes de la diversidad apropien conocimientos de los adultos, mayores, sabedores, etc., sobre la protección de las especies en peligro en sus territorios. Restaurar áreas degradadas con especies nativas en riesgo.</p> <p>Crear viveros locales para la propagación de especies amenazadas.</p> <p>Establecer acuerdos comunitarios de conservación y uso sostenible de la naturaleza. Estas acciones están en el marco de la gobernanza de sus territorios, las cuales permiten, en sus planes de vida y de ordenamiento territorial, incluir criterios para la restauración y la conservación.</p>
6. Áreas de conservación	<p>Implementar programas de restauración y protección de corredores biológicos y áreas ambientales estratégicas, considerando soluciones basadas en la naturaleza –SbN–, tales como cercas vivas y barreras naturales para proteger las fuentes hídricas, el desarrollo de agrosistemas sostenibles, sistemas de cosecha de agua y sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Incentivar las prácticas asociadas a la preservación y restauración de ecosistemas con especies autóctonas y, a su vez, buscar incentivos económicos como, por ejemplo, el pago por servicios ambientales –PSA– con entidades gubernamentales.</p> <p>Fomentar el turismo sostenible como alternativa económica basada en la conservación de los territorios.</p>
7. Eficiencia en el uso del agua	<p>Implementar y replicar soluciones basadas en la naturaleza –SbN– para optimizar los sistemas de riego en los cultivos, como, por ejemplo, la captación de aguas lluvias.</p> <p>Promover el uso de biofiltros y fitorremediación para el manejo de aguas residuales domésticas y agropecuarias, usando el agua tratada para múltiples propósitos –domésticos y/o agropecuarios–.</p> <p>Desarrollar jornadas educativas en los colegios de las zonas rurales incorporando herramientas sobre la valoración de servicios ecosistémicos hídricos –SEH– y generar sistemas de monitoreo comunitario de las fuentes hídricas de los territorios, para apropiar de conocimiento a las nuevas generaciones.</p>
8. Calidad del agua	<p>Reducir el uso de agroquímicos que contaminen fuentes hídricas, promover la reforestación en cuencas para mejorar la infiltración y fomentar sistemas para el saneamiento básico –tratamiento de aguas residuales– para la depuración del agua.</p> <p>Promover espacios de articulación con entidades gubernamentales y educativas para continuar trabajando en procesos relacionados a la conservación de los SEH.</p> <p>Desarrollar campañas educativas comunitarias sobre la importancia del agua en los territorios.</p> <p>Adquirir comunitariamente equipos de monitoreo –sondas multiparamétricas– y realizar seguimiento continuo a la calidad de las fuentes hídricas de su zona.</p>

Criterio	Acciones hacia la sostenibilidad
9. Recarga hídrica	<p>Proteger los nacimientos de agua con barreras vegetales y planes de reforestación. De igual manera, se debe reducir la presencia de ganadería en zonas de recarga hídrica.</p> <p>Implementar sistemas de infiltración, como zanjas de infiltración y microcuencas.</p> <p>Crear acuerdos comunitarios –gobernanza– para proteger áreas estratégicas de recarga hídrica.</p>
10. Salud del suelo	<p>Hacer uso de bioinsumos y de materia orgánica mediante composte que mejoren la actividad biológica del suelo.</p> <p>Fomentar prácticas de labranza mínima y evitar el uso excesivo de maquinaria que compacte el suelo para conservar microorganismos benéficos.</p> <p>Realizar una rotación de cultivos, y promover los policultivos para mejorar la estructura del suelo.</p>
11. Erosión del suelo	<p>Construir barreras vivas en laderas e incentivar la rotación de potreros para evitar el sobrepastoreo y la erosión.</p> <p>Implementar prácticas agroecológicas que reduzcan la pérdida de suelo por escorrentía.</p> <p>Promover el uso de cultivos de cobertura para estabilizar el suelo.</p> <p>Desarrollar campañas educativas comunitarias, integrando las escuelas, colegios de la zona y los adultos mayores y sabedores en la enseñanza de prácticas ancestrales de cultivo, fortaleciendo la identidad cultural y el respeto por la tierra.</p>
12. Materia orgánica del suelo	<p>Aplicar técnicas de compostaje y lombricultura para enriquecer el suelo.</p> <p>Incorporar principios circulares, usando los residuos de cosecha como abono verde.</p> <p>Reducir o evitar el uso de fertilizantes químicos que degradan la microbiota del suelo.</p>
13. Ingresos de la finca	<p>Diversificar la producción y promover la transformación y comercialización de productos con mayor valor agregado.</p> <p>Incentivar la agroindustria rural con valor agregado –miel, lácteos, bebidas, cafés especiales, carnes, conservas, etc.–, con el fin de promover procesos de asociación comunitaria y emprendimiento.</p> <p>Implementar estrategias de venta directa, reduciendo los circuitos de comercialización, como, por ejemplo, los mercados campesinos, las ferias locales y las, plataformas digitales.</p> <p>A través de actores gubernamentales, facilitar el acceso a financiamiento y microcréditos –justos– para pequeños productores.</p> <p>Acoger y desarrollar iniciativas en el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes, con el fin de generar una estructura organizacional sólida en las comunidades en pro de la sostenibilidad ambiental, económica y social.</p> <p>Desarrollar estrategias educativas para promover a nivel regional los productos locales, con el fin de generar una cultura “de amar, consumir y proteger lo nuestro”.</p>

Criterio	Acciones hacia la sostenibilidad
14. Empleo generado	<p>Fomentar la asociatividad comunitaria para mejorar la competitividad en el mercado.</p> <p>Implementar modelos de agroecoturismo y turismo sostenible para diversificar fuentes de empleo.</p> <p>Capacitar a las comunidades en temas como: emprendimientos rurales, modelos de negocio, inteligencia competitiva y economía solidaria.</p> <p>Apoyar proyectos de cooperativas de producción sostenible.</p> <p>Promover programas de empleo rural con equidad de género e inclusión social.</p>
15. Seguridad alimentaria	<p>Implementar huertas agroecológicas familiares y comunitarias.</p> <p>Fomentar la producción y conservación de semillas nativas.</p> <p>Crear redes de intercambio de alimentos, conocimientos, prestación de servicios –técnicos y jornales– e insumos entre productores rurales de la región.</p> <p>Realizar programas de educación nutricional en comunidades.</p> <p>Promover el consumo de productos locales y fortalecer los mercados cercanos.</p> <p>Implementar plataformas tecnológicas colaborativas que permitan el intercambio de conocimientos, productos y/o servicios entre comunidades rurales.</p>

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en el taller de planificación sostenible de la finca, desarrollado con comunidades campesinas e indígenas de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, en el departamento del Cauca, evidencian la importancia de los enfoques participativos en la gestión territorial. La metodología implementada permitió recopilar información clave sobre los predios, identificando las condiciones actuales de sostenibilidad en sus dimensiones productiva, ambiental y socioeconómica. Este proceso fortaleció el conocimiento local y generó una base sólida para la formulación de estrategias adaptadas a cada contexto territorial.

El uso de la herramienta “Matriz-planificación sostenible de fincas” condujo a una evaluación multicriterio con quince indicadores distribuidos en las dimensiones mencionadas, lo cual posibilitó un diagnóstico integral de la sostenibilidad en las 62 fincas analizadas. La sistematización de estos datos permitió establecer una línea base de información, constituyéndose en un insumo fundamental para la toma de decisiones informada y basada en evidencia. A partir de este diagnóstico se definieron acciones y planes específicos para cada criterio evaluado, orientados a una mejora progresiva en la sostenibilidad de los predios.

Las estrategias propuestas buscan optimizar el uso de los recursos naturales, promover un aprovechamiento responsable y ético de la naturaleza, reducir los costos de producción, incorporar tecnologías sostenibles, fortalecer los procesos de autoorganización y gobernanza, avanzar hacia una producción limpia y orgánica, impulsar programas educativos intergeneracionales y aumentar la resiliencia de las fincas frente al cambio climático. La implementación de estas acciones contribuirá a mejorar la calidad de vida de los productores, promover la seguridad alimentaria y fortalecer la autonomía de las comunidades. La integración de criterios ecológicos, económicos y socioculturales en la planificación agropecuaria garantiza la viabilidad de estas iniciativas a largo plazo, lo que favorece la transición hacia modelos productivos más sostenibles.

Finalmente, la metodología participativa empleada en esta investigación no solo permitió crear planes de acción concretos, sino que también incentivó un aprendizaje colectivo y el intercambio de experiencias y saberes entre las comunidades. Este aspecto resulta clave para la consolidación de redes de colaboración y la apropiación de estrategias de manejo sostenible, asegurando la continuidad de los procesos de planificación y la replicabilidad de esta experiencia en otras regiones con contextos similares. De esta manera, el proyecto 'Bioeconomía' sienta bases sólidas para una gestión agropecuaria que contribuya simultáneamente a la conservación de la biodiversidad y al bienestar de las comunidades rurales.

## Referencias

### ASOCUCH

- 2016 Informe 3 de 3: Sistematización de experiencias de 4 organizaciones de productores en desarrollo productivo, gestión del territorio y manejo sostenible de bosques y fincas. Disponible en: [www.asocuch.com/wp-content/uploads/2020/06/Sistematizaci%C3%B3n-de-Experiencias-We-Effect-FAO.pdf](http://www.asocuch.com/wp-content/uploads/2020/06/Sistematizaci%C3%B3n-de-Experiencias-We-Effect-FAO.pdf) (Acceso: 11/02/2025).

### Del Arco, Isabel *et al.*

- 2021 Implementing sdgs to a sustainable rural village development from community empowerment: Linking energy, education, innovation and research. *Sustainability*. 13 (23): 12946. doi: <https://doi.org/10.3390/su132312946> (Acceso: 21/09/2024).

### Dhillon, Rajveer y Qianna Moncur

- 2023 Small-scale farming: A review of challenges and potential opportunities offered by technological advancements. *Sustainability*. 15 (21): 15478. doi: <https://doi.org/10.3390/su152115478> (Acceso: 21/09/2024).

### Guo, Mengqi *et al.*

- 2023 Sustainable livelihood evaluation and influencing factors of rural households: A case study of Beijing ecological conservation areas. *Sustainability*. 15 (13): 10743. doi: <https://doi.org/10.3390/su15131074> (Acceso: 21/09/2024).

Masot, Ana y José Gurria

- 2021 Sustainable rural development: Strategies, good practices and opportunities. *Land*. 10 (4): 366. doi: <https://doi.org/10.3390/land10040366> (Acceso: 21/09/2024).

Power, Alison

- 2010 Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 365 (1554): 2959-2971. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143> (Acceso: 12/12/2024).

Rivas, Camilo

- 2018 'Evaluación de la experiencia agroecológica a partir indicadores de sostenibilidad de la metodología de sistematización OSALA. Estudio de Caso: Finca San Luis del municipio Guasca, Cundinamarca'. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Bosque. Bogotá.

Rodríguez, Cristian *et al.*

- 2019 A multi-criteria approach for comparison of environmental assessment methods in the analysis of the energy efficiency in agricultural production systems. *Journal of Cleaner Production*. 228: 1464-1471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.388> (Acceso: 12/12/2024).

Xing, Yingying y Xiukang Wang

- 2024 Precision agriculture and water conservation strategies for sustainable crop production in arid regions. *Plants*. 13 (22): 3184. doi: <https://doi.org/10.3390/plants13223184> (Acceso: 12/12/2024).



# Estrategia organizacional de los actores en cadenas de valor en torno al uso de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH–

SANDRA PATRICIA REBOLLEDO ACOSTA, RAFAEL MAURICIO PADILLA MORENO,  
RICARDO MONROY DEL CASTILLO, JULIANA SALAZAR BENÍTEZ  
Y CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ

## Introducción

La sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– constituye un desafío central para las comunidades rurales, dado que el acceso al agua y la forma en que se gestiona determinan la viabilidad de las actividades productivas y la resiliencia socioeconómica. En este contexto, las estrategias organizacionales fundamentadas en la acción comunitaria y en la asociatividad de los actores vinculados a las cadenas de valor resultan cruciales para impulsar la competitividad de pequeños grupos u organizaciones productivas y, al mismo tiempo, promover la preservación y el uso responsable de los servicios ecosistémicos. Estos procesos de organización colectiva permiten a las comunidades no solo optimizar el acceso a insumos y mercados, sino también fortalecer sus acuerdos de gobernanza en torno al agua, con el fin de asegurar su disponibilidad para las generaciones futuras (Ostrom 2010).

La integración de estrategias organizacionales en las cadenas de valor contribuye a mejorar las condiciones económicas de las comunidades y, a la vez, fomenta la equidad, el trabajo en equipo y el empoderamiento social. En particular, la participación activa de los actores locales en los procesos de toma de decisiones fortalece la cohesión social y la capacidad de negociación de las comunidades asociadas y autoorganizadas frente a actores externos, como el Estado, el sector privado o las organizaciones internacionales (Berkes 2017; Padilla y Oddone 2016).

Investigaciones previas han demostrado que los modelos de asociatividad en comunidades rurales favorecen la generación de economías de escala, la reducción de costos de producción y el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas productivos frente a fenómenos como el cambio climático (Pahl-Wostl *et al.* 2011). Asimismo, la diferenciación y sostenibilidad en la producción

de bienes y/o servicios se configuran como elementos clave, pues, además de agregar valor, fortalecen las redes entre los diferentes actores, lo cual les permite afrontar las emergencias socioambientales que puedan presentarse. En este sentido, en el contexto rural colombiano los grupos sociales y las organizaciones deben implementar estrategias de asociatividad para lograr un mayor fortalecimiento productivo, incrementar su representatividad, ampliar su poder de negociación y mejorar el acceso a recursos económicos, tecnológicos y educativos. Este enfoque de gobernanza colaborativa en la gestión de los territorios campesinos e indígenas ha demostrado ser una herramienta efectiva para integrar el conocimiento tradicional con los modelos de bioeconomía.

La articulación de los actores en las cadenas de valor contribuye a consolidar sistemas productivos resilientes y sostenibles. De manera complementaria, es necesario avanzar en el reconocimiento de los derechos de uso del agua por parte de las comunidades locales, aspecto clave para garantizar la equidad en su distribución y prevenir conflictos relacionados con el acceso a este recurso (Grafton *et al.* 2013).

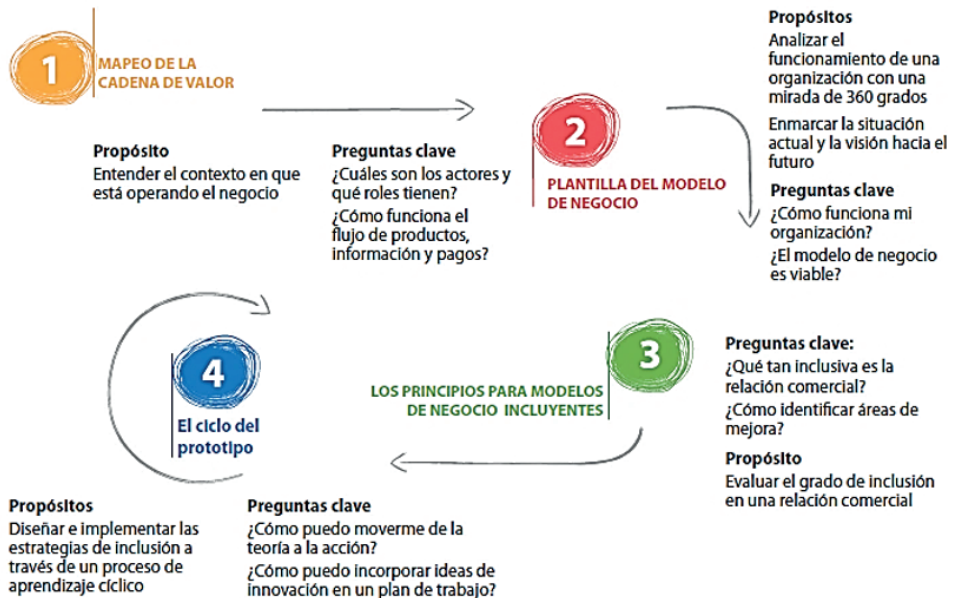
De acuerdo con lo anterior, en esta sección se presentan los resultados de los ejercicios realizados con productores rurales de los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, en el departamento del Cauca, Colombia. En dichos ejercicios se aplicaron metodologías participativas para identificar: los actores, las relaciones presentes en las cadenas productivas más representativas de la región y los modelos de negocio actualmente vigentes. Con base en esta información, se formula una propuesta de estrategia organizacional sustentada en los modelos de negocio sostenibles –MNS– (Korhonen *et al.* 2018), en la cual se integran la generación de valor económico, social y ambiental, siendo eje articulador la gestión sostenible de los SEH, la bioeconomía y la participación activa de las comunidades campesinas e indígenas.

## Metodología

Para esta investigación se utilizó la metodología “Link”, propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical –CIAT–, la cual constituye una guía participativa para el diseño de modelos de negocio inclusivos con productores a pequeña escala. Dicha metodología se consolidó a partir de investigaciones realizadas previamente en países de América Latina, Asia y África, donde se han documentado más de ochenta casos exitosos que han dado lugar a modelos de negocio efectivos para pequeños productores. Estos modelos se destacan como herramientas clave para mejorar los procesos empresariales y contribuir a la reducción de la pobreza, al incrementar la eficiencia y la efectividad en las operaciones productivas (Lundy *et al.* 2012).

La metodología “Link” fomenta un proceso sistemático de aprendizaje entre los actores de una cadena de valor; es decir, está diseñada para acompañarlos paso a paso en un proceso de innovación, mediante la aplicación de cuatro herramientas participativas.

En el marco de esta investigación se implementaron dos de dichas herramientas: el mapeo de la cadena de valor y la plantilla de modelo de negocio (Esquema 1). A partir de esta información, se plantean estrategias organizativas que los actores de las cadenas de valor deberán desplegar para abordar e intervenir en las problemáticas que ellos mismos han priorizado. Estas estrategias constituyen un prototipo inicial, sujeto a procesos de mejora continua, cuyo propósito final es fortalecer las relaciones con los compradores. Sin embargo, los talleres realizados evidenciaron que el fortalecimiento inclusivo también debe generarse al interior de las organizaciones y grupos comunitarios.



Esquema 1. Herramientas que integran la metodología “Link”

Fuente: elaboración propia a partir de Lundy *et al.* (2012).

En el marco del proyecto ‘Bioeconomía’ se desarrolló un diplomado como estrategia de democratización y apropiación del conocimiento científico y de transferencia tecnológica. En este proceso participaron comunidades campesinas e indígenas beneficiarias, junto con el equipo de investigadores del proyecto, con el objetivo de propiciar un espacio de intercambio de saberes.

El proceso formativo se estructuró en cuatro módulos: gestión de servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, soluciones basadas en la naturaleza, encadenamiento productivo y el intercambio de experiencias.

### *Herramienta 1: Mapeo de la cadena de valor*

Dentro de este diplomado, se generó el espacio idóneo para la aplicación de la primera herramienta metodológica, orientada al levantamiento de la información requerida. En particular, se desarrolló la sesión titulada “Cadenas de valor como estrategia de fortalecimiento organizacional” (Fotografía 1), en la cual participaron sesenta productores representantes de las diferentes zonas de los municipios de Cajibío, Silvia, Popayán y Puracé, en el departamento del Cauca.



Fotografía 1. Cadenas de valor como estrategia de fortalecimiento organizacional

Nota: Jornada del Diplomado en Fortalecimiento Bioeconómico.

Tomada por: Luiyi Dorado (2024).

De ejercicios previos derivados del proyecto ‘Desarrollo de estrategias de seguridad alimentaria e hídrica para la reactivación económica de comunidades rurales, mediante transferencia de tecnologías y conocimientos para la innovación como medida de atención a la emergencia covid-19 en el Cauca-SHARE’, con la participación del Grupo de Investigación GEA de la Universidad del Cauca, las comunidades habían priorizado sus actividades productivas, las cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Actividades productivas priorizadas por municipio

Municipio	Actividades productivas priorizadas
Silvia	Agroturismo, gastronomía propia, lácteos
Popayán	Hortalizas, turismo agroecológico Oro Azul, ruta orgánica del EDEN, espacios de trueque
Cajibío	Café, agroturismo, turismo vivencial, banco de semillas, chirrincho de cabuya, abonos orgánicos
Puracé	Lácteos, café, fresa, mora, maíz, papa

Fuente: elaboración propia.

### *Herramienta 2: Plantilla del modelo de negocio*

El levantamiento de información para esta herramienta se llevó a cabo mediante talleres individuales con las juntas directivas de las asociaciones y/o productores representativos de la cadena previamente identificada. En una primera fase, se realizó una verificación rápida de la información obtenida en el mapeo. Posteriormente, se procedió al diligenciamiento de la plantilla del modelo de negocio, compuesta por nueve preguntas orientadoras (Figura 1).

Finalmente, algunas de las propuestas de innovación organizativa fueron trabajadas de manera articulada entre las comunidades rurales participantes –campesinas e indígenas– y el equipo de investigadores del proyecto.

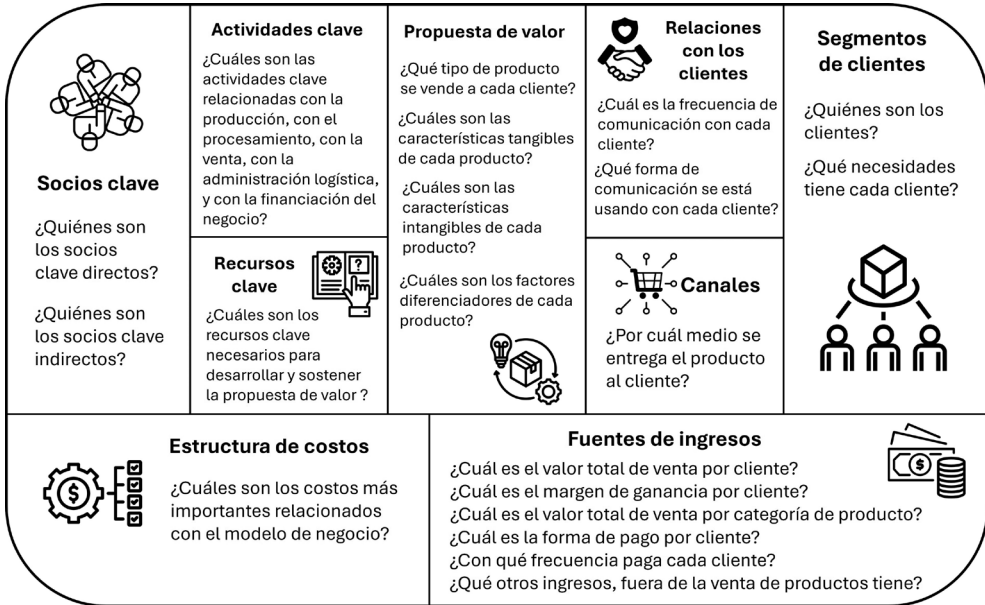


Figura 1. Herramienta modelo de negocio/preguntas orientadoras, metodología “Link”  
 Fuente: elaboración propia a partir de Osterwalder *et al.* (2010).

## Resultados y discusión

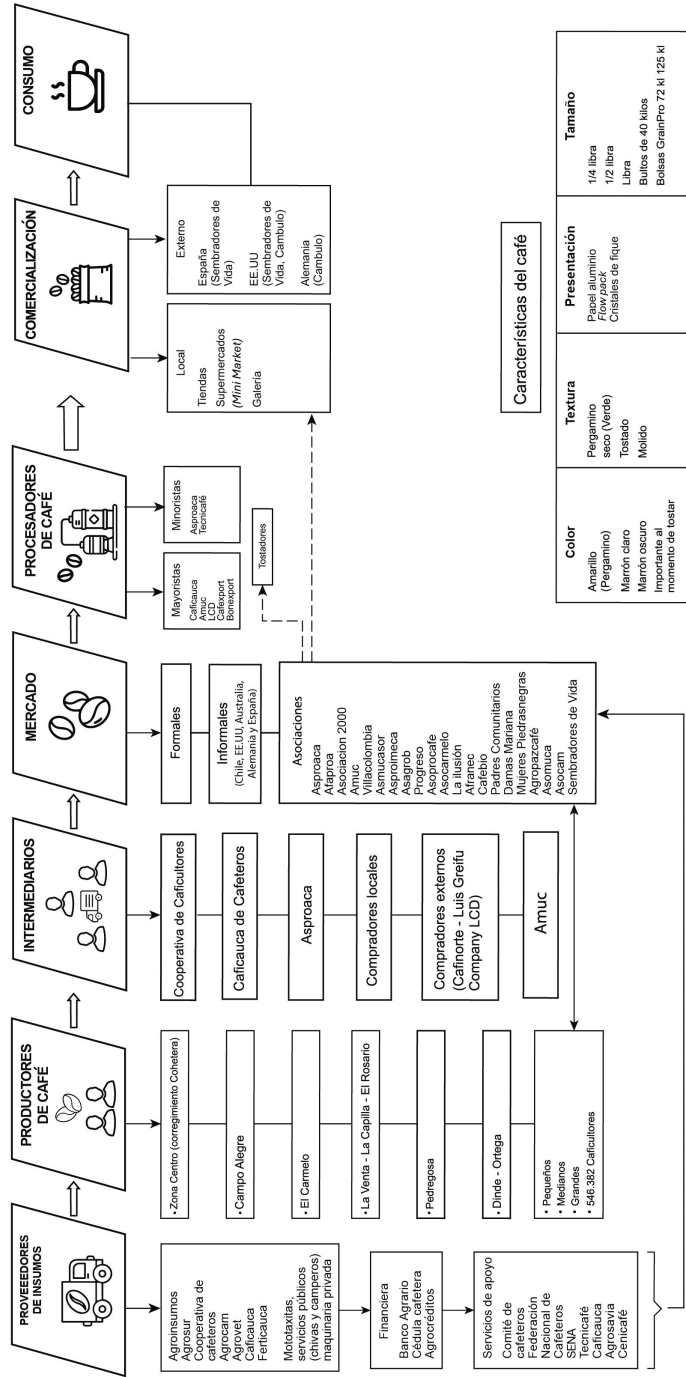
A continuación, se detalla el mapeo de la cadena de valor y el modelo de negocio establecido en cada uno de los municipios beneficiarios.

### Cajibío

Cajibío es uno de los municipios con mayor extensión en el departamento del Cauca. Su tradición agrícola lo ha consolidado como uno de los principales referentes en la producción y comercialización de café, especialmente de cafés de especialidad. Esta actividad, impulsada en gran medida por procesos de organización comunitaria, también ha propiciado la articulación de productos y servicios turísticos en torno a la experiencia cafetera.

Gracias a estas fortalezas, el mapeo de su cadena de valor involucró a diversos actores, partiendo de una amplia base social y evidenciando flujos de información dinámicos que reflejan la sostenibilidad de los procesos en distintos ámbitos. El mapeo de la cadena de valor del café se presenta en el Esquema 2.

# MAPEO DE LA CADENA DEL CAFÉ



Características del café			
<b>Color</b>	Amarillo (Pergamino)	Marrón claro	Marrón oscuro
<b>Textura</b>	Pergamino seco (Venta)	Tostado	Molido
<b>Presentation</b>	Papel aluminio	Flow pack	Cristales de tique
<b>Tamaño</b>	14 libra	12 libra	Bultos de 40 kilos
			Bolsas GranPro 72 kl / 25 kl

Esquema 2. Mapeo de la cadena de valor del café, municipio de Cajitibo. Fuente: elaboración propia.

### *Análisis del modelo de negocio –café–*

La principal fortaleza del municipio es la producción y comercialización de café. Sin embargo, existe una gran oportunidad de crecimiento relacionada con la actividad turística. Por esta razón, es necesario fortalecer un modelo que articule el turismo sostenible generado alrededor de las fincas y del proceso cafetero en general. Actualmente, existen dos zonas que ya cuentan con productos agroturísticos asociados a una propuesta de valor denominada “Saber, sabor y aroma para la reconciliación”. No obstante, este modelo requiere consolidar varios aspectos, destacando que el turismo cafetero es una actividad intermitente y altamente sensible a condiciones externas de orden público en la región. Esta actividad se ha sostenido gracias a la presencia y alianza con actores institucionales y privados, como el Parque Tecnológico de Innovación del Café –Tecnicafé–, quienes atraen de manera constante a visitantes nacionales e internacionales.

El agroturismo se ha consolidado como una alternativa prometedora dentro de los modelos de negocio sostenibles, al ofrecer a los visitantes amantes de la cultura cafetera la oportunidad de conocer y participar en las dinámicas productivas de las comunidades rurales. La participación en actividades tradicionales vinculadas a la producción de café, junto con la conexión con la naturaleza, permite a los visitantes acercarse a las prácticas locales, comprender la cosmovisión de las comunidades y fomentar el intercambio cultural. Este enfoque no solo impulsa la economía rural, sino que también fortalece los lazos de cohesión social, la identidad y el sentido de pertenencia al territorio, especialmente entre las nuevas generaciones, y promueve el desarrollo de cadenas de valor sostenibles.

Como perspectiva, el turismo regenerativo en entornos rurales emerge como una opción innovadora que combina la reconexión con la naturaleza y el bienestar integral del visitante. Este tipo de turismo generalmente se desarrolla a través de experiencias inmersivas, como yoga, meditación, *coaching*, terapias de manejo de dolor, integración de programas de salud y regeneración, tratamientos “detox” y actividades físicas de bajo impacto. Dichas experiencias permiten a los visitantes beneficiarse de un ambiente libre del estrés urbano, a tiempo que fomentan una relación armónica entre la sociedad, la conservación del medioambiente y el bienestar de las comunidades rurales.

### *Popayán*

En este municipio se trabajó con la Asociación Campesina Municipio de Popayán Red de Reservas Naturales –ASOCAMPO–, la cual cuenta con un alto nivel de avance organizativo. Esto evidencia procesos sólidos de cohesión entre sus miembros y les permite responder y apropiarse de las iniciativas que fortalecen sus propósitos misionales. El ejercicio de mapeo de la cadena de

valor se realizó para las hortalizas, específicamente la lechuga crespa, dado que este producto ocupa un lugar preponderante en la estructura productiva de la zona (Esquema 3). Adicionalmente, se han implementado prácticas agroecológicas y, recientemente, sistemas acuapónicos e hidropónicos para la producción de esta hortaliza.

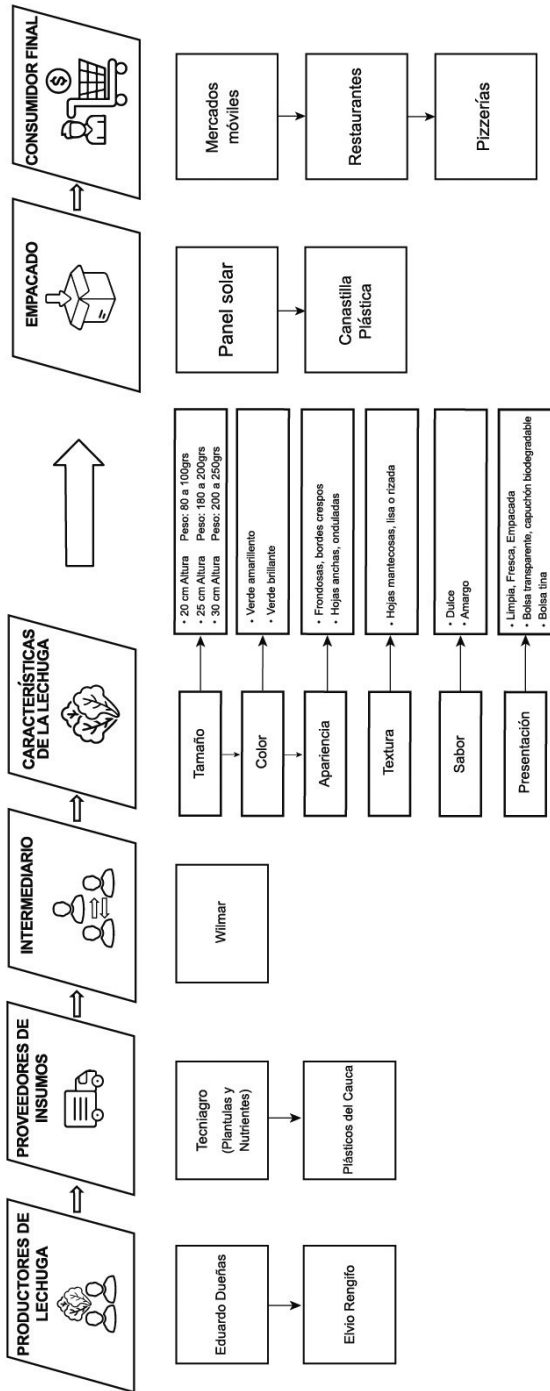
#### *Análisis del modelo de negocio –lechuga–*

El modelo de negocio considerado con la comunidad de ASOCAMPO se centra en la producción y comercialización de la lechuga, dado que la mayoría de los campesinos socios cultivan esta hortaliza. En el marco del proyecto ‘Bioeconomía’, se han instalado pilotos hidropónicos y acuapónicos, utilizados por las familias para mejorar la eficiencia en el uso de insumos y aumentar significativamente los volúmenes de producción.

Gracias al buen relacionamiento institucional de ASOCAMPO, cerca del 90 % del producto se comercializa principalmente en mercados campesinos, placitas locales, plazas de mercado, festival de la cosecha, carpa mágica y eventos como Fe en Colombia, del Ejército nacional. La propuesta de valor se centra en ofrecer un producto orgánico mediante prácticas agroecológicas; es decir, con diferenciación ambiental. Sin embargo, se evidencia la necesidad de fortalecer la estructura de costos, el análisis de utilidades y la rentabilidad del negocio por parte de la asociación.

Como perspectiva, resulta pertinente continuar innovando con nuevas ecotecnologías, como los modelos hidropónicos y acuapónicos propuestos en esta investigación, realizando ensayos y pruebas que contribuyan a mejorar la sostenibilidad de estos sistemas, garantizando la frescura y calidad del producto final.

## MAPEO DE LA CADENA DE VALOR LECHUGA



Esquema 3. Mapeo de la cadena de valor de la lechuga, municipio de Popayán  
Fuente: elaboración propia.

*Silvia*

El municipio de Silvia cuenta con importantes fortalezas, como su diversidad cultural, la amplia oferta de productos y una actividad turística en crecimiento sostenido en los últimos años. En el marco del proyecto, participaron activamente algunos socios de la organización FRUVERSIL, dedicada a la producción y comercialización de frutas en la región. Esta organización integra asociados de los distintos resguardos indígenas y comunidades campesinas del territorio.

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos proyectos en el municipio, orientados a fortalecer actividades productivas en sectores como el cultivo de papa, fresa, trucha, lácteos y artesanías. Iniciativas como la de FRUVERSIL son especialmente valiosas, ya que abren nuevas oportunidades y brindan espacios propicios para dinámicas comerciales innovadoras, fortaleciendo la cohesión social y los procesos de gobernanza en las comunidades. Además, esta propuesta se adapta a las necesidades y tendencias del mercado, sin desligarse de la cultura y el arraigo territorial de sus miembros.

El cultivo de fresa y algunas hortalizas tiene un papel destacado en la dinamización de la economía local. Según lo identificado con los participantes del proyecto, aproximadamente el 70 % de la producción se destina a la venta en mercados regionales y nacionales, mientras que el 30 % restante contribuye a la soberanía alimentaria de los territorios. En el Esquema 4 se presenta la cadena de valor de la fresa para la organización FRUVERSIL.

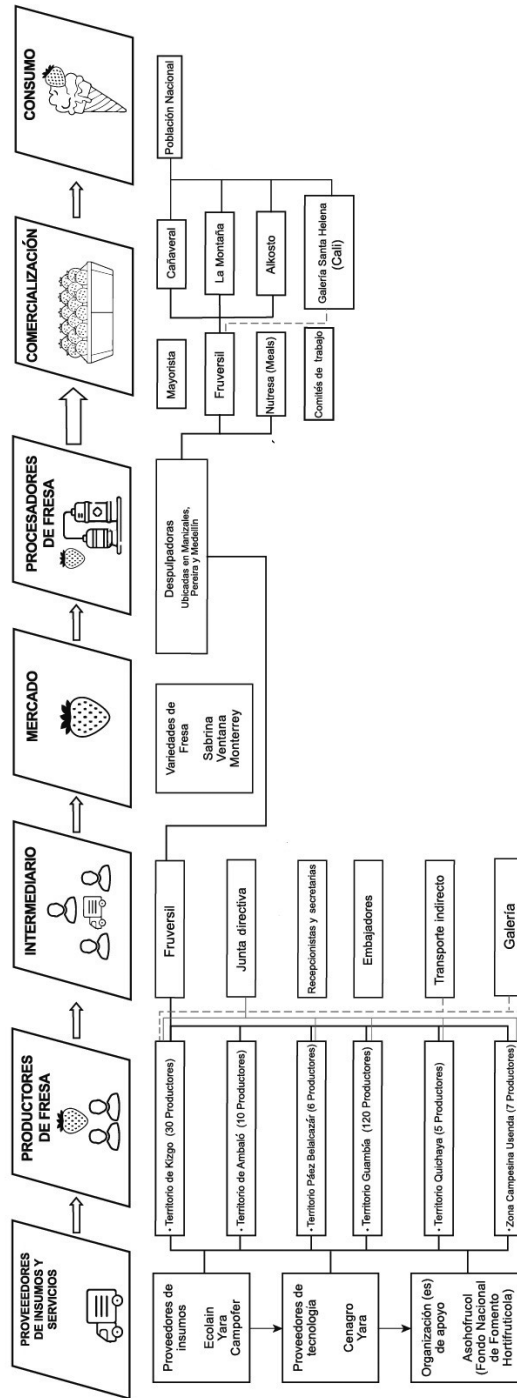
*Análisis del modelo de negocio –fresa–*

La organización FRUVERSIL seleccionó el modelo de negocio centrado en la fresa, el cual destacó por su sólida presencia comercial en el Valle del Cauca, atendiendo un mercado que prioriza la calidad y la estabilidad de los productos. Su volumen de ventas representa el 40 % del total y ha logrado establecer relaciones comerciales duraderas con clientes clave, como supermercados Cañaveral –cuatro años–, Alkosto –dos años– y La Montaña –dos años–. La frecuencia de entrega diaria garantiza la satisfacción de los clientes y la continuidad del suministro. De esta manera, consolida su posición en el mercado regional.

Según los representantes de la organización, la propuesta de valor para mantener esta estabilidad se basa en la personalización de las presentaciones, el cumplimiento en las entregas y la frescura de los productos. A pesar de contar con un modelo consolidado, y en el contexto de globalización y digitalización, es necesario fortalecer el relacionamiento con los clientes mediante herramientas tecnológicas, con énfasis en *marketing* digital y redes sociales.

La fresa ha dejado de ser solo un ingrediente para postres y ahora se utiliza en ensaladas, *smoothies*, jugos, salsas y otros platillos *gourmet*, ampliando así su mercado potencial. Asimismo, técnicas de cultivo como el uso de invernaderos y sistemas hidropónicos y acuapónicos han permitido a los productores extender las temporadas de cultivo, aumentar los rendimientos y optimizar el uso de los recursos.

CADENA DE VALOR DE LA ASOCIACIÓN FRUVERSIL



Esquema 4. Mapeo de la cadena de valor de la fresa, municipio de Silvia  
Fuente: elaboración propia.

*Puracé*

En este municipio se trabajó con la Asociación Comunitaria El Molino –ASCEMOL–, dedicada a la producción, acopio y comercialización de productos agropecuarios. Actualmente, cuenta con veintiocho asociados que se enfocan principalmente en la producción, acopio y comercialización de leche, actividad que se desarrolla de manera asociativa y, en menor medida, en la producción y comercialización de fresas, que realizan de manera individual.

El mapeo realizado se centró en la cadena de valor de la leche (Esquema 5), el cual presenta importantes desafíos en términos de agregación de valor a sus productos, especialmente para mejorar sus procesos comerciales y garantizar la sostenibilidad y competitividad de la cadena.

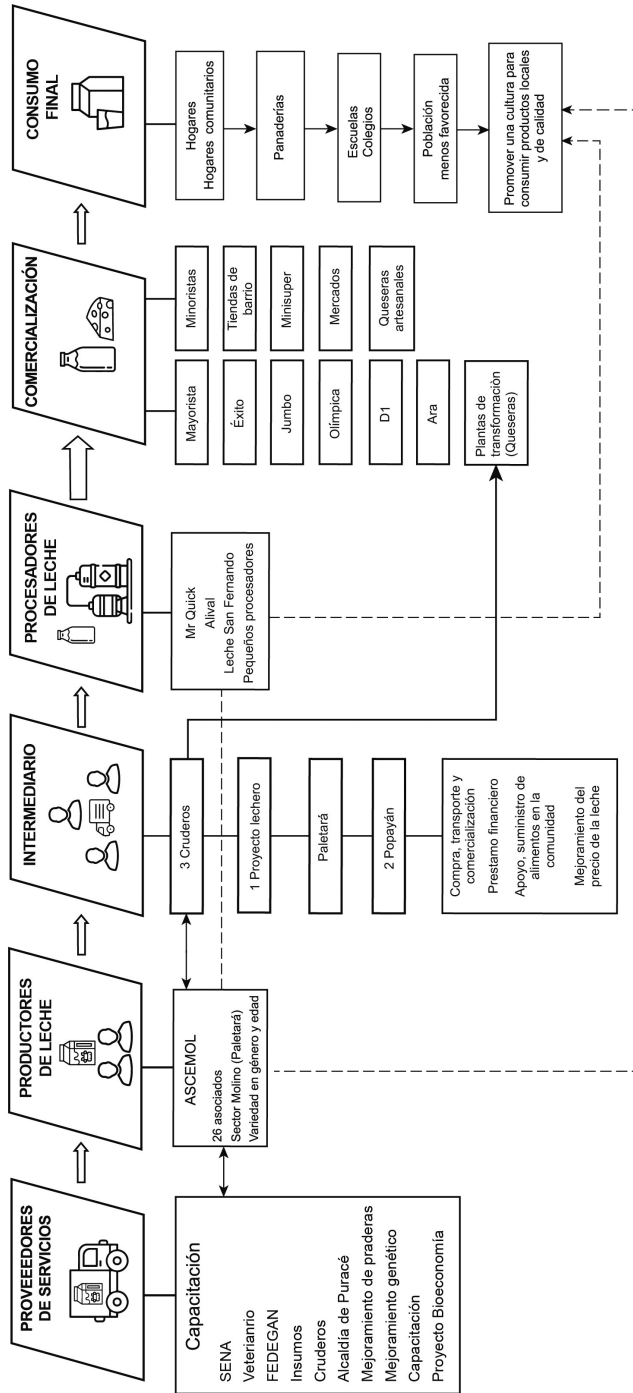
*Análisis del modelo de negocio –leche–*

La organización ASCEMOL destacó la importancia de la producción lechera en la zona, resaltando la calidad y volumen excepcionales de su producto. Esto se atribuye principalmente a la raza de los animales y a la alimentación natural, libre de insumos sintéticos, debido a la alta concentración de nutrientes en los pastizales locales.

A pesar de su experiencia en la producción, el modelo de negocio actual enfrenta dificultades, las cuales reflejan una situación que ha afectado a todo el sector en la región, principalmente por el traslado o cierre de muchas empresas procesadoras en el departamento del Cauca. Actualmente, los principales canales de comercialización de ASCEMOL son la empresa Alival de Cali y los intermediarios conocidos como “cruderos”. En el caso de Alival, el precio se fija anualmente mediante resolución. Sin embargo, en los últimos tiempos la cadena no ha generado las utilidades esperadas, pues apenas ha cubierto los gastos de producción.

A lo anterior se suma el incremento en la importación de lactosueros, lo que representa una amenaza significativa, además de la inestabilidad en los volúmenes de compra por parte de los clientes actuales. Por estas razones, se hace necesario avanzar hacia modelos de negocio que incorporen el desarrollo de nuevos productos y generen valor agregado a la leche. Entre las alternativas emergentes en el sector lácteo destacan los productos lácteos funcionales, como yogures enriquecidos con probióticos, leches con aditivos funcionales y bebidas proteicas a base de suero. Asimismo, se observa un auge de los lácteos híbridos, que combinan productos tradicionales con bases vegetales para atraer a consumidores flexitarianos, así como la incorporación de tecnologías de fermentación de precisión.

CADENA DE VALOR DE LA LECHE - ASCEMOL



Esquema 5. Mapeo de la cadena de valor de la leche, municipio de Puracé  
Fuente: elaboración propia.

## **Propuesta estrategia organizativa: Cadenas de valor y modelos de negocio sostenibles**

La economía rural desempeña un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de los territorios, especialmente en países dependientes del sector agropecuario como Colombia, donde en 2024 contribuyó con un 9 % al PIB (UPRA 2024). Productos como la papa, el café, la fresa, las hortalizas, la leche, el pescado, entre otros alimentos, son esenciales para el sustento de las comunidades campesinas e indígenas, constituyéndose en medios de vida y garantía de soberanía alimentaria. No obstante, esta economía enfrenta múltiples desafíos estructurales, como el conflicto armado, la falta de infraestructura vial, el acceso limitado a servicios, la informalidad, la baja gobernabilidad de los actores y el acceso restringido a mercados. Estos son factores que agravan las condiciones de pobreza y desigualdad que deben abordarse desde diversas esferas (Corrales 2016; Garay 2013; Sanz *et al.* 2016).

La crisis derivada de la pandemia y los efectos de la variabilidad climática evidenciaron estas dificultades, pero también pusieron de relieve oportunidades de cambio en los modelos productivos, las cuales promovieron estrategias de diversificación, prácticas agroecológicas, desarrollo sostenible, reducción de la huella ecológica, producción orgánica y limpia, diferenciación de productos, entre otras (Geissdoerfer *et al.* 2017; Haji y Himpel 2024; Quintero *et al.* 2024; Segovia y Ortega 2012). En este contexto, el desarrollo actual se orienta hacia modelos de negocio sostenibles e innovadores que integren de manera equilibrada el crecimiento económico con la responsabilidad social y el respeto a los límites ecológicos. Estos modelos valorizan los recursos territoriales locales, tanto tangibles como intangibles, a través de un aprovechamiento responsable de la biodiversidad, la riqueza natural, los saberes tradicionales y la diversidad cultural, pilares esenciales para construir sistemas productivos resilientes e inclusivos (Gudynas 2010; Meadows *et al.* 2004; Salas y Juárez 2018; Zamorano *et al.* 2024).

En este sentido, el fortalecimiento de las cadenas de valor en la ruralidad se presenta como un instrumento estratégico para impulsar el desarrollo territorial, al facilitar la integración de los productores en mercados más dinámicos y sostenibles, reducir brechas de desigualdad y promover una apropiación más equitativa del valor agregado dentro de la cadena productiva (Oddone y Padilla 2017). Una articulación eficiente entre los eslabones de la cadena – desde los proveedores de servicios y la producción hasta la comercialización y los consumidores– es fundamental para garantizar su óptimo funcionamiento y maximizar su contribución al desarrollo económico, social y ambiental. Cuando los actores de la cadena están bien conectados, se generan sinergias que reducen costos, optimizan recursos y mejoran la competitividad del sistema. Asimismo, la coordinación entre eslabones facilita la trazabilidad y calidad de los productos, condición clave para acceder a mercados más exigentes.

Los resultados del análisis de las cuatro cadenas de valor priorizadas muestran un amplio conocimiento de los productores rurales en temas de producción y comercialización informal. Sin embargo, persiste un desconocimiento sobre las ventajas que los espacios de colaboración pueden ofrecer en términos de acceso directo a mercados sostenibles, apoyo institucional para la diversificación y diferenciación de productos y exploración de alternativas como el agroturismo o el turismo cultural, que valorizan la riqueza del territorio rural caucano. La adopción de principios bioeconómicos permite reconfigurar estas cadenas de valor y aprovechar de manera más eficiente los recursos naturales y los saberes tradicionales, combinándolos con procesos de innovación que incrementan la competitividad territorial, fomentan la generación de productos con mayor valor agregado y reducen la dependencia de insumos externos. Esto con el fin de impulsar modelos más resilientes, circulares y sostenibles.

A continuación, se presentan algunas estrategias generales de fortalecimiento que marcan una línea de ruta para iniciar procesos de transformación y superar algunas de las limitaciones identificadas.

### *Fortalecimiento de la asociatividad y gobernanza rural*

El fortalecimiento de la asociatividad constituye un pilar fundamental para consolidar cadenas de valor sostenibles y competitivas en territorios rurales. La creación y consolidación de cooperativas y redes de productores agroecológicos permite mejorar el acceso a insumos sostenibles, optimizar la asistencia técnica y facilitar la comercialización en mercados diferenciados, como el comercio justo y el agroturismo.

Para potenciar estos procesos, resulta indispensable fomentar el empoderamiento de los productores rurales mediante inversiones en formación, acceso a tecnología y sistemas de gestión que incrementen su capacidad de negociación. La promoción de esquemas organizativos fortalece el poder de los productores dentro de la cadena de valor, lo cual asegura una distribución equitativa de los beneficios y aumenta su resiliencia frente a las dinámicas del mercado.

Una gobernanza territorial sólida es clave para que las comunidades locales asuman un papel protagónico en la planificación y ejecución de estrategias de desarrollo sostenible. La articulación equitativa entre productores, transformadores, distribuidores y comercializadores garantiza que los beneficios generados a lo largo de la cadena de valor se compartan de manera justa y, de esta manera, contribuyan al bienestar de las comunidades rurales. Asimismo, la gobernanza debe incluir estrategias que aseguren la transición intergeneracional en los sistemas productivos rurales, de modo que los conocimientos, valores y prácticas sostenibles se transmitan a las nuevas generaciones y preserven la continuidad de las actividades económicas y culturales esenciales para el desarrollo territorial.

### *Economía circular e innovación productiva*

La adopción de principios de economía circular en la agricultura y la producción agropecuaria constituye una estrategia clave para fortalecer las cadenas de valor y optimizar el aprovechamiento de los recursos. Es fundamental fomentar la reutilización de residuos orgánicos mediante la generación de compostaje o biogás, así como implementar sistemas de producción más eficientes que minimicen el desperdicio de materiales y energía.

Asimismo, el desarrollo de bioemprendimientos vinculados a la biodiversidad y al conocimiento tradicional representa una oportunidad para diversificar las actividades económicas y potenciar el valor agregado de los productos rurales. Modelos de negocio basados en la producción de cosmética natural, infusiones medicinales y turismo regenerativo contribuyen a fortalecer la identidad territorial y mejorar los ingresos de las comunidades locales. Estos se consolidan en un enfoque de desarrollo basado en la sostenibilidad y la innovación.

### *Digitalización y acceso a mercados*

La transformación digital es un factor determinante para mejorar la competitividad de las cadenas de valor rurales, lo cual facilita la optimización de procesos logísticos y la trazabilidad de los productos. La implementación de herramientas digitales permite conectar directamente a los productores con los consumidores finales. Esto permite reducir intermediarios y aumentar los márgenes de ganancia para los pequeños actores del sector agropecuario y transformadores.

Plataformas tecnológicas colaborativas fortalecen los circuitos de comercialización y facilitan el intercambio de conocimientos y servicios entre los actores productivos. Para asegurar que estos avances generen beneficios económicos concretos, es clave mejorar el acceso al financiamiento mediante la creación de fondos rotatorios gestionados por asociaciones locales, la vinculación con programas de financiamiento climático y la obtención de certificaciones sostenibles que faciliten la inserción de los productores en mercados verdes.

### *Educación, innovación y cultura de consumo sostenible*

La continuidad y escalabilidad de las estrategias de fortalecimiento de las cadenas de valor requiere un enfoque integral de educación y capacitación. Robustecer las escuelas rurales con un enfoque en negocios sostenibles permitirá a productores y emprendedores adquirir conocimientos en gestión empresarial, agroecología y nuevas tecnologías, lo cual facilita la incorporación de prácticas innovadoras y sostenibles.

La colaboración con universidades e institutos de investigación impulsará la generación de conocimiento adaptado a las realidades locales. Paralelamente, es necesario fomentar una cultura de consumo responsable que valore los atributos de los productos orgánicos más allá de su precio, que promueva la aceptación de la diversidad natural de frutas, verduras y hortalizas y fortalezca la conexión entre productores y consumidores. Adicionalmente, la creación de un entorno propicio para el desarrollo de las cadenas de valor rurales requiere inversiones en infraestructura, eliminación de barreras comerciales y normativas que motiven la participación de los pequeños productores en mercados diferenciados.

### *Fortalecimiento de la equidad y la inclusión en la cadena de valor*

La equidad en la cadena de valor es un factor determinante para mejorar las condiciones de vida de los productores rurales y fortalecer su capacidad de negociación. En muchas regiones, la concentración del poder en pocos compradores limita las oportunidades de los pequeños productores, lo cual genera precios bajos y condiciones laborales desfavorables.

Para mitigar estos efectos, es necesario establecer políticas que fomenten la equidad en la cadena, fortalecer las organizaciones de productores y mejorar su acceso a financiamiento y servicios empresariales. La educación financiera y la ampliación de los servicios de desarrollo empresarial permitirán que los pequeños productores mejoren su capacidad de planificación y reduzcan las barreras de entrada a mercados más competitivos.

### *Sostenibilidad hídrica*

En municipios con acceso limitado al agua o con presiones ambientales significativas, es fundamental consolidar una gobernanza territorial que garantice la gestión equitativa del recurso. La inserción en plataformas de gobernanza hídrica, conformadas por asociaciones de productores, juntas de acueducto y autoridades locales, permite establecer acuerdos para la distribución del agua, impulsar estrategias agroecológicas de uso eficiente del recurso y participar en mecanismos de pago por servicios ambientales.

Estas iniciativas contribuyen a la conservación de las fuentes hídricas y a la sostenibilidad de la producción de alimentos. Para garantizar la efectividad de estas estrategias a largo plazo, se requiere la implementación de sistemas de monitoreo y evaluación de impacto, con indicadores de sostenibilidad que midan la eficiencia en el uso del agua, la reducción de emisiones de carbono y el fortalecimiento de la gobernanza territorial.

## Conclusiones

En este estudio se evidencia la importancia de implementar modelos de negocio sostenibles –MNS– como herramienta para fortalecer las cadenas de valor rurales en el departamento del Cauca, Colombia. Mediante metodologías participativas, se identificaron los actores clave, sus relaciones dentro de las cadenas productivas y los modelos de negocio vigentes en los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia. Los resultados muestran que la articulación entre la gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, la bioeconomía y la participación activa de las comunidades campesinas e indígenas no solo potencia la rentabilidad de los sistemas productivos locales, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y social de los territorios.

El análisis de las cadenas de valor –café en Cajibío, lechuga en Popayán, fresa en Silvia y leche en Puracé– demuestra que las estrategias organizacionales basadas en los MNS mejoran los procesos productivos y de comercialización. Esto genera mayores beneficios económicos y contribuye a la cohesión social de las comunidades mediante procesos de autogestión y autoorganización. El fortalecimiento de estas cadenas impulsa la economía local y regional, promueve el acceso equitativo al agua y fomenta prácticas agrícolas resilientes. En este sentido, el trabajo colaborativo entre los actores del territorio es determinante para consolidar circuitos económicos sostenibles y reducir las brechas de desigualdad en el sector rural.

Finalmente, se destaca que la bioeconomía sirve como eje articulador de las estrategias organizacionales, lo cual permite avanzar hacia un desarrollo territorial más equitativo y justo, donde la conservación de los SEH se convierte en un pilar fundamental para garantizar la seguridad hídrica y alimentaria de las comunidades. Como perspectiva, se resalta la necesidad de continuar fortaleciendo la asociatividad entre los productores rurales y generar condiciones que faciliten el acceso a nuevos mercados, el desarrollo de infraestructura y la implementación de tecnologías sostenibles. Además, se considera fundamental involucrar de manera más activa a los usuarios o clientes en los MNS, de manera tal que se fomente conciencia sobre los beneficios mutuos y el valor de las prácticas de producción limpia y de los productos locales. De esta manera, se promueve una cultura de consumo de alimentos sanos y propios.

## Referencias

- Berkes, Fikret  
2017 *Sacred ecology* (4ª ed.). Nueva York: Routledge.
- Corrales, Elsy  
2016 *La crisis del sector rural colombiano: Experiencias que aportan a la construcción de alternativas*. Bogotá: Corporación Grupo Semillas Colombia.

- Garay, Luis  
2013 *Reflexiones sobre ruralidad y el territorio en Colombia: Problemáticas y retos actuales*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana OXFAM.
- Geissdoerfer, Martin *et al.*  
2017 The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 143 (1): 757-768. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048> (Acceso: 10/01/2025).
- Gudynas, Eduardo  
2010 Desarrollo sostenible: Una guía básica de conceptos y tendencias hacia otra economía. *Otra Economía*. 4 (6): 43-66. doi: <https://doi.org/10.4013/1182> (Acceso: 10/01/2025).
- Haji, Mona y Framk Himpel  
2024 Building resilience in food security: Sustainable strategies post-covid-19. *Sustainability*. 16 (3): 995. doi: <https://doi.org/10.3390/su16030995> (Acceso: 10/01/2025).
- Korhonen, Jouni; Antero Honkasalo y Jyri Seppälä  
2018 Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*. 143: 37-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041> (Acceso: 21/01/2025).
- Lundy, Mark. *et al.*  
2012 *Metodología LINK: Una guía participativa para modelos empresariales incluyentes con pequeños agricultores*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.
- Meadows, Donella; Jorgen Randers y Dennis Meadows  
2004 A synopsis: Limits to growth, the 30-year update. *Estados Unidos: Chelsea Green Publishing Company*. 381. Disponible en: <https://donellameadows.org/archives/a-synopsis-limits-to-growth-the-30-year-update/> (Acceso: 24/12/2024).
- Oddone, Nahuel y Ramon Padilla  
2017 *Fortalecimiento de cadenas de valor rurales*. Nueva York: Naciones Unidas-UN y Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL.
- Ostrom, Elinor  
2010 Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. *American Economic Review*. 100 (3): 641-672. doi: <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641> (Acceso: 10/01/2024).
- Padilla, Ramón y Nahuel Oddone  
2016 *Manual para el fortalecimiento de cadenas de valor*. Santiago de Chile: Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-.
- Pahl-Wostl, Claudia *et al.*  
2011 Maturing the new water management paradigm: Progressing from aspiration to practice. *Water Resources Management*. 25 (3): 837-856. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9729-2> (Acceso: 10/01/2024).

- Qintero, Carolina; Alejandra Arce y Nadine Andrieu  
2024 Evidence of agroecology's contribution to mitigation, adaptation and resilience under climate variability and change in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 48 (2): 228-252. doi: <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2273835> (Acceso: 10/01/2024).
- Salas, Guillermo y Luis Juárez  
2018 Hacia un modelo de desarrollo rural integral sustentable basado en la sociedad del conocimiento. *Revista Espacios*. 39 (53): 1-17. Disponible en: [www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-09.pdf](http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-09.pdf) (Acceso: 10/01/2024).
- Sanz, Carlos *et al.*  
2016 *El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia* (Vol. 2016). Bogotá: Banco de la República-Colombia.
- Segovia, Diego y Guillermo Ortega  
2012 *La agroecología, camino hacia el desarrollo sustentable*. Asunción: BASE Investigaciones Sociales
- Zamorano-Morales, Luis; Imelda Cuevas y José Soriano  
2024 "Marco teórico sobre agronegocios, ruralidad y desarrollo rural sostenible". En: Luis Alberto Morales Zamorano (coord.), *Un enfoque sistémico en los agronegocios: oportunidades para el desarrollo rural*, pp. 27-59. Ciudad de México: Ediciones Comunicación Científica.



# Implementación de agrosistemas sostenibles: Un modelo de participación comunitaria para la soberanía alimentaria y la reactivación productiva

CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ, JULIANA SALAZAR BENÍTEZ, Y JUAN DIEGO OTERO SARMIENTO.

## Introducción

En los últimos años, el fortalecimiento de las comunidades rurales ha cobrado importancia y se ha vuelto clave para enfrentar emergencias globales como el cambio climático, la inseguridad alimentaria, la disminución en la cantidad y calidad del recurso hídrico y la crisis económica derivada de la pandemia de covid-19 (Becerra *et al.* 2023; Opore 2007). En este contexto, la implementación de estrategias bioeconómicas que integren la oferta de servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, agrosistemas productivos innovadores, encadenamiento productivo y conocimientos locales constituye una ruta eficaz para mejorar la resiliencia y sostenibilidad de estas comunidades.

Según el último informe de la FAO sobre el “Estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024”, aproximadamente 757 millones de personas padecieron hambre en 2023; es decir, una de cada once personas en el mundo (FAO *et al.* 2024). En este escenario, los agrosistemas sostenibles emergen como una alternativa viable, ya que buscan optimizar el uso responsable de los servicios ecosistémicos, reducir la huella ecológica de la producción agropecuaria y generar sistemas agrícolas más resilientes frente a las variaciones climáticas (Çakmakçı *et al.* 2023; Clark y Tilman 2017; Shahmohamadloo *et al.* 2021).

Los sistemas hidropónicos y acuapónicos se destacan dentro de los agrosistemas sostenibles (López 2019; Somerville *et al.* 2022) por sus múltiples beneficios:

- a. *Seguridad y soberanía alimentaria.* Permiten la producción de alimentos orgánicos, frescos y nutritivos, lo que es crucial para mejorar la dieta y la calidad de vida de las comunidades rurales. Estas técnicas pueden generar un suministro constante de pescado y verduras –diversificación productiva–, lo cual contribuye a la autosuficiencia alimentaria (Kannan *et al.* 2022; König *et al.* 2016; Valdez-Martínez *et al.* 2023).

- b. *Desarrollo económico*. Abren nuevas oportunidades de empleo y generan ingresos para las familias. Al diversificar la producción agrícola, se pueden acceder a mercados locales y regionales. Gracias a ello se fortalece la economía local y se sientan las bases para una reactivación productiva más equitativa y sostenible. Estos sistemas ofrecen un mayor rendimiento y, a través de ellos, se puede ejercer mayor control en la producción, lo cual da lugar a menores pérdidas (Somerville *et al.* 2022).
- c. *Cohesión social*. Fomentan la colaboración entre los miembros de la comunidad, ya que, a menudo, se requiere trabajo en equipo para su instalación, mantenimiento y operación. Esto fortalece los lazos sociales, las redes comunitarias, el desarrollo de capacidades locales y promueve un sentido de pertenencia y responsabilidad compartida, con el fin de reforzar los procesos de gobernanza en los territorios. Adicionalmente, estos sistemas requieren de menos mano de obra y se pueden incluir miembros de la familia de todas las edades y géneros (López 2024; Somerville *et al.* 2022).
- d. *Sostenibilidad ambiental*. Utilizan recursos hídricos de manera más eficiente en comparación con la agricultura tradicional. Para este tipo de producción no se requiere de fertilizantes ni pesticidas químicos, lo cual genera un mayor nivel de bioseguridad para las familias y un menor riesgo frente a contaminantes externos. La diversificación en la producción permite reducir la presión sobre los ecosistemas naturales. En términos energéticos, son sistemas donde recircula el agua y los nutrientes –materia y energía–. De esta manera, se minimizan los desperdicios y la disipación de la energía en posibles contaminantes para el ambiente (Nair *et al.* 2025; Velazquez-Gonzalez *et al.* 2022).

La participación activa de las comunidades rurales beneficiarias del proyecto ‘Bioeconomía’ –municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, Cauca– fue determinante en el diseño, la construcción, la implementación y la gestión de los pilotos hidropónicos y acuapónicos. Se instalaron doce agrosistemas, ocho hidropónicos y cuatro acuapónicos, distribuidos equitativamente entre los municipios. Esta construcción colaborativa, que integra saberes locales con innovaciones ecotecnológicas, asegura soluciones funcionales y socioculturalmente apropiadas, promueve la adopción de tecnologías y fortalece la autoorganización, asociatividad y gobernanza de las comunidades.

El objetivo de este documento es describir el proceso de implementación de agrosistemas sostenibles en los municipios priorizados, ofreciendo un modelo replicable para futuras iniciativas. En la sección de métodos, se explica la priorización de predios para la instalación de sistemas hidropónicos y acuapónicos, basada en seis criterios socioambientales y productivos que garantizan su viabilidad. Se describen los tres predios seleccionados en cada municipio, incluyendo ubicación, coordenadas, responsable,

asociación y breve reseña de la persona encargada del piloto. Posteriormente, se presenta el diseño arquitectónico adaptado a las particularidades de cada territorio.

En la sección de resultados, se proporciona una descripción técnica de los modelos hidropónicos y acuapónicos implementados, junto con un modelado de los pilotos, a través de la simbología propuesta por Odum (1996), que permite analizar flujos energéticos e interacciones dentro de los sistemas desde una perspectiva sistémica. Finalmente, se detalla la implementación en cada finca priorizada, incluyendo construcción del sistema, siembra y primeras cosechas. Esto evidencia su impacto en términos de apropiación y sostenibilidad.

## Metodología

### *Priorización de predios para la instalación de los agrosistemas*

#### *Definición de criterios*

Para la priorización de los predios donde se instalaron los agrosistemas, se realizó una evaluación multicriterio considerando seis criterios (Tabla 1). Este proceso permitió seleccionar los hogares más adecuados para la implementación de los agrosistemas sostenibles, con el fin de maximizar su impacto en términos de soberanía alimentaria, gestión hídrica y fortalecimiento de la economía rural.

Tabla 1. Criterios establecidos para la priorización

Criterios	Subcriterios	Descripción general
C1. Experiencia previa en procesos agropecuarios sostenibles		Evalúa si el hogar ha tenido experiencia en prácticas agropecuarias sostenibles, como principios agroecológicos, biofabricas, huertas orgánicas, uso eficiente del agua en cultivos, diversificación productiva, etc.
C2. Accesibilidad	C.2.1. Seguridad	Evalúa si la zona donde se instalará el agrosistema es segura para el equipo técnico y las familias beneficiarias.
	C.2.2. Buen estado de las vías	Evalúa si las carreteras o caminos que conducen al hogar permiten el acceso de los equipos técnicos y materiales de instalación.
	C.2.3. Cercanía de la vía al punto de instalación	Se valora la proximidad del hogar a una vía transitable.

Crterios	Subcriterios	Descripción general
C3. Coconstrucción	C.3.1. Trabajo con el equipo técnico	Evalúa la disposición de la familia para colaborar en la instalación y el mantenimiento del agrosistema.
	C.3.2. Enseñar el piloto a otros grupos para su réplica y coconstrucción	Evalúa si los hogares están dispuestos a compartir su experiencia con otras familias.
C4. Acceso a servicios	C.4.1. Agua	Se verifica la disponibilidad de fuentes de agua para el sistema.
	C.4.2. Energía	Se verifica el acceso a electricidad.
C5. Área de instalación	C.5.1. Espacio disponible (m2) cercano a la casa	Evalúa la disponibilidad de espacio dentro de su predio para instalar el sistema.
	C.5.2. Adecuación del espacio	Evalúa que los terrenos no requieran grandes modificaciones en su topografía para la instalación de los sistemas.
C6. Disponibilidad	C.6.1. Tiempo de trabajo	Valora si al menos un miembro del hogar puede dedicarle tiempo suficiente a la operación y mantenimiento del sistema (1h/día).
	C.6.2. Intercambio de conocimiento intergeneracional	Evalúa el interés en transmitir los conocimientos adquiridos a distintas generaciones.
	C.6.3. Participación en capacitaciones y visitas de seguimiento	Evalúa la disposición de la familia para asistir a sesiones de formación y recibir acompañamiento técnico.

Fuente: elaboración propia.

### *Escala de evaluación*

Se propone una escala de evaluación de 0 a 3 puntos (Tabla 2), que permite valorar cada criterio de manera objetiva. Con ello se asegura que los hogares seleccionados cuenten con las mejores condiciones para la implementación de los agrosistemas.

Tabla 2. Escala de evaluación propuesta

Puntaje	Descripción general
0 puntos	No cumple con el criterio. Condiciones no favorable para la implementación del agrosistema.
1 punto	Cumple parcialmente. Requiere ajustes o mejoras significativas para ser viable.
2 puntos	Cumple en gran medida. Presenta algunas oportunidades de mejora, pero es viable.
3 puntos	Cumple completamente con el criterio. Condiciones óptimas para la implementación del agrosistema.

Fuente: elaboración propia.

### *Priorización de predios para la implementación de agrosistemas*

Para el municipio de Puracé, se realizó la priorización considerando dieciséis predios –del predio A al P–, mientras que para los municipios de Popayán y Cajibío se evaluaron dieciocho predios en cada caso –del predio A al R–. Los resultados de la priorización para cada municipio se presentan en los gráficos 1, 2 y 3.

En el caso particular del municipio de Silvia, la selección de los tres predios para la implementación de los agrosistemas fue realizada directamente por la comunidad indígena beneficiaria, basándose en su conocimiento del territorio y en las estrategias de gobernanza local. De esta manera, se respetaron sus estructuras de toma de decisiones y se fortaleció la capacidad de autogestión de la comunidad. La priorización realizada por la comunidad responde a los acuerdos de planificación y gobernanza existentes en sus territorios, lo cual refleja su organización interna y cosmovisión.

A continuación, se presenta una descripción de los predios priorizados en cada municipio (Tabla 3).

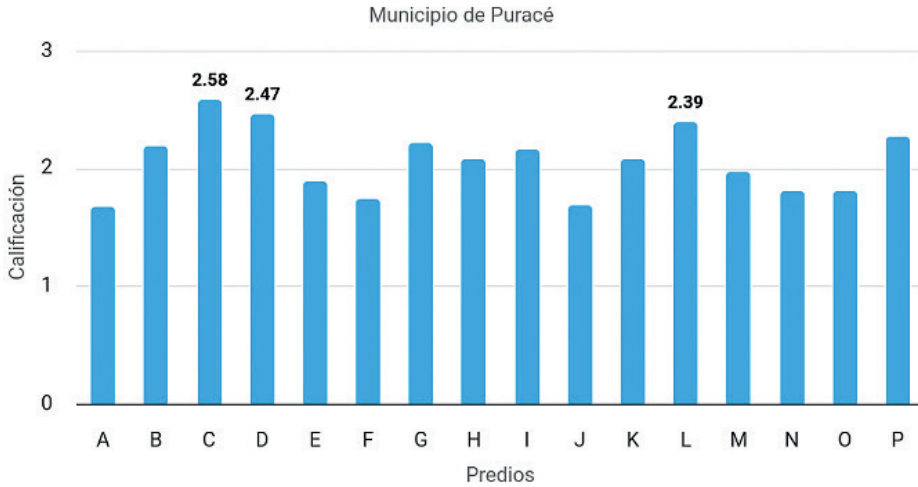


Gráfico 1. Priorización en el municipio de Puracé  
Fuente: elaboración propia.

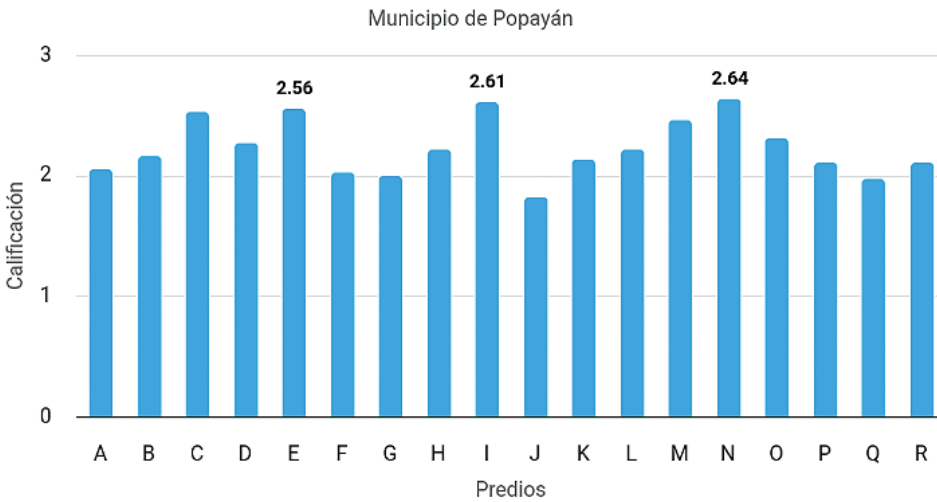


Gráfico 2. Priorización en el municipio de Popayán  
Fuente: elaboración propia.

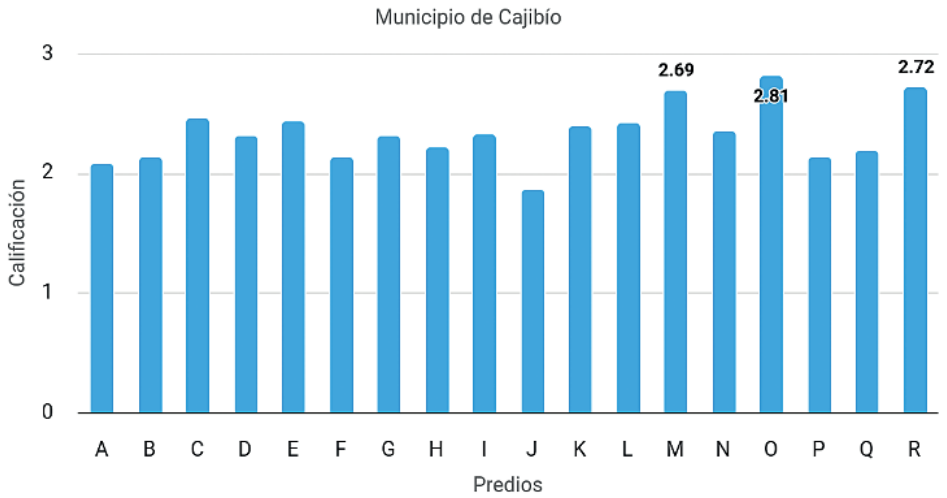
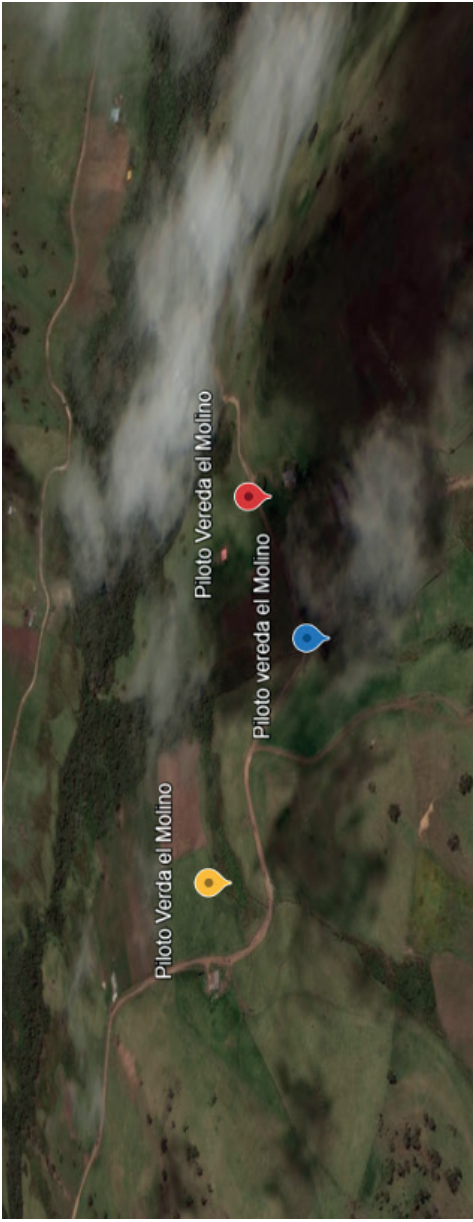


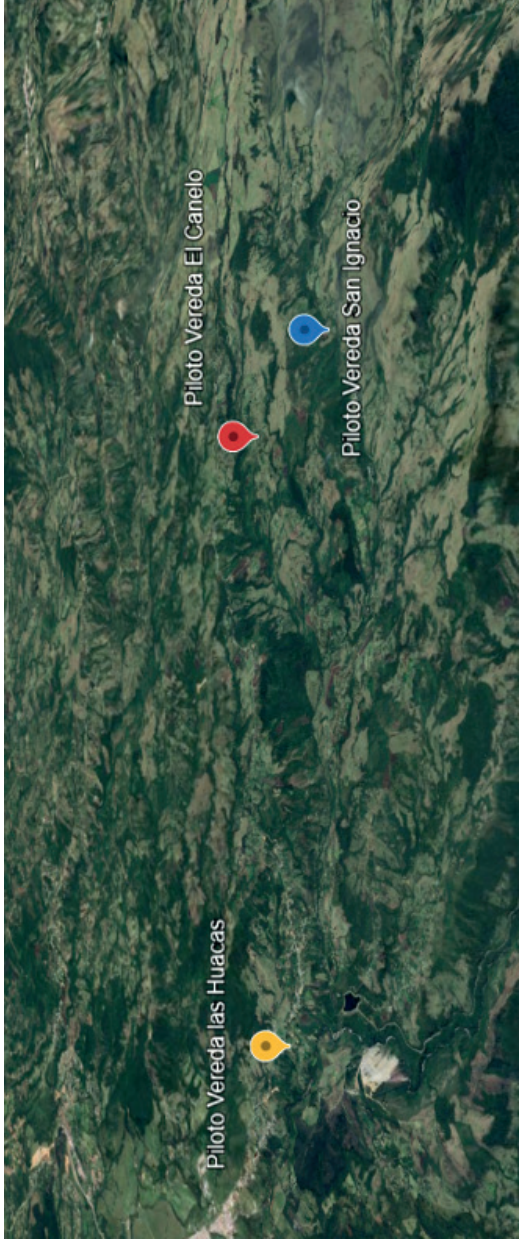
Gráfico 3. Priorización en el municipio de Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Descripción de predios priorizados

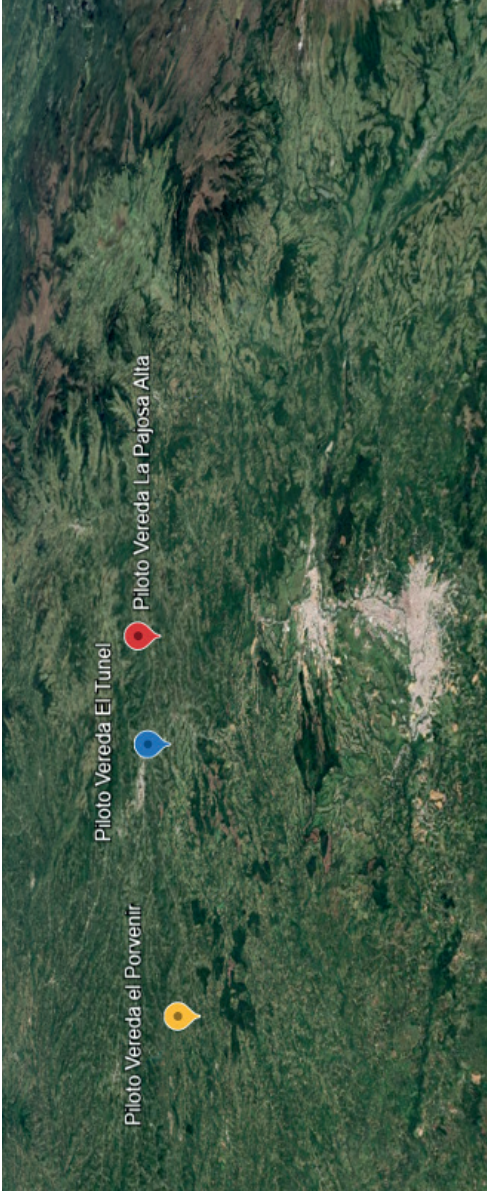
Municipio de Puracé						
Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción	
C/Hidropónico	Vereda El Molino	2°14'53"N 76°31'29"W	Claudia Fabiola Collazos	ASCEMOL	<p>Núcleo familiar de 3 personas. Es una mujer rural de vocación agrícola en los cultivos de papa fresca, maíz y hortalizas. Con amplio conocimiento en la implementación de huertas caseras. Socia fundadora de la Asociación Comunitaria El Molino-ASCEMOL, donde se desempeña como dinamizadora en el grupo productivo. Se distingue por ser responsable y comprometida con su territorio.</p>	
D/Acuapónico	Vereda El Molino	2°14'47"N 76°31'27"W	Yicel Daniela Velasco	ASCEMOL	<p>Núcleo familiar de 3 personas. Joven asociada a la Asociación Comunitaria El Molino-ASCEMOL. Es una líder comunera defensora de la autonomía de los pueblos ancestrales, en concordancia con los planes de vida del resguardo indígena de Paletará. Dentro de su defensa está fomentar la conservación los ecosistemas para garantizar la pervivencia de las nuevas generaciones, además, de trabajar por las semillas autóctonas de cultivos de pan coger del territorio.</p>	
L/Hidropónico	Vereda el Molino	2°14'47"N 76°31'23"W	Ingrid Paola Narváez	ASCEMOL	<p>Mujer indígena productora agropecuaria dedicada a la ganadería de leche, cultivos de papa y fresa, esta actividad económica le permite sostener a su núcleo familiar que consta de cuatro personas. Fundadora de la Asociación Comunitaria El Molino-ASCEMOL. Amplia experiencia en labores culturales agrícolas fortaleciendo la soberanía alimentaria y la sostenibilidad de los recursos naturales presentes en la zona.</p>	

Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción
Ubicación de los pilotos	 <p data-bbox="770 1061 812 1503">Mapa 1. Ubicación pilotos municipio de Puracé Fuente: elaboración propia.</p>				


Municipio de Popayán						
Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción	
E/Hidropónico	Vereda el Canelo	2°27'10"N 76°27'57"W	Adriana María Mariaca Gurrute	Cabildo Indígena de Quintana	<p>Madre de familia representante del Cabildo Indígena de Quintana, se ha desempeñado como Presidenta, Secretaria, Tesorera y Gobernadora. Ha trabajado en los programas locales de educación ambiental. Actualmente es la Presidenta del Consejo Directivo de la Institución Educativa Resguardo Indígena de Quintana. Se dedica a la ganadería como su principal sustento y a la huerta familiar, cultivando cebolla, cilantro, aromáticas, y mora. También se dedica a la crianza de gallinas, conejos, cuyes y cabras, todo en pro de garantizar la soberanía alimentaria de su territorio. Vive con su hijo de 18 y su nieto de 8 años, quienes son aprendices, y comparten las tareas productivas del hogar y el conocimiento del cuidado del medio ambiente, para garantizar la sostenibilidad.</p>	
I/Hidropónico	Vereda Huacas	2°27'11"N 76°31'33"W	Diana Melisa Cano Montes	ASOCAMPO	<p>Se incorporó a la asociación ASOCAMPO hace 4 años y ha participado activamente en los procesos comunitarios de capacitación y construcción de territorio. Su núcleo familiar es de cuatro personas, quienes han iniciando labores productivas en su predio, destinando un área a la recuperación y siembra de especies arbóreas endémicas. También crearon un semillero de arboles frutales, plantando diferentes especies para garantizar la soberanía alimentaria de su hogar. Adicionalmente está incursionando en la crianza de pollos campesinos.</p>	
N/Acuapónico	Vereda San Ignacio	2°26'27"N 76°27'35"W	Eduardo Dueñas	ASOCAMPO	<p>Fundador de la Asociación Campesina Municipio de Popayán Red Reservas Naturales ASOCAMPO (2001); es un líder comunitario innato y responsable, entregado a su comunidad campesina para construir mejores oportunidades, pensando en la sostenibilidad y conservación de los recursos naturales vitales para la vida. Dedicado a las actividades de ganadería para la producción de leche y quesos; producción de trucha y pesca deportiva; producción y venta de plantas ornamentales. Su núcleo familiar conformado por varios miembros y generaciones permite un trabajo grupal y de transferencia de conocimiento que garantizan la perdurabilidad de los procesos productivos con responsabilidad ambiental.</p>	

Predio/ Píloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción
Ubicación de los pilotos	 <p data-bbox="799 1051 847 1503">Mapa 2. Ubicación pilotos municipio de Popayán Fuente: elaboración propia.</p>				

Municipio de Cajibío						
Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción	
M/Acuapónico	Vereda El Túnel	2°36'07"N 76°32'08"W	Darío Grimaldo Hurtado	ASOASPRO- IECA	<p>Presidente de la Junta Directiva de la Asociación de lecheros de Cajibío ASOASPROIECA, productor importante del sector lechero y sus derivados. Líder preocupado por el medio ambiente, interesado en el aprovechamiento de subproductos para transformarlos en abonos orgánicos sólidos y líquidos. Lidera proyectos agrosilvopastoriles, buscando minimizar los impactos de la actividad lechera con responsabilidad socioambiental. Manifiesta interés de integrar una solución energética limpia (sistema fotovoltaico) con el piloto instalado.</p>	
O/Hidropónico	Vereda Pajosa Alta	2°34'34"N 76°29'30"W	John Jairo Camayo Sánchez	JAC Pajosa Alta	<p>Líder Comunitario que junto a su familia son dinamizadores de procesos. Esto se ve reflejado en la participación de cada integrante, sus niños siempre manifiestan interés en aprender de las actividades que se realizan en su finca, reconociendo el valor del trabajo familiar. Muy proactivo dentro de las actividades que se proponen en la Vereda Pajosa Alta, siendo el proponente de iniciativas que han beneficiado a los habitantes de esta comunidad. Adicionalmente, ha trabajado en la conservación de semillas.</p>	
R/Hidropónico	Vereda el Porvenir	2°39'10"N 76°39'02"W	William Caldono Zúñiga	JAC del Porvenir	<p>Líder comunitario, dinamizador y activo. Es cabeza de familia y recibe el apoyo de los integrantes en cada actividad de su unidad productiva. De vocación agrícola, los principales cultivos son el café, el plátano, la yuca y cultivos transitorios como frijol y maíz. Como precedente implementó una "biofábrica" (aprovechamiento de subproductos de cosecha para transformarlos en abonos orgánicos). En su finca promueve el uso eficiente de los recursos, buscando minimizar los impactos al medio ambiente, conservar los recursos naturales, producir alimentos saludables y generar ingresos económicos para su familia.</p>	

Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción
Ubicación de los pilotos					

Mapa 3. Ubicación pilotos municipio de Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

Municipio de Silvia						
Predio/ Piloto	Ubicación	Coord.	Responsable	Asociación	Descripción	
Hidropónico	Vereda Santa Clara	2°35'13"N 76°21'15"W	Manuel Tombe	Cabildo Indígena de Guambia	Líder de la zona, con experiencia en el cultivo de la fresa y arándano, con la expectativa de aprovechar el sistema produciendo "comida limpia" para su familia.	
Hidropónico	Vereda Santa Clara	2°35'14"N 76°21'14"W	Gladys Morales	Cabildo Indígena de Guambia	Madre cabeza de familia que habita con su hijo que tiene diversidad funcional, y con dos mayores. Con esta iniciativa se busca mejorar las oportunidades y diversidad nutricional para esta familia	
Acuapónico	Vereda Santa Clara	2°35'16"N 76°21'11"W	Ricardo Velasco Yalanda	Cabildo Indígena de Guambia	Presidente de la JAC, líder MISAK reconocido por su trayectoria en el trabajo comunitario, cuenta con experiencia en cultivos de fresa y trucha en la zona. De esta manera, se busca aprovechar la disponibilidad y conocimiento previo para realizar ensayos de cultivo de fresa en el sistema instalado	
 <p>Mapa 4. Ubicación pilotos municipio de Silvia Fuente: elaboración propia.</p>						
Ubicación de los pilotos						

Nota: La descripción corresponde a una entrevista abierta realizada a cada beneficiario.  
Fuente: elaboración propia.

## *Diseño de los agrosistemas*

### *Diseño arquitectónico del sistema hidropónico*

La instalación del sistema inicia con el cerramiento del área establecida. El operador del servicio, Acuaponía Digital –*spin off* de la Fundación Universitaria de Popayán–, explicó a los beneficiarios el diseño, las medidas y las disposiciones de la estructura (figuras 1, 2 e Imagen 1). Este boceto es el resultado de un proceso de socialización y cocreación con las comunidades beneficiarias de los pilotos.

Posteriormente, la comunidad, con la orientación del experto, procedió a la construcción del invernadero de una sola caída de agua, con un área de 14 m<sup>2</sup>. Primero, se instaló el armazón en guadua o madera, según la disponibilidad en cada zona, con las siguientes especificaciones:

- Tres postes de 3 m de largo, enterrados a 30 cm, dejando una altura final de 2,70 m en la parte más alta.
- Tres postes de 2,50 m de largo, enterrados a 30 cm, dejando una altura final de 2,20 m en la parte más baja.
- Tres postes de 4 m de largo para soporte del techo, con 50 cm de alero a cada lado.
- Dos postes de 2,75 m de largo, enterrados 50 cm, dejando una altura final de 2,25 m en la parte media.

Luego, se colocó en el techo tipo israelí un plástico coextruido estabilizado con HALS –*hindered amine light stabilizers*– y antioxidante, que contiene inhibidores UV, los cuales brindan alta resistencia a la degradación por radiación solar. Este material permite una difusión uniforme de la luz solar, la cual elimina sombras y asegura un reparto lumínico homogéneo en todo el invernadero.

Para cerrar las paredes laterales se utilizó malla antitrips, que ofrece alta resistencia al manejo y radiación solar, protección contra insectos y ventilación adecuada, manteniendo temperatura y ambiente óptimos para la producción de hortalizas. Posteriormente, se cubrió el suelo con lona blanca, que funciona como reflector de luz solar, acelera los procesos de fotosíntesis y ayuda a mantener la temperatura interna.

Con esta detallada selección de materiales y diseño, se garantiza la protección del cultivo y un mayor rendimiento, especialmente útil para cultivos de ciclos cortos como lechuga cresspa verde y morada, cebollín, albahaca, entre otras hortalizas.

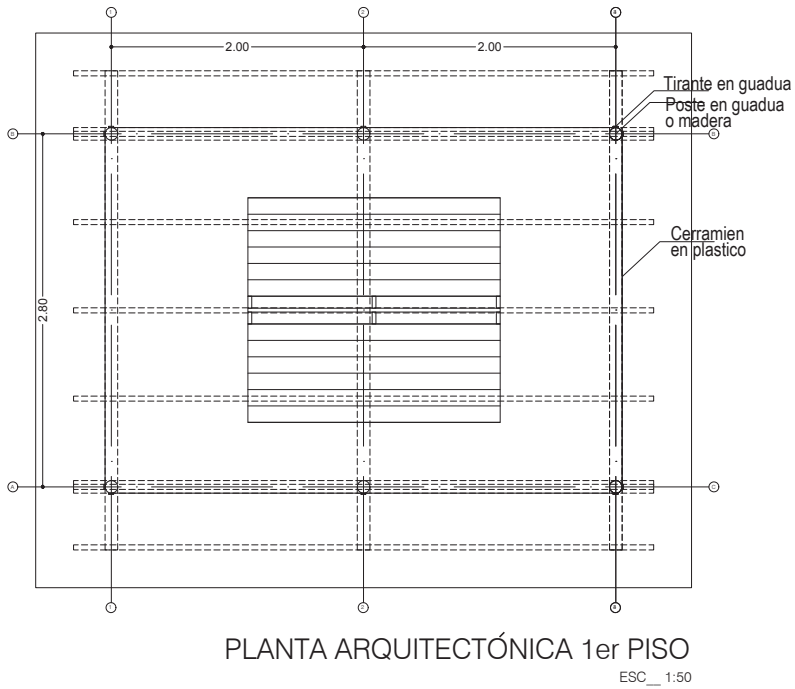


Figura 1. Plano de la vista superior del sistema hidropónico NFT piramidal  
Fuente: elaboración propia.

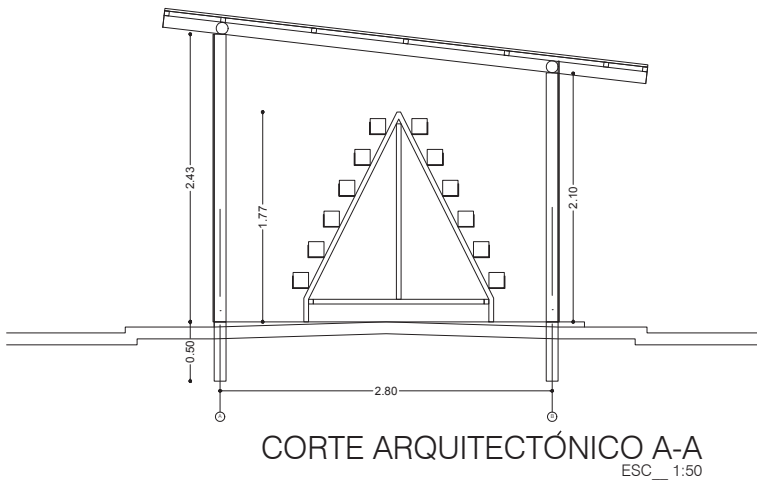


Figura 2. Plano de la vista lateral del sistema hidropónico NFT piramidal  
Fuente: elaboración propia.



Imagen 1. Diseño 3D del piloto hidropónico NFT piramidal  
Fuente: elaboración propia.

### *Diseño arquitectónico del sistema acuapónico*

Las técnicas específicas –medidas y materiales– para la construcción de la estructura general del sistema acuapónico son exactamente las mismas que se indicaron para el sistema hidropónico. La única diferencia radica en la distribución interna, ya que en este nuevo sistema se debe disponer de un espacio para la instalación del

área de peces. El diseño, las medidas y las disposiciones del sistema acuapónico se observan en las figuras 3 y 4, y en la Imagen 2

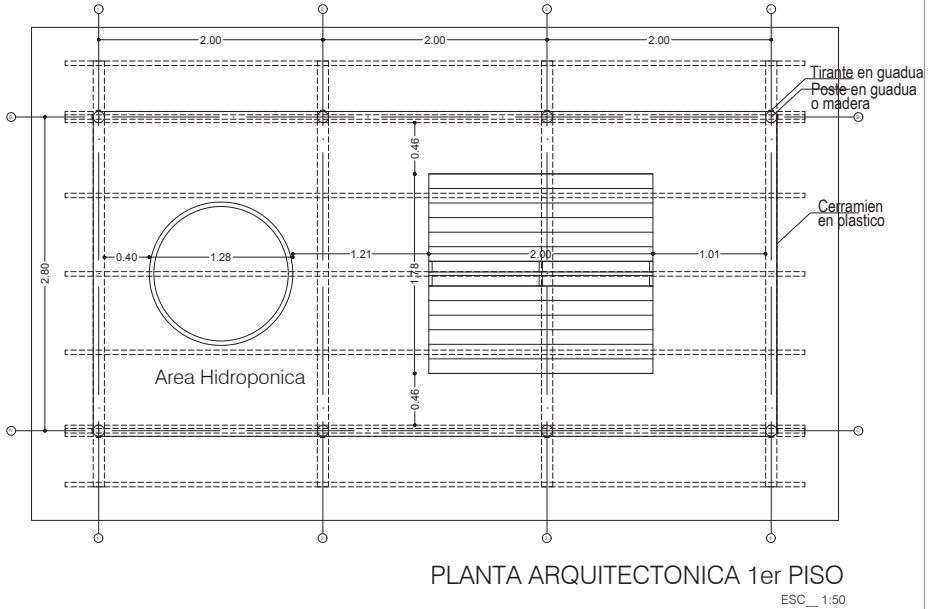


Figura 3. Plano de la vista superior del sistema acuapónico  
Fuente: elaboración propia.

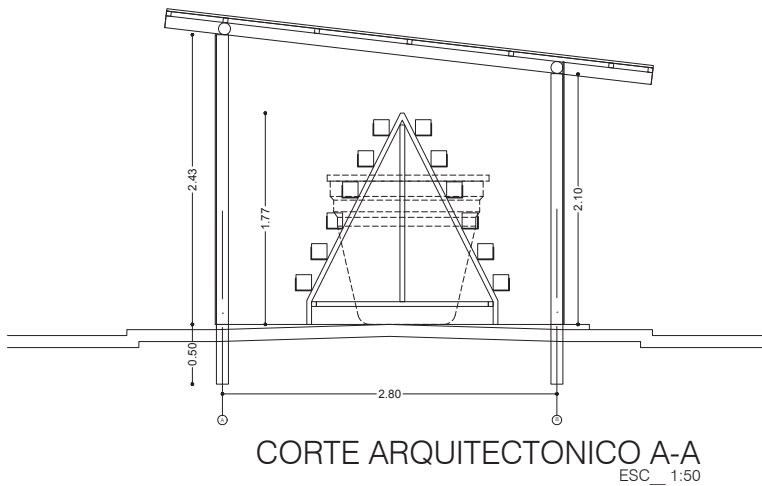


Figura 4. Plano de la vista lateral del sistema acuapónico  
Fuente: elaboración propia.



Imagen 2. Diseño 3D del piloto acuapónico  
Fuente: elaboración propia.

## Resultados y discusión

### *Descripción del sistema hidropónico*

En el marco del proyecto 'Bioeconomía' se priorizó el diseño de un sistema hidropónico piramidal NFT (Figura 5), que: 1) por su forma, optimiza el uso del espacio y se puede aprovechar eficientemente su área vertical, 2) el principio de flujo laminar enriquecido con nutrientes esenciales para el crecimiento requiere un bajo volumen de agua y 3) la circulación por gravedad asegura que todas las raíces reciban una distribución uniforme de los nutrientes por todas las camas de siembra.

Este piloto se compone de una estructura metálica en forma de pirámide, con dimensiones de 1,80 m de alto × 2 m de ancho × 2 m de largo, para un área de 3,6 m<sup>2</sup>. Cuenta con tres soportes metálicos desarmables, unidos por dos tubos metálicos que dan firmeza y seis patas ajustables que nivelan la pirámide, que forman una pendiente del 5 %, lo que facilita el recorrido de la solución nutritiva. Las pirámides tienen un acabado en pintura al horno de color blanco.

Sobre esta estructura se ensamblan seis canales de PVC alimentario por cada lado, con una longitud de 2 m, separados entre sí por 30 cm. Cada canal está perforado con trece orificios de 1,5" espaciados cada 15 cm, lo que permite la siembra de 156 plántulas en total, dispuestas en canastillas plásticas. El tiempo de vida de las canastillas es de aproximadamente un año –ocho cosechas–.

En cada extremo del canal se ensambla un tapón cuadrado de caucho curado de 16 mm, con una perforación de 5 mm para el ingreso de una boquilla, la cual conecta a una manguera de 5 mm de diámetro, encargada de distribuir la sustancia nutritiva. El primer canal, ubicado en la parte superior de la pirámide, recibe la solución nutritiva desde un tanque de depósito de 70 L, impulsado por una bomba sumergible de 40 W con un caudal de 1800 L/h, que asegura la distribución continua y eficiente de nutrientes. La bomba se encuentra dentro de una media velada que permite la filtración del agua, eliminando el ingreso de impurezas que puedan saturar o averiar la bomba. Luego, la solución recorre los canales de la pirámide hasta llegar al último canal, que posee una manguera de salida de 5 mm, la cual devuelve la solución al depósito. De esta manera, se completa la circulación en cada ciclo cerrado.

El sistema también cuenta con un temporizador, encargado de automatizar los ciclos de riego de la siguiente manera: a las seis de la mañana, el dispositivo activa la bomba para hacer circular la sustancia nutritiva por los canales durante quince minutos, seguido de un descanso de cuarenta y cinco minutos. Este ciclo se repite hasta el mediodía. Posteriormente, el sistema descansa durante dos horas y reinicia los ciclos hasta las seis de la tarde, hora en la que finaliza su funcionamiento diario.

Una de las grandes ventajas de este sistema es su fácil implementación y mantenimiento por parte de los beneficiarios. La automatización del riego facilita el trabajo en la ruralidad, dedicando menos tiempo a esta actividad agrícola, pero garantizando una producción sana y a corto plazo. La eficiencia del sistema, gracias al flujo continuo de la sustancia nutritiva, evita la acumulación de agua estancada, minimiza el riesgo de formación de patógenos y previene la pudrición de las raíces. Adicionalmente, este diseño optimiza el uso de recursos como agua y energía, al tiempo que promueve una producción agrícola más limpia, eficiente y sostenible.

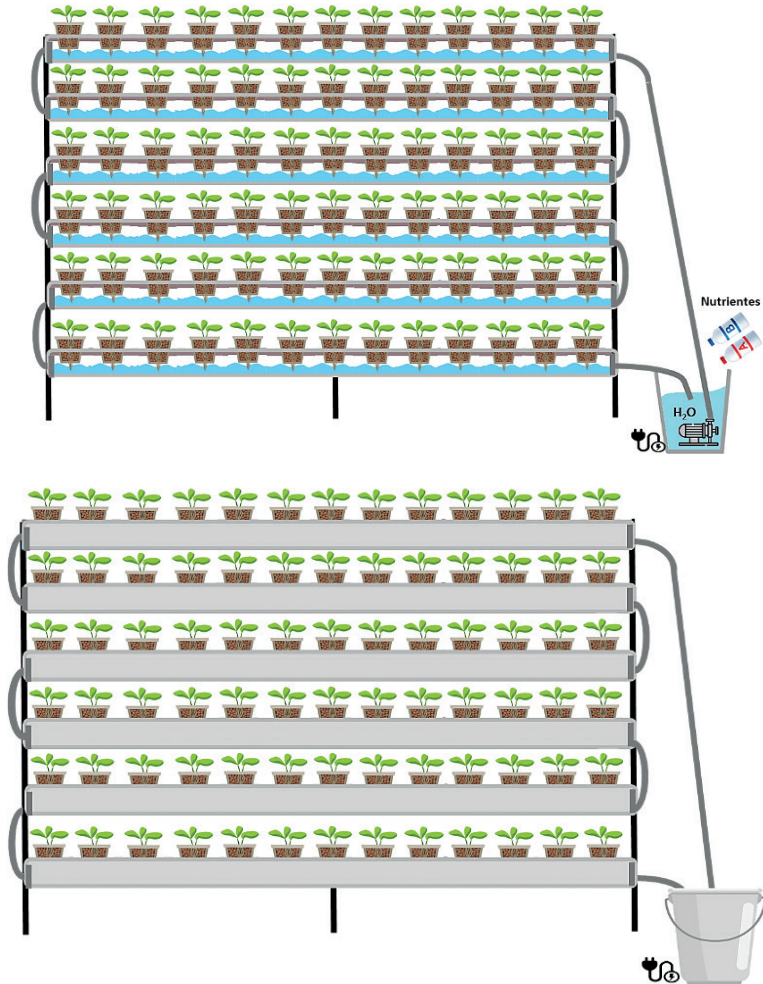


Figura 5. Vista frontal de la estructura y el funcionamiento de siembra en un sistema hidropónico  
Fuente: elaboración propia.

### *Descripción del sistema acuapónico*

La acuaponía es una técnica de producción que combina la acuicultura –crianza de peces– con la hidroponía (Figura 6), creando así un ecosistema cerrado simbiótico en el que: 1) las plantas se benefician de los peces al aprovechar sus residuos como nutrientes para su desarrollo y 2) los peces se benefician de las plantas, ya que estas realizan procesos de nitrificación que purifican el agua, lo que reduce la toxicidad del medio que recircula de vuelta al tanque de peces. Esta sinergia no solo optimiza el uso del recurso hídrico y del espacio, sino que también promueve una producción más diversa y sostenible, tanto ambiental como económicamente.

En el sistema acuapónico, el subsistema acuícola se compone de un primer tanque de 500 L lleno de agua, donde se depositan entre 80 y 120 alevinos, ya sea de tilapia –*Oreochromis niloticus*– o de trucha –*Oncorhynchus mykiss*–. Su selección depende de la temperatura del agua y otras condiciones ambientales de cada zona. En este tanque también se dispone de un aireador de diafragma, encargado de la oxigenación de los peces, acompañado de seis metros de manguera de jardinería, dos minillaves de paso, dos racores plásticos –uniones–, una T en polietileno, diez abrazaderas metálicas y dos parrillas difusoras tipo trébol, compuestas por una manguera difusora y un conector estrella, ensambladas para asegurar una correcta entrada y salida de agua al tanque.

Adicionalmente, este tanque cuenta con una caída de agua por gravedad hacia un segundo tanque de 30 L –filtro mecánico–, que contiene grava, guata y polisombra, donde se captan las partículas pequeñas de residuos para que no pasen al tercer tanque, que contiene la bomba de distribución de agua y evita obstrucciones.

Este último tanque se conoce como biofiltro –70 L–, en el cual se depositan agua y microorganismos –insumo Bacteco–. Por medio de una combinación eficiente de *Bacillus*, *Lactobacillus* y levaduras, seleccionados por su capacidad biocontroladora, bioremediadora y probiótica, se favorece la degradación de materia orgánica, se controlan los niveles de amonio y nitritos y se inhibe la aparición de organismos patógenos, lo que mejora notablemente la calidad del agua en el sistema. Para proporcionar un sustrato donde los microorganismos puedan adherirse y reproducirse, se incorporan tapas plásticas recicladas. La bomba sumergible de distribución de agua cumple con la función de riego hacia el subsistema hidropónico, que tiene las mismas especificaciones explicadas previamente, pero eliminando la suplementación con nutrientes, ya que estos son aportados por los residuos de los peces.

Cada responsable del piloto acuapónico recibió un kit multiparámetros de agua dulce para el análisis de pH, amonio total, nitrito y nitrato, que incluye cuatro tubos de ensayo, siete botellas con reactivos, un instructivo y su caja de almacenamiento,

con capacidad para más de ochocientas pruebas. También se brindó capacitación en el manejo y monitoreo semanal de variables para garantizar el buen funcionamiento del sistema y la salud tanto de los peces como de las plantas.

A manera de síntesis, los filtros remueven los desechos de los peces en el agua: primero, el filtro mecánico retira los residuos sólidos. Posteriormente, el biofiltro procesa los desechos disueltos mediante bacterias que convierten el amoníaco –tóxico para los peces– en nitratos –nutrientes accesibles para las plantas–, proceso conocido como nitrificación. El agua con los nutrientes es impulsada por la bomba hacia los canales donde están sembradas las plantas. Estas asimilan los nutrientes y, finalmente, el agua regresa al tanque de peces purificada. Este ciclo cerrado permite que peces, plantas y bacterias vivan simbióticamente.

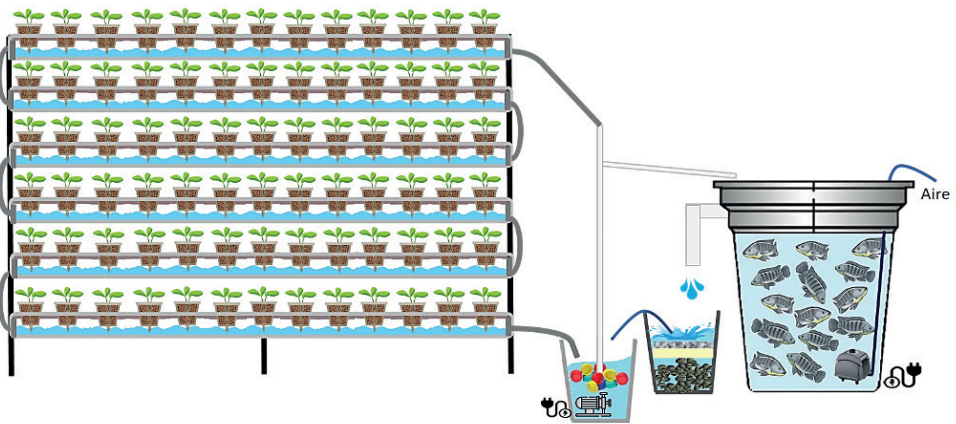


Figura 6. Vista frontal de la estructura y el funcionamiento de siembra en un sistema acuapónico  
Fuente: elaboración propia.

### *Modelado de los sistemas*

La producción agropecuaria implica el uso de insumos provenientes de la naturaleza, tales como el suelo, la energía solar, la lluvia, el viento y los recursos fósiles, e insumos provenientes del capital económico –creado por el hombre–, como fertilizantes, semillas, mano de obra, servicios, infraestructura, maquinaria y equipos, entre otros (Méndez *et al.* 2022). Desde esta perspectiva, los sistemas hidropónicos y acuapónicos son una apuesta interesante, ya que buscan: 1) integrar más los recursos renovables y locales; 2) usar menos productos químicos –al no requerir control de plagas, uso de herbicidas ni aplicación intensiva de fertilizantes al suelo–; 3) aplicar principios de circularidad en sus procesos, y 4) ser más económicos en insumos y menos contaminantes. Todo esto conduce a

una gestión más eficiente de los recursos, al aprovechar de manera sostenible el funcionamiento de los ecosistemas –principio de la bioeconomía–.

El método de *emergy analysis* se utiliza para evaluar los recursos energéticos y los impactos ambientales asociados con un sistema (Odum 1996), cuantificando todas las formas de energía necesarias, tanto directa como indirectamente, para producir un producto o servicio. Se cuantifica en julios de energía solar –seJ–. Los flujos de energía se pueden clasificar en tres tipos: 1) R, que representa los recursos naturales renovables; 2) N, que significa recursos naturales no renovables, y 3) F, que se refiere a los insumos de la economía obtenidos a través de transacciones de mercado y asociados con flujos económicos (Brown y Ulgiati 2004). De esta manera, esta herramienta permite modelar todas las interacciones –flujos energéticos– presentes en los sistemas hidropónicos y acuapónicos.

En las figuras 7 y 8 se presentan los diagramas del sistema hidropónico y acuapónico, siguiendo la simbología propuesta por Odum (1996).

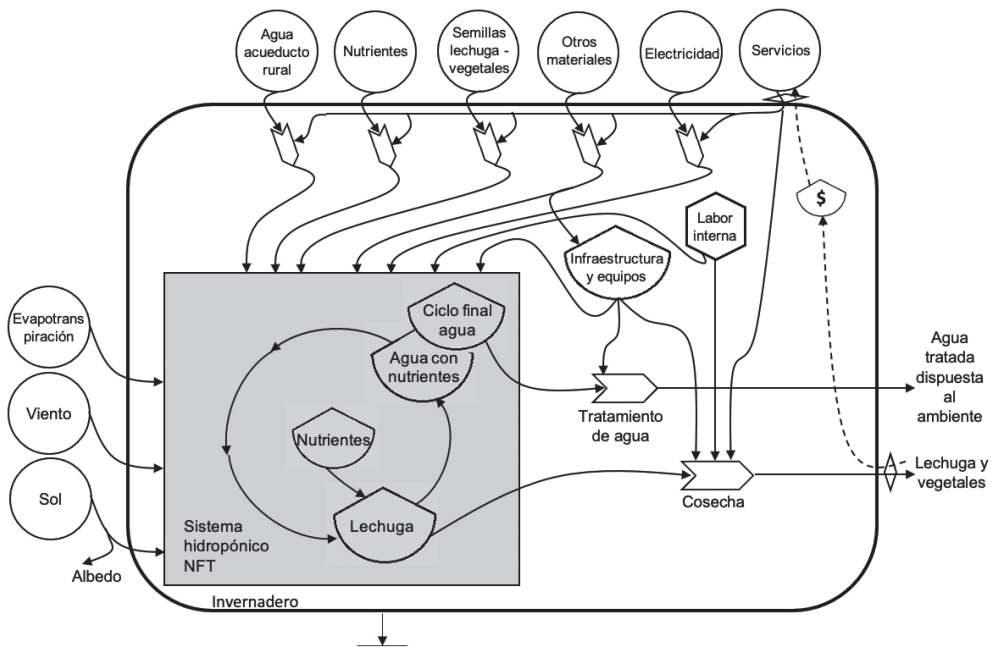


Figura 7. Diagrama de los flujos de energía del sistema hidropónico –simbología Odum–  
Fuente: elaboración propia.

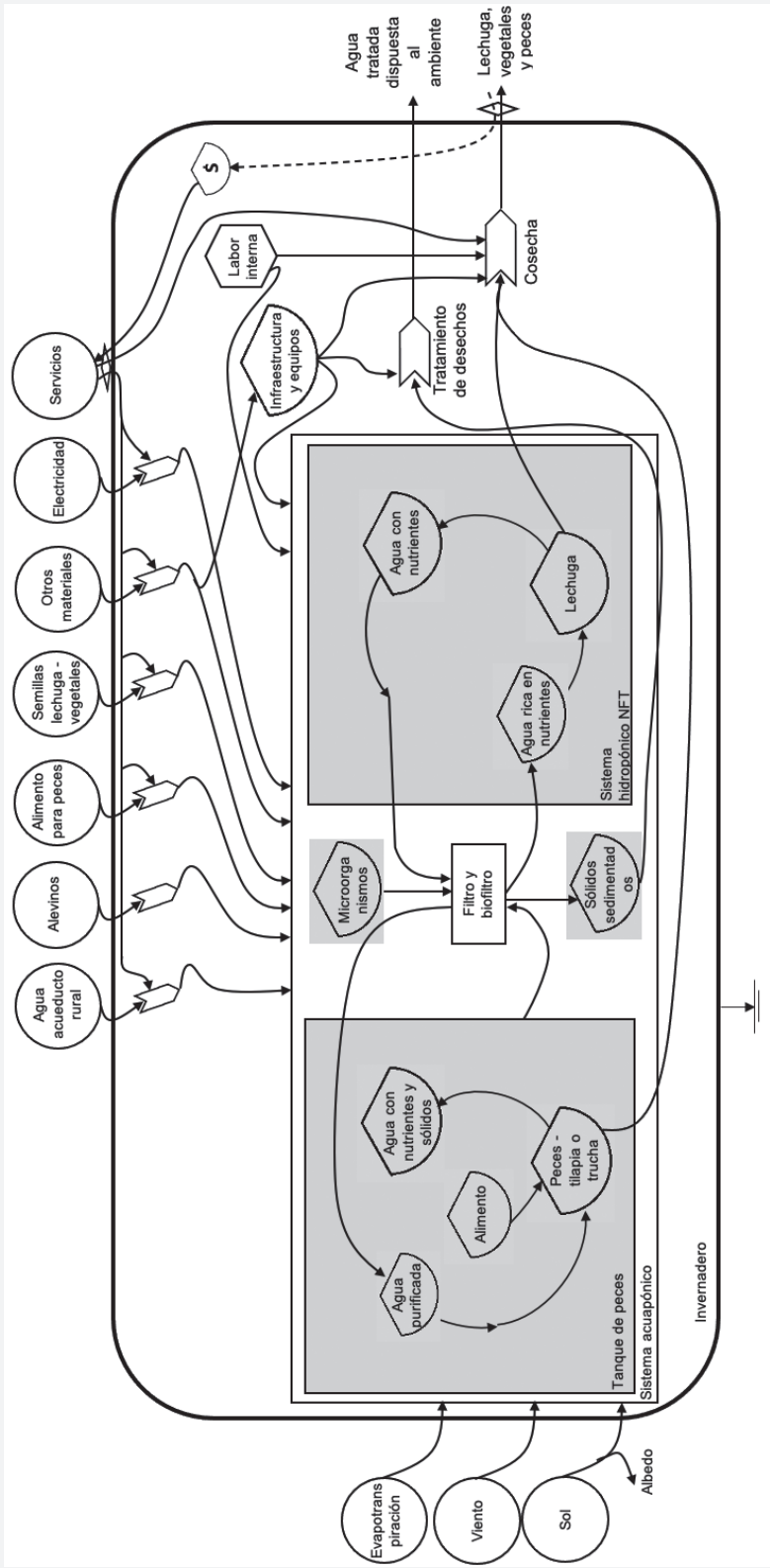


Figura 8. Diagrama de los flujos de energía del sistema acuapónico –simbología Odum–  
Fuente: elaboración propia.

### *Implementación de los agrosistemas*


A continuación, se muestran los resultados de implementación y puesta en marcha de los pilotos hidropónicos y acuapónicos transferidos a los doce beneficiarios seleccionados, distribuidos de la siguiente manera: dos sistemas hidropónicos y uno acuapónico por municipio (Tabla 4).

Los principios de los sistemas acuapónicos e hidropónicos se acoplaron satisfactoriamente con el pensamiento y la construcción de territorio de las comunidades impactadas, quienes, a través de estas prácticas innovadoras, lograron articular sus necesidades sociales, económicas y ambientales. Estos sistemas, al estar basados en ciclos cerrados de cultivo que optimizan el uso de recursos hídricos y nutrientes, no solo responden a la producción sostenible de alimentos, sino que también fomentan una relación más armónica con los servicios ecosistémicos que sustentan sus medios de vida.

Para realizar el proceso de transferencia tecnológica y apropiación de estos agrosistemas, fue muy importante la intención de participación de las comunidades, quienes, a través de jornadas de diplomado –teórico-prácticas–, formación, capacitación y aprendizaje bidireccional, hicieron posible la coconstrucción de conocimiento que llevó al desarrollo e implementación de los pilotos en el territorio, al tiempo que garantizaron su sostenibilidad y posibilidad de replicación en el tiempo.

Las comunidades seleccionaron para cada piloto una variedad de semillas según su interés y necesidades, mediante la optimización del espacio y la diversificación del cultivo y la combinación de la lechuga crespa verde y morada, rúgula, cebollín, albahaca, acelga roja y amarilla, tomate chonto y repollo, elegidas por su óptimo crecimiento en este tipo de sistema hidropónico. A nivel del subsistema acuícola, escogieron alevinos de trucha o tilapia para su desarrollo, considerando las variables ambientales de cada zona para garantizar las condiciones más favorables para estas especies.

Tabla 4. Evidencia de la implementación de los agrosistemas en Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia

PURACÉ		Evidencia fotográfica
Piloto/ Lugar	Responsable	
Hidropónico Vereda el Molino	Claudia Fabiola Collazos	


<p>Acuapónico Vereda el Molino</p>	<p>Yicel Daniela Velasco</p>	
<p>Hidropónico Vereda el Molino</p>	<p>Ingrid Paola Narváez</p>	



Fotografía 1. Fotocomposición evidencia Puracé  
Fuente: elaboración propia.

<p>POPAYÁN</p>	
<p>Piloto/ Lugar</p>	<p>Hidropónico Vereda el Canelo</p>
<p>Responsable</p>	<p>Adriana María Mariaca Gurrute</p>
<p>Evidencia Fotográfica</p>	

<p>Hidropónico Vereda Huacas</p>	<p>Diana Melisa Cano Montes</p>	
<p>Acuapónico Vereda San Ignacio</p>	<p>Eduardo Dueñas</p>	

Fotografía 2. Fotocomposición evidencia Popayán  
Fuente: elaboración propia.

CAJIBÍO		
Piloto/Lugar	Responsable	Evidencia fotográfica
Acuapónico Vereda El Túnel	Darío Grimaldo Hurtado	

<p>Hidropónico Vereda Pajosa Alta</p>	<p>John Jairo Camayo Sánchez</p>	
<p>Hidropónico Vereda el Porvenir</p>	<p>William Caldono Zúñiga</p>	

Fotografía 3. Fotocomposición evidencia Cajibío  
Fuente: elaboración propia.

SILVIA		
Ploto/Lugar	Responsable	Evidencia fotográfica
Hidropónico Vereda Santa Clara	Gladys Morales	

<p>Acuapónico Vereda Santa Clara</p>	<p>Ricardo Velasco Yalanda</p>	
<p>Hidropónico Vereda santa Clara</p>	<p>Manuel Tombe</p>	

Fotografía 4. Fotocomposición evidencia Silvia Fuente: elaboración propia.

Fuente: elaboración propia, proyecto Bioeconomía.

## Conclusiones

Los sistemas acuapónicos e hidropónicos emergen como soluciones innovadoras, que no solo promueven la seguridad alimentaria, sino que también fomentan la reactivación social y productiva de las comunidades rurales. Estos agrosistemas no requieren fertilizantes ni pesticidas químicos y son muy eficientes en el uso de recursos, principalmente el agua. Esto contribuye a la conservación y gestión sostenible de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, los cuales juegan un papel crucial en la mitigación y adaptación al cambio climático. Adicionalmente, estos sistemas proporcionan alimentos frescos y nutritivos que mejoran la dieta y calidad de vida de las personas.

La sostenibilidad de estos agrosistemas considera la dimensión económica, ambiental y social. En primer lugar, estos sistemas requieren una inversión inicial –asumida, en este caso, por el proyecto–, pero, luego, el mantenimiento demanda bajos costos en relación con los rendimientos de vegetales y peces, lo cual genera ingresos adicionales para la familia. Con respecto a la dimensión ambiental, los beneficios son múltiples, desde la disminución de la huella ecológica en comparación con sistemas agropecuarios tradicionales –ya que usan eficientemente el agua y no utilizan químicos–, hasta la reducción de la presión causada por las actividades antrópicas sobre los ecosistemas naturales y la bioseguridad de las familias. Por último, en relación con la dimensión social, estos agrosistemas pueden ofrecer mejoras en las condiciones de calidad de vida, diversificando los productos y obteniendo una dieta equilibrada, además de cultivar productos que son culturalmente “propios” para las comunidades.

En el marco del proyecto ‘Bioeconomía’, se desarrolló un diplomado como estrategia de democratización del conocimiento científico y tecnológico, y en uno de sus módulos se concertaron estas dos ecotecnologías –hidroponía y acuaponía– con las comunidades priorizadas. Este estudio presentó el proceso de implementación de doce agrosistemas en los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia –ocho hidropónicos y cuatro acuapónicos–. Inicialmente, se realizó un análisis multicriterio considerando aspectos socioambientales y productivos para la selección de los tres beneficiarios en cada municipio, se hizo una caracterización general de cada predio seleccionado y se mostró el diseño arquitectónico de los pilotos. Posteriormente, se enseñaron las especificaciones técnicas de los sistemas y se realizó un modelado –usando la simbología de Odum–, que permitió analizar los flujos energéticos que interactúan en los agrosistemas. Finalmente, se presentó la evidencia de la construcción, siembra y primeras cosechas de cada uno de los sistemas.

Se debe destacar el trabajo colaborativo entre los investigadores del proyecto y las comunidades campesinas e indígenas, quienes, a través de talleres, capacitaciones e intercambio de saberes, fomentaron la revalorización del conocimiento local y el empoderamiento de las personas por su territorio. Sumado a ello, este tipo

de trabajo participativo refuerza la cohesión social y el sentido de comunidad, al tiempo que fortalece las capacidades técnicas y asociativas de los productores, brindándoles posibilidades de diversificar sus productos y reducir la presión sobre los ecosistemas naturales que los rodean. Todo esto beneficiará a las comunidades en aspectos organizacionales, productivo-económicos, socioambientales y de seguridad alimentaria, lo cual permitirá potenciar una estructuración y dinamización sociocultural para una mejor gobernanza de sus territorios.

Adicionalmente, se planteó un modelo emergético con el objetivo de representar los flujos de energía que intervienen en estos dos agrosistemas y evidenciar que hay una recirculación de materia y energía –agua y nutrientes principalmente–. Esto permite concluir que los desperdicios y la disipación de energía en posibles contaminantes son mínimos, es decir que estos sistemas aplican principios de circularidad y bioeconomía que benefician el medioambiente.

Esta investigación proporciona un modelo replicable para próximas iniciativas en contextos rurales, especialmente en el departamento del Cauca. Para el futuro, en el caso de los sistemas hidropónicos, es necesario que las comunidades puedan generar su propio banco de semillas –aunque muchas familias ya tienen algunos avances, no son totalmente soberanas e independientes–. Por su parte, para los sistemas acuapónicos será muy importante abandonar la dependencia de alimentos procesados para los peces y encontrar otras alternativas locales más sostenibles, como la crianza de larvas de mosca soldado negra, de tenebrios o de microgusanos, entre otras opciones.

## Referencias

- Becerra, Durley; Claudia Acosta y Javier Leyton  
2023 Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*. 20 (1): 1. doi: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.10054> (Acceso: 11/11/2024).
- Brown, Mark y Sergio Ulgiati  
2004 Energy quality, emergy and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*. 178 (1-2): 201-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002> (Acceso: 11/11/2024).
- Çakmakçı, Ramzan; Mehmet Salık y Songül Çakmakçı  
2023 Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*. 13 (5): 1073. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073> (Acceso: 11/12/2024).
- Clark, Michael y David Tilman  
2017 Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency and food choice.

- Environmental Research Letters*. 12 (6): 064016. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5> (Acceso: 11/11/2024).
- FAO *et al.*  
 2024 *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024: Financiación para acabar con el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición en todas sus formas*. Roma: FAO.
- Kannan, M. *et al.*  
 2022 Hydroponic farming: A state of art for the future agriculture. *Materials Today: Proceedings*. 68: 2163-2166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.416> (Acceso: 11/11/2024).
- König, Bettina *et al.*  
 2016 On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles*. 2 (1): 26-32. doi: <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v2i1.50> (Acceso: 10/01/2025).
- López, Jaime  
 2019 *Cultivo acuapónico: Guía especializada*. Málaga: Asociación para la Conservación del Medio Marino del Aula del Mar de Málaga, con patrocinio de CIFAL Málaga.
- López, Carlos  
 2024 Acuaponía: Inclusión social y sostenibilidad transformadora. Disponible en: [www.acuaponiasostenible.com/acuaponia-inclusion-social-y-sostenibilidad-transformadora/](http://www.acuaponiasostenible.com/acuaponia-inclusion-social-y-sostenibilidad-transformadora/) (Acceso: 11/11/2024).
- Méndez, Cristian *et al.*  
 2022 A multidisciplinary approach integrating emergy analysis and process modeling for agricultural systems sustainable management-coffee farm validation. *Sustainability*. 14 (14): 8931. doi: <https://doi.org/10.3390/su14148931> (Acceso: 11/11/2024).
- Nair, Chyitra *et al.*  
 2025 Recent advancements in aquaponics with special emphasis on its sustainability. *Journal of the World Aquaculture Society*. 56 (1): 13116. doi: <https://doi.org/10.1111/jwas.13116> (Acceso: 11/11/2024).
- Odum, Howard  
 1996 *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. Minnesota: Wiley.
- Opare Service  
 2007 Strengthening community-based organizations for the challenges of rural development. *Community Development Journal*. 42 (2): 251-264. doi: <https://doi.org/10.1093/cdj/bsl002> (Acceso: 24/12/2024).
- Shahmohamadloo, Rene *et al.*  
 2021 The sustainable agriculture imperative: A perspective on the need for an agrosystem approach to meet the United Nations Sustainable Development Goals by 2030. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 18 (5): 1199-1205. doi: <https://doi.org/10.1002/ieam.4558> (Acceso: 11/11/2024).

Somerville, C. *et al.*

2022 *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas*. Roma: FAO.

Valdéz-Martínez, David; Jorge Soto y Pedro Hernández

2023 Contribución de los sistemas acuapónicos en los objetivos del desarrollo sostenible y su relación con el covid-19. *Ra Ximhai*. 19 (3) 83-103. doi: <https://doi.org/10.35197/rx.19.03.2023.04.dv> (Acceso: 11/11/2024).

Velázquez-Gonzalez, Roberto *et al.*

2022 A review on hydroponics and the technologies associated for medium –and small–scale operations. *Agriculture*. 12 (5): 646. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646> (Acceso: 11/02/2025).

## Conclusiones generales y recomendaciones

Este libro aporta una mirada integral e interdisciplinar sobre la gestión de los servicios ecosistémicos hídricos –SEH– como eje articulador de estrategias para la reactivación social y productiva en contextos vulnerables al cambio climático y a los efectos del covid-19 en los municipios de Puracé, Popayán, Cajibío y Silvia, del departamento del Cauca. El agua, la energía, la alimentación y los ecosistemas son componentes fundamentales para la sostenibilidad, la innovación productiva, la gobernanza y el fortalecimiento bioeconómico de estas regiones. Las experiencias presentadas en esta obra proponen una transición hacia modelos de desarrollo más resilientes, inclusivos y ambientalmente responsables, basados en la interacción entre el conocimiento local-tradicional, la ciencia y la política pública.

Las herramientas conceptuales y metodológicas contenidas en este libro permiten a los actores locales, las comunidades, los tomadores de decisiones, las entidades públicas y los investigadores diseñar e implementar estrategias y acciones clave para fortalecer la gestión participativa de los territorios y el uso sostenible de los SEH. Esto contribuye a la construcción de capacidades sociales y fomenta nuevas economías rurales basadas en el uso sostenible de la biodiversidad y la implementación de lineamientos base para políticas públicas sensibles al territorio.

La transición hacia modelos bioeconómicos diferenciados territorialmente debe reconocer al agua como eje estructurador y articulador del territorio; es decir, no puede gestionarse de manera aislada de sus dimensiones sociales, políticas, culturales y ecológicas. Por esta razón, se plantea la necesidad de un análisis profundo de las interacciones y dinámicas socioecológicas de cada territorio, a través de una visión holística e inclusiva que reconoce la diversidad de conocimientos, ontologías y prácticas existentes en los sistemas rurales. Esta mirada trasciende enfoques tecnocráticos y permite avanzar hacia formas de gestión adaptativas, contextualizadas a las dinámicas de los territorios.

En este marco, el libro propone tres ejes fundamentales para la transformación territorial: la comprensión de las dinámicas socioecológicas vinculadas a los SEH, la formulación de estrategias adaptativas frente a la variabilidad climática y la implementación de cadenas de valor sostenibles vinculadas al agua. Estos tres elementos constituyen pilares clave para estructurar acciones de intervención que respondan a los retos del cambio climático y a la consolidación de economías rurales resilientes.

A lo largo de sus tres secciones, este libro representa una contribución significativa al entendimiento y fortalecimiento de la bioeconomía en contextos rurales. Gracias a ello se logra articular conocimientos técnicos y saberes locales. En la primera parte, se presentó una caracterización socioecológica de las zonas de estudio, mediante el análisis de la relación entre los actores locales, las condiciones biofísicas, las dinámicas sociales y económicas, y el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua rural –SAAR–. Aquí se evidenciaron los retos estructurales relacionados con la gestión del agua, la calidad del suelo y la biodiversidad. Adicionalmente, la propuesta de valoración integral de los SEH aporta datos fundamentales para la toma de decisiones, pero, sobre todo, empodera a las comunidades rurales al reconocer su rol de “custodias del territorio”.

El desarrollo de una estrategia de gestión adaptativa, tal como se plantea en la segunda sección, proyecta escenarios futuros de cambio climático desde una mirada integral territorializada mediante la integración de herramientas de modelación y conocimientos locales. Esta estrategia proporciona mecanismos para la gestión sostenible de los SEH y plantea rutas como, por ejemplo, los pagos por servicios ambientales –PSA– para retribuir el cuidado de los ecosistemas, lo cual genera un impacto directo en el bienestar de las comunidades. Además, se promueve una gobernanza territorial más equitativa, participativa y orientada a la sostenibilidad, al tiempo que se reconoce la importancia de integrar a actores comunitarios, institucionales y productivos en un mismo horizonte estratégico.

Finalmente, en la tercera parte se enseña cómo la investigación aplicada, a través de la implementación de cadenas de valor sostenibles con enfoque de bioeconomía, puede convertirse en una herramienta poderosa para la transformación rural. Los ejercicios de planificación sostenible de fincas, las estrategias organizacionales de los actores en cadenas de valor y la implementación de agrosistemas sostenibles han tenido un impacto positivo directo en la soberanía alimentaria, la generación de ingresos, la gobernanza territorial y la resiliencia socioambiental de las comunidades. Este tipo de investigaciones trasciende el ámbito académico, al fomentar procesos de apropiación social del conocimiento, reforzar la identidad territorial y abrir nuevas oportunidades reales de sostenibilidad para muchas poblaciones rurales que históricamente han estado marginadas.

Desde una mirada reflexiva y crítica, este libro no solo documenta los resultados de un proceso investigativo riguroso, sino que pone en evidencia la profunda necesidad de continuar ejecutando iniciativas dentro de las cuales el conocimiento académico dialogue horizontalmente con los saberes ancestrales, tradicionales y cotidianos de las comunidades rurales. Esta articulación genuina entre investigadores, actores locales, campesinos, afros e indígenas permite construir soluciones contextualizadas, culturalmente pertinentes y sostenibles, capaces de responder a los desafíos que hoy enfrentan los pueblos del Cauca y otras regiones del país. Esto también revela la urgencia de consolidar políticas públicas integrales que respalden estos procesos, con el fin de evitar que sean esfuerzos de corto plazo.

El futuro es claro: debemos seguir sembrando procesos, no solo proyectos. Este trabajo mancomunado entre academia, indígenas y campesinos es solo el inicio de un camino que debe continuar expandiéndose hacia otros territorios donde aún se resiste, se cuida y se honra la vida. Invitamos a las comunidades rurales que participaron y a todo el equipo de investigadores que hizo posible esta experiencia a mantener viva la semilla sembrada, a seguir caminando juntos con la certeza de que el conocimiento compartido transforma realidades. Que esta obra inspire a otros territorios a creer en el poder de sus ríos, de sus suelos, de su gente y a seguir tejiendo redes de esperanza desde la naturaleza, desde la ciencia comprometida y desde la vida misma, porque, solo así, reconociendo el valor propio de la naturaleza y de sus múltiples formas de vida, podremos construir un futuro verdaderamente sostenible, justo y en paz.



## Índice analítico

### A

- agrosistemas sostenibles 9, 17, 171, 185, 213, 214, 215, 252, 261  
áreas estratégicas 8, 35, 101, 103, 154, 186

### B

- biodiversidad 11, 15, 16, 22, 24, 49, 51, 53, 67, 70, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 126, 131, 133, 135, 148, 149, 150, 153, 156, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 171, 173, 184, 188, 205, 207, 251, 252  
bioeconomía 7, 8, 9, 11, 16, 17, 21, 22, 24, 25, 29, 30, 35, 37, 39, 41, 43, 46, 48, 50, 51, 52, 57, 83, 130, 131, 132, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 170, 171, 173, 192, 209, 236, 248, 252, 262, 263

### C

- cadena de valor 9, 11, 17, 22, 25, 124, 125, 132, 161, 162, 164, 166, 167, 170, 171, 191, 192, 193, 198, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 251, 252, 262, 263  
calidad del agua 29, 55, 56, 60, 61, 63, 65, 71, 73, 80, 81, 82, 104, 108, 124, 153, 166, 234  
cambio climático 7, 11, 18, 25, 29, 37, 39, 43, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 55, 83, 119, 120, 121, 134, 140, 142, 145,

- 148, 149, 152, 153, 154, 156, 159, 161, 162, 163, 165, 166, 171, 173, 174, 188, 191, 213, 247, 251, 252, 259, 261, 262  
cobertura del suelo 33  
conflictos por uso del suelo 89

### D

- dinámicas socioecológicas 119, 251

### E

- escenarios prospectivos 17  
estrategias organizacionales 17, 191, 209, 252

### F

- fertilidad del suelo 98, 120, 142, 184

### G

- gestión adaptativa 8, 11, 17, 48, 130, 252  
gestión sostenible 8, 15, 21, 22, 43, 44, 47, 52, 101, 109, 128, 132, 147, 149, 151, 152, 154, 156, 159, 160, 161, 192, 209, 247, 252  
gobernanza 7, 8, 11, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 29, 30, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 119, 128, 131, 132, 133, 145, 147, 152, 153, 154, 155, 156, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 171, 174, 185, 186, 188, 191, 192, 201, 206, 208, 214, 217, 248, 251, 252, 261, 262, 264

## **M**

modelos prospectivos 17, 101, 132, 142, 145

## **P**

pago por servicios ambientales –PSA–  
17, 185

participación comunitaria 9, 11, 17, 21,  
51, 56, 57, 84, 120, 131, 145, 149,  
151, 152, 153, 159, 213

## **R**

redes de actores 43, 147, 155, 156, 166, 167

## **S**

saberes locales 8, 16, 17, 48, 101, 117,  
131, 132, 133, 214, 252, 261

servicios ecosistémicos hídricos –SEH– 7,  
8, 9, 15, 16, 22, 23, 24, 25, 29, 43,  
44, 101, 131, 147, 149, 151, 152,  
154, 156, 159, 160, 162, 163, 175,  
185, 191, 194, 209, 213, 247, 251

sistemas socioecológicos 21, 24, 25, 29, 259

soberanía alimentaria 9, 15, 17, 25, 86,  
114, 118, 171, 173, 201, 205, 213,  
215, 220, 221, 222, 252

sostenibilidad 8, 11, 12, 15, 16, 17, 21, 22,  
23, 24, 29, 30, 31, 43, 44, 45, 46, 48,  
50, 51, 52, 57, 89, 96, 98, 107, 112,  
116, 117, 128, 130, 131, 132, 133, 140,  
145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153,  
154, 155, 159, 160, 161, 162, 163, 164,  
165, 166, 167, 171, 172, 173, 174, 175,  
176, 178, 181, 182, 183, 184, 186, 187,  
189, 191, 192, 196, 199, 203, 207, 208,  
209, 213, 215, 220, 221, 222, 238, 247,  
249, 251, 252, 261, 262, 264

## **V**

valoración plural 24, 29, 30, 113, 119

## Sobre los autores

### **Apolinar Figueroa Casas (comp.)**

Biólogo egresado de la Universidad del Cauca, magíster en Ecología de la Universidad de Barcelona, España, y doctor en Ciencias Biológicas de la Universidad de Valencia, España. Profesor titular de la Universidad del Cauca, fundador y director del Grupo de Estudios Ambientales –GEA– y del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales. Ha sido investigador principal y director de numerosas investigaciones relacionadas con la evaluación del impacto ambiental y el desarrollo de metodologías para su aplicación en el trópico húmedo. Sus áreas de trabajo incluyen la vulnerabilidad de los sistemas ecológicos frente a fenómenos extremos de variabilidad y cambio climático, así como las plataformas tecnológicas asociadas a la gestión ambiental y a las alertas tempranas en contextos de agricultura industrial y seguridad alimentaria.

### **Cristian Méndez Rodríguez (comp.)**

Ingeniero en Automática Industrial egresado de la Universidad del Cauca, magíster en Automática e Informática Aplicada de la École Centrale de Nantes, Francia, y Doctor en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca, Investigador asociado y par evaluador del Ministerio de Ciencias. Actualmente, es profesor de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Fundación Universitaria de Popayán –FUP– y profesor invitado de posgrado en la Universidad del Cauca. Sus campos de investigación incluyen sistemas de gestión energética y ambiental, sistemas socioecológicos, economía circular y transformación digital del sector agro. Posee experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica con impacto social.

### **Juliana Salazar Benítez (comp.)**

Bióloga y candidata a doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca. Su experiencia investigativa se enfoca en seguridad hídrica, seguridad alimentaria y análisis de sistemas socioecológicos en territorios rurales

andinos. Ha trabajado en conflictos ambientales, estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, y enfoques de resiliencia socioecológica. Ha liderado procesos comunitarios participativos, integrando conocimiento local y científico para fortalecer agrosistemas sostenibles e impulsar iniciativas bioeconómicas. También ha participado en la formulación y ejecución de proyectos interdisciplinarios en contextos académicos y comunitarios.

### **Alejandro Figueroa Benítez**

Politólogo de la Universidad del Cauca y candidato a doctor en Ciencias Ambientales en la misma institución. Actualmente, se desempeña como director de Desarrollo en la Agencia ELIA –Environment and Landscape Innovation Agency– y como líder de Sostenibilidad y Transparencia en Air-e S.A.S. E.S.P. Desde estos espacios impulsa procesos de cooperación internacional y lidera proyectos interdisciplinarios orientados a articular la política pública con comunidades y sector empresarial, la gobernanza territorial, la seguridad hídrica y la transición energética. Su experiencia integra investigación académica, gestión comunitaria y consultoría privada, con énfasis en el acompañamiento a empresas de alcance nacional en la implementación de estrategias de sostenibilidad. Gracias a ello consolida una trayectoria que enlaza ciencia, política pública y acción territorial.

### **Diana Marcela Ruíz Ordóñez**

Bióloga y doctora en Ciencias Ambientales. Ha liderado proyectos de modelación climática, estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático, desarrollo de procesos bioeconómicos para fortalecer la integración regional, valoración de servicios ecosistémicos, seguridad alimentaria, seguridad hídrica, turismo de naturaleza y construcción de territorios sostenibles.

### **Johana Andrea Sánchez Guevara**

Ingeniera física egresada de la Universidad del Cauca y estudiante de la Maestría en Restauración Ecológica en la Pontificia Universidad Javeriana, sede Cali. Su formación se centra en percepción remota ambiental, sistemas de información geográfica –SIG–, procesamiento de imágenes y programación. En el libro *Bioeconomía con sentido territorial*, participó en la corrección de mapas de coberturas, elaboración de mapas de servicios ecosistémicos e integración de estos insumos con saberes locales. También apoyó la incorporación de proyecciones de precipitación y temperatura generadas por el IDEAM en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, lo que le ayudó a fortalecer su vínculo entre ciencia, territorio y conocimiento tradicional.

## **Juan Diego Otero Sarmiento**

Biólogo, doctor en Ciencias Ambientales y con estancia posdoctoral en Gestión Integral de Suelos. Reconocido por el Ministerio de Ciencias como Investigador Junior. Ha liderado iniciativas y proyectos nacionales y regionales financiados por el Fondo de CTeI del Sistema General de Regalías, con enfoque en sostenibilidad agrícola, seguridad alimentaria e hídrica, bioeconomía, adaptación al cambio climático y conservación de recursos naturales. Articula acciones con comunidades interétnicas, universidades, centros de investigación y entidades gubernamentales y privadas. También participa activamente en la generación de conocimiento y desarrollo tecnológico aplicado desde SENNOVA, mediante metodologías participativas, análisis de sistemas agroecológicos, transferencia de tecnología, planeación territorial y apropiación social del conocimiento, contribuyendo a consolidar el SENA Regional Cauca en el ecosistema regional de ciencia, tecnología e innovación.

## **Juan Pablo Martínez Idrobo**

Biólogo y doctor en Ciencias Ambientales, con formación complementaria en gestión de la Ciencia, Tecnología e Innovación –CTI–. Investigador Asociado y par evaluador del Ministerio de Ciencias. Actualmente, es dinamizador SENNOVA del Centro de Comercio y Servicios del SENA Cauca. Sus líneas de investigación se centran en la gestión ambiental y la planificación territorial, con énfasis en ecosistemas estratégicos de páramo, gestión integral del agua, sistemas productivos sostenibles, cadenas de valor y gobernanza. Cuenta con casi veinte años de experiencia en proyectos de CTI en el Cauca, percepción pública de la CTI, articulación regional y dinamización de actores del ecosistema de innovación. Ha participado en actividades de movilidad nacional e internacional y ha sido docente de pregrado y posgrado en diferentes instituciones de educación superior de la región.

## **Rafael Mauricio Padilla Moreno**

Doctor en Desarrollo Sostenible, magíster en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible, magíster en Administración de Empresas, especialista en Docencia Universitaria y administrador de Empresas de la Universidad Externado de Colombia. Actualmente, es investigador del grupo GIFIN de la Facultad de Ciencias Sociales y de la Administración y director del Centro de Desarrollo Sostenible de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Ha participado como investigador en proyectos de regalías relacionados con servicios ecosistémicos y bioeconomía. Su campo de acción se centra en economía circular, desarrollo sostenible y planificación territorial. Es autor de libros y artículos de investigación, también se desempeña como conferencista y profesor en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

### **Ricardo Monroy del Castillo**

Administrador de Empresas de la Universidad del Cauca y magíster en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente, es profesor auxiliar en la Facultad de Ciencias Sociales y de la Administración de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca y docente catedrático de la Universidad del Cauca. Tiene amplia experiencia en gestión académica universitaria, formulación y gestión de proyectos en ámbitos investigativos y sociales. Sus áreas de investigación se relacionan con cultura organizacional, cadenas de valor, modelos de negocio y economía de la educación.

### **Sandra Patricia Rebolledo Acosta**

Administradora de Empresas y magíster en Estudios Interdisciplinarios del Desarrollo de la Universidad del Cauca. Ha liderado proyectos de ciencia, tecnología e innovación orientados al fortalecimiento de cadenas productivas, redes empresariales y modelos de negocio en el Cauca. Cuenta con experiencia en productividad, innovación, emprendimiento, propiedad intelectual, formalización empresarial y desarrollo de productos. Actualmente, es profesora de la Facultad de Ciencias Económicas, Contables y Administrativas de la Fundación Universitaria de Popayán, con fuerte vinculación al sistema departamental de ciencia, tecnología e innovación.

### **Sonia Margarita María Triviño Arango**

Bióloga de la Universidad del Cauca, magíster en Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, y candidata a doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca. Actualmente, es gerente de la Agencia ELIA –Environment and Landscape Innovation Agency–, desde donde lidera investigación aplicada, formulación y ejecución de proyectos ambientales y de cooperación internacional. Su experiencia integra academia, gestión pública y empresa privada, con énfasis en gestión y conservación de ecosistemas estratégicos, gobernanza ambiental, planificación territorial y estrategias de sostenibilidad en contextos rurales, urbanos y empresariales.

### **Yady Tatiana Solano Correa**

Ingeniera física de la Universidad del Cauca y doctora en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones por la Universidad de Trento, Italia. Actualmente, es profesora asociada en la Pontificia Universidad Javeriana y en la Universidad Tecnológica de Bolívar, además de investigadora vinculada a la Universidad del Cauca. Su trayectoria se centra en percepción remota, ciencia

de datos e inteligencia artificial aplicadas a la gestión ambiental, la seguridad hídrica y alimentaria y la sostenibilidad de los territorios. Su trabajo vincula tecnologías avanzadas –como procesamiento digital de imágenes satelitales y modelación ambiental– con procesos sociales y comunitarios, impulsando transiciones socioecológicas que articulan ciencia, territorio y sostenibilidad.

Este libro fue diagramado utilizando fuentes ITC Garamond Std a 10,5 pts,  
en el cuerpo del texto y Bellota Bold, Epunda Sans Light en la carátula.





En el Cauca, donde nacen los ríos y se entrelazan los paisajes de montaña, páramos, bosques y cafetales, habitan comunidades que, a pesar de la adversidad, siguen soñando con un futuro distinto. Este libro recoge ese sueño colectivo: la construcción de una bioeconomía con sentido territorial, que nace del agua y de la gestión comunitaria para impulsar una transición socioecológica sostenible.

A lo largo de estas páginas se encuentran historias donde los saberes locales y la ciencia trabajan de la mano, con el fin de buscar nuevas formas de producir sin destruir y de cuidar el planeta Tierra, nuestra casa común. Es un viaje que comienza conociendo el pulso de la vida en las cuencas –su gente, sus suelos, sus aguas y la biodiversidad que aún resiste–, continúa explorando escenarios de cambio climático y estrategias de adaptación y culmina en la acción concreta: fincas que se transforman, cadenas de valor que se fortalecen, alternativas de agrosistemas sostenibles y comunidades que se apropian de sus procesos de gobernanza territorial.

Este libro no solo presenta resultados de investigación y análisis sobre bioeconomía, servicios ecosistémicos hídricos –SEH–, gobernanza, sostenibilidad, cadenas de valor y agrosistemas sostenibles, sino que también invita a escuchar y a sentir, a descubrir símbolos de resistencia y esperanza que nacen en los territorios campesinos e indígenas y a comprender que la sostenibilidad no es un concepto abstracto, sino una experiencia.



Universidad  
del Cauca

Vicerrectoría de  
Investigaciones

