

Propuesta de monitoreo de la adaptación al cambio climático en la alta montaña

Caso paisaje sostenible Chingaza - Sumapaz - Guerrero



Propuesta de monitoreo de la adaptación al cambio climático en la alta montaña

Caso paisaje sostenible Chingaza - Sumapaz - Guerrero

República de Colombia

Iván Duque Márquez
Presidente de la República

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Carlos Eduardo Correa Escaf
Ministro

Álex Saer
Director cambio climático y gestión del riesgo

Guillermo Prieto Palacios
Dirección de Cambio Climático y Gestión del Riesgo
Coordinador Grupo de Adaptación
al Cambio Climático

Ana Carolina Moreno
Punto focal proyecto GEF

Diana Carolina Useche
Punto focal proyecto GEF

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Alfred Grünwaldt
Especialista senior cambio climático

María del Rosario Navia
Especialista senior agua y saneamiento básico

Conservación Internacional Colombia (CI)

Fabio Arjona Hincapié
Vicepresidente

Ángela Andrade
Directora política cambio climático y biodiversidad

Patricia Bejarano M.
Directora paisajes sostenibles de alta montaña

Natalia Acero
Directora de agua y ciudades

Felipe Cabrales
Director de operaciones

Dorelly Estepa
Gerente administrativa

Omar Martínez
Consultor especialista de adquisiciones

Socios del proyecto

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Yolanda González Hernández
Directora general

María Camila Hernández
Delegada ante el Comité Técnico

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Luis Fernando Sanabria Martínez
Director general

José Miguel Rincón Vargas
Dirección de Gestión del Ordenamiento
Ambiental y Territorial

María Elena Báez
Cambio climático

Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio)

Marcos Manuel Urquijo Collazos
Director general

María Fernanda Medina Quintero
Subdirectora de gestión ambiental
Delegada ante el Comité Directivo

Leidy Pardo
Biodiversidad y áreas estratégicas

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

Cristina Arango Olaya
Gerente general

Javier Sabogal Mogollón
Gerente corporativo ambiental

Héctor Andrés Ramírez Hernández
Director de gestión ambiental del recurso hídrico
Delegado ante el Comité Directivo

Ángela María Gaitán
Coordinadora financiera proyecto páramos EAAB
Delegada ante el Comité Técnico

Equipo editorial

Coordinación editorial

Tatiana Menjura Morales
Juan Carlos Rueda Azcuénaga

Autores

Luisa Cusgüen
Carlos Sarmiento
Juan Carlos Benavides
Violeta Martínez Amigo
Paola Alarcón
Natalia Acero

Revisión técnica

Patricia Bejarano M
Natalia Acero M.
Carlos Sarmiento Pinzón

Revisión de textos

Tatiana Menjura Morales
Juan Carlos Rueda Azcuénaga

Corrección ortotipográfica y de estilo

Juan Carlos Rueda Azcuénaga

Dirección de arte

Felipe Caro

Diseño

Felipe Caro
Laura Gutiérrez

Ilustraciones

Andrés Bernal

Primera edición, 2021

ISBN digital: 978-958-53336-4-2

Citación sugerida:

Cusgüen, L., Sarmiento, C., Benavides, J. C., Martínez-Amigo, V., Alarcón, P., Acero, N. (2021). *Propuesta de monitoreo de la adaptación al cambio climático en la alta montaña. Caso paisaje sostenible Chingaza - Sumapaz - Guerrero*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Conservación Internacional: Bogotá.

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / Conservación Internacional
Propuesta de monitoreo de la adaptación al cambio climático en la alta montaña.
Caso paisaje sostenible Chingaza-Sumapaz-Guerrero. / textos.: Cusgüen, Luisa;
Sarmiento, Carlos; Benavides, Juan Carlos; Martínez-Amigo, Violeta; Alarcón, Paola;
Acero, Natalia; coord.: Menjura Morales, Tatiana; Rueda Azcuénaga, Juan Carlos. ---
Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / Conservación
Internacional, 2021.

p.: 96.

(Proyecto Adaptación al cambio climático en la alta montaña)

1. monitoreo 2. cambio climático 3. medidas de adaptación 4. agua 5. páramos
6. ecosistemas de alta montaña 7. comunidades. 8. alta montaña 9. comunidades
I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible III. Conservación Internacional

© Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita



Tabla de contenido



La importancia del monitoreo para la adaptación al cambio climático **11**

El cambio climático en Colombia y su repercusión sobre los recursos hídricos **11**

Soluciones basadas en la naturaleza **12**

¿Qué hace falta para adaptarse? **12**

Generación de conocimiento para la toma de decisiones **13**

Bases conceptuales para el monitoreo de la adaptación **15**

Las soluciones basadas en la naturaleza y la adaptación basada en ecosistemas **15**

Monitoreo, seguimiento y evaluación ¿por qué son distintos? **15**

Hidrología de alta montaña y su relación con el cambio climático y el uso de la tierra **16**

Estrategia de monitoreo del proyecto GEF alta montaña **19**

Principios generales **19**

Teoría del cambio **19**

Flujo de trabajo para el diseño de la estrategia, formulación e implementación del sistema de monitoreo **21**

Identificación de escalas temporales, espaciales y temáticas priorizadas **21**

Preguntas, objetivos e indicadores **30**

Estándar desarrollado para la formulación y documentación de los indicadores **30**



La experiencia de la implementación de la estrategia de monitoreo

36

Balance ecohidrológico de coberturas vegetales

38

Contenido de carbono en el suelo

46

Monitoreo de variables agrometeorológicas

52

Monitoreo de variables hidrológicas

59

Indicadores de cambio climático

65

Monitoreo comunitario

70



Conclusiones y lecciones aprendidas

87

Relativas a la formulación

87

Relativas a la implementación

87

Relativas a la sostenibilidad

88

Sostenibilidad

89

Bibliografía

93

Presentación

El cambio climático es un fenómeno que se ha venido abordando desde el ámbito científico a una escala global, pero también es un problema social con consecuencias ecológicas y económicas sin precedentes en la historia reciente de nuestro planeta. Esto nos invita a que además de avanzar en la medición continua de la precipitación y la temperatura, entendamos la necesidad de establecer las consecuencias que puede tener para la sociedad y definir estrategias de acción a escalas más locales mediante el desarrollo de medidas efectivas de adaptación.

En Colombia, específicamente en los ecosistemas de alta montaña de los Parques Nacionales Naturales de Chingaza y Sumapaz y en el páramo de Guerrero, durante los últimos cinco años se han realizado esfuerzos para entender el cambio climático y sus posibles impactos en el suministro de agua a los municipios de su área de influencia, incluida la capital del país, Bogotá D.C., esto

con el objetivo de que en conjunto con las comunidades que habitan estos territorios se avance en la implementación de acciones que permitan a todos los actores involucrados estar mejor adaptados a las condiciones de un clima cambiante.

Es en este escenario en el que se ejecutó el proyecto Adaptación a los impactos climáticos en regulación y suministro de agua para el área de Chingaza-Sumapaz-Guerrero (2015-2020), también llamado GEF alta montaña, que como uno de sus ejes lideró el diseño una estrategia de monitoreo cuyo objetivo fue facilitar una evaluación ex post cuantitativa de los impactos de las medidas de adaptación en la regulación del agua en las cuatro unidades hidrológicas prioritizadas. Dicha estrategia se enfocó principalmente en la estimación de los efectos esperados en el mediano plazo de las acciones de adaptación propuestas e implementadas, tanto en la regulación hídrica de

las zonas de trabajo como en el bienestar de las comunidades involucradas, asociado al mejoramiento de las condiciones de producción y uso del agua.

Considerando lo anterior, el proyecto estableció distintas escalas espaciales y temporales para el diseño y puesta en marcha de la estrategia de monitoreo. A nivel espacial se trabajó desde subzona hidrográfica, complejo de páramo, corredor Chingaza-Sumapaz-Guerrero, unidad hidrológica y municipio, hasta llegar a escala de predios públicos, cuencas de quinto orden, fincas/predio y parcelas de monitoreo.

En cuanto a la temporalidad se definieron dos escalas: a corto plazo, tiempo durante el cual se realiza el levantamiento de la línea base según lo establecido para cada componente de la estrategia, en este caso: hidrometeorológico y climatológico, ecohidrológico, diversidad funcional y sistemas productivos y a mediano y largo plazo, una estrategia de monitoreo comunitario y participativo que facilita el monitoreo de la efectividad de las medidas de adaptación a la luz de la realidad socioeconómica y ambiental del área.

En estos esfuerzos se involucró de manera constante a la institucionalidad nacional, la cooperación internacional y la academia,

pero sobre todo y de manera fundamental a las comunidades que habitan desde tiempos históricos estos socioecosistemas. Precisamente porque se ha reconocido al cambio climático como un fenómeno con la capacidad de agudizar problemas de los territorios haciéndolos aún más frágiles y complejos, lo que exige plantear propuestas construidas a partir de la ciencia pero ante todo con el conocimiento de las comunidades.

De esa experiencia surge esta publicación que tiene como objetivo presentar de manera sintética cada uno de los componentes de la estrategia de monitoreo desarrollada por el Proyecto. El libro está dividido en cinco secciones: la primera describe la importancia del monitoreo para la adaptación al cambio climático, la segunda presenta las bases conceptuales sobre las cuales se construyó el sistema de monitoreo del GEF alta montaña, en la tercera se describe cada uno de los componentes que lo componen, en la cuarta se presentan los primeros resultados obtenidos para las unidades hidrológicas priorizadas en el periodo de ejecución del proyecto, y cierra con una propuesta de sostenibilidad del sistema. Esperamos que sirva de insumo para el desarrollo de nuevas acciones de monitoreo en otras áreas de alta montaña en el país.

Agradecimientos

Agradecemos a los equipos de trabajo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en especial al doctor Nelson Omar Vargas, Gabriel Saldarriaga, Jorge Luis Ceballos y a Jerson González por su apoyo técnico y su acompañamiento; a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), en especial a la doctora María Helena Báez, el doctor César Clavijo, Nicoyan Silva, Diego Restrepo y a Jorge Luis González Castro por la información e intercambio de conocimiento y experiencia; a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), en especial al doctor Diego Gutiérrez Bohórquez y a Gustavo Herrán por su acompañamiento técnico y suministro de información; a la Corporación Autónoma Regional del Guavio (CORPOGUAVIO), en especial al ingeniero Henry Rodríguez.

Agradecemos al equipo de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) liderado por el profesor Juan Carlos Benavides y Violeta Martínez, quienes asumieron con entusiasmo y dedicación el reto de efectuar el monitoreo ecohidrológico de la estrategia de monitoreo.

Agradecemos al equipo de trabajo de la Fundación Natura Colombia, en el marco del convenio 47/681 con ISAGEN y del proyecto “Programa para atender la percepción de la comunidad acerca de posibles cambios microclimáticos ocasionados por la hidroeléctrica de Sogamoso”, en especial a Andrés Rueda, a Carolina Useche por ser el enlace con Andrés, esta semilla dio paso a la construcción de la estrategia de monitoreo comunitario y al proyecto de Monitoreo de glaciares tropicales andinos, en especial a Lina Zuluaga, por compartir su experiencia y lecciones aprendidas en el monitoreo comunitario.

Reconocimiento especial:

A la comunidad de campesinos miembros de la red de monitoreo comunitario, por su esfuerzo, dedicación y constancia en la toma de la datos, por su inquietud en la construcción mutua de conocimiento y por la calidez con la que nos recibieron y nos compartieron y enseñaron algo de su territorio y su rol familiar frente al monitoreo. En el municipio de Guatavita vereda Carbonera Alta agradecemos a: José Moisés Rodríguez Gómez, Carlos Julio Velandia, María Elena Rodríguez de Jiménez, Carmen Beatriz Córdoba Muñoz, María Gloria Muñoz Muñoz, Patricia Rodríguez, Raquel Rodríguez, Edelmira Muñoz y Lilia Rodríguez; municipio de Sesquilé vereda El Uval: Juana Isabel Rodríguez, Ruth Amanda Rodríguez Rodríguez, Gonzalo Rodríguez Velandia, Blanca Aurora Velandia, Gilma Mercedes Rodríguez Jiménez, Sara Peñuela, Anadelia Rodríguez, Ignacio Orjuela Córdoba, Lucero Garzón, Valeria Rodríguez, vereda El Hato: Fabio Antonio Rodríguez Chávez, Rosa María Maldonado, Rodríguez y Ricardo Muñoz Maldonado, vereda Granadillo: Rogelio Prieto Jiménez; municipio de Guasca, vereda Floresta Segundo Sector: Alejo Eduardo del Real González y Laura Valenzuela, Ángel María Murillo Ramos y María Ascensión Galvis, Luis Ángel Murillo Barajas, Luis Antonio y Clementina, Crysthella Rodríguez Garzón, Sofía Riveros, Gustavo Rodríguez Romero, Andrés Ávila; Bogotá, D. C., localidad de Usme vereda Las Margaritas: Sindy Delgado, Marly Vela, Wilmer Rodríguez, Doris Gutiérrez, Andrea Vargas, Julieth Vargas y Patricia Pulido, vereda El Hato: Alcira Cruz Bernal, Curubital: Mario Prada, Margoth Beltrán y Pablo Emilio Prada.

SECCIÓN

1



La importancia del monitoreo para la adaptación al cambio climático

1



La implementación de acciones de adaptación se ha convertido en parte integral de los planes y políticas para enfrentar un clima cambiante, aunque a veces también se integran a iniciativas generales de desarrollo. Sin embargo, todavía no se cuenta con suficiente evidencia del éxito de estas medidas para alcanzar los objetivos propuestos y contribuir al desarrollo o a la mitigación. Un paso importante para demostrar que la adaptación cuenta, es desarrollar mecanismos apropiados de monitoreo y evaluación para las inversiones en adaptación que contribuyan, en el futuro, a la toma de decisiones basadas en evidencia.

El cambio climático en Colombia y su repercusión sobre los recursos hídricos

La adaptación al cambio climático es un tema principalmente relacionado con la gestión adecuada del recurso hídrico. El agua es el medio mediante el cual la conexión entre la naturaleza y las personas es más directa y evidente. Cuando el sistema natural se encuentra estable, los seres humanos se benefician de agua limpia y permanente. Sin embargo, cuando existe una externalidad que afecta al sistema, como por ejemplo los cambios en temperatura o precipitación, la ausencia o abundancia de agua afecta el bienestar de las personas.

Actualmente, los impactos del cambio climático relacionados con el agua se están eviden-

ciando en forma de inundaciones y sequías cada vez más severas. De acuerdo con el último reporte sobre seguridad hídrica en Colombia, desarrollado por el Banco Mundial en el 2020, los modelos climáticos recientes predicen que las temperaturas promedio en Colombia aumentarán hasta 2.14 °C para el cambio de siglo. Las regiones del norte y sureste del país se volverán más secas y los Andes centrales se humedecerán. El resultado probable es un mayor número de sequías e inundaciones, fenómenos como El Niño y La Niña serán más frecuentes e intensos y continuará la rápida pérdida de glaciares. Los glaciares ya se han retirado en un 60 % en los últimos 50 años y la contracción continúa en aproximadamente un 3 % al año. Los balances hídricos en el país cambiarán, con el riesgo de mayor escasez durante los meses más secos anuales y los periodos de sequía más largos causados por El Niño. Por otro lado, se espera que los eventos de La Niña también se vuelvan más extremos, aumentando las inundaciones y el consiguiente daño económico y social, a menos que se tomen las medidas adecuadas.

Los recursos hídricos y su gestión afectan a casi todos los aspectos de la sociedad y de la economía, en particular a la salud, la producción y seguridad alimentaria, al abastecimiento de agua y saneamiento, a la energía, la industria y al funcionamiento de los ecosistemas. Sin un manejo adecuado del recurso hídrico, el progreso hacia las metas de reducción de la pobreza, el cumplimiento de los objetivos de desarrollo y el desarrollo sostenible en todas sus dimensiones económicas, sociales y ambientales, estarán en peligro.

Soluciones basadas en la naturaleza

Estas son entendidas como acciones dirigidas a proteger, a gestionar de manera sostenible y a restaurar los ecosistemas naturales o a modificados, lo anterior con el fin de abordar los desafíos de la sociedad eficientemente y de manera adaptativa, promoviendo a su vez el bienestar humano y los beneficios para la biodiversidad. Los desafíos incluyen los impactos del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación de ecosistemas, los riesgos de desastres, la seguridad alimentaria y la salud humana, entre otros.

En el caso del sector hídrico existen formas de apoyarse en los ecosistemas para complementar las soluciones a distintos desafíos que, por lo general, suelen resolverse con obras de infraestructura gris. Los ecosistemas y sus funciones pueden servir también como una forma de infraestructura verde y en muchos casos ser soluciones más costo-efectivas.

Problemas como las inundaciones, los deslaves o la preservación de caudales de agua, pueden resolverse a través de la conservación y restauración ecológica de cuencas hidrográficas. Prácticas como la reforestación y restauración de ecosistemas riparios pueden ser implementadas con el fin de estabilizar cauces de ríos y prevenir desbordamientos; la creación de zonas naturales de inundación para retener agua en episodios de lluvias extremas o la depuración y mejora de la calidad del agua a través de sistemas de humedales (fitorremediación), son solo algunos ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) cada vez más aplicadas en la gestión integrada de cuencas y en la planificación urbana.

Los enfoques tradicionales de ingeniería para infraestructura hídrica como represas, diques o plantas de tratamiento de aguas, tienen muchas limitaciones. Estos proyectos de ingeniería requieren grandes inversiones de capital para su construcción, operación y mantenimiento, y pueden tener consecuencias devastadoras para el entorno natural. Adicionalmente, estas estructuras suelen ser poco flexibles para adaptarse a los cambios y las incertidumbres de tipo climático o socioeconómico. Los ecosistemas y sus servicios pueden ofrecer una gama más flexible de soluciones y al mismo tiempo pueden proteger y complementar el buen funcionamiento de la infraestructura gris.

Uno de los enfoques de las soluciones basadas en la naturaleza es la adaptación basada en ecosistemas (AbE), cuyo concepto principal es el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia mayor que ayude a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Además, la AbE hace referencia al «[...] manejo sostenible, conservación y restauración de los ecosistemas como parte de una estrategia de adaptación que tome en consideración los múltiples cobeneficios sociales, económicos y culturales para las comunidades locales» (CBD, 2009).

¿Qué hace falta para adaptarse?

¿Pero, si ya se tienen identificadas cuáles son las soluciones y las medidas que se deben implementar para reducir la vulnerabilidad al cambio climático, por qué los impactos del cambio climático cada vez son más severos?

La respuesta a esta pregunta no es tan sencilla. Tiene varios matices, entre los que se en-

cuentran: la falta de mecanismos financieros para apoyar a la adaptación del cambio climático, la falta de capacidad humana e institucional para responder de manera eficiente y oportuna a los retos que suponen la crisis climática, la necesidad de articulación de un entorno propicio y la coordinación donde, por ejemplo, se fomente el desarrollo de políticas, de legislación, de normas, de modos de funcionamiento o la participación cívica en diferentes partes de la sociedad que hagan frente a los impactos del cambio climático.

Sin embargo, el punto de encuentro de todos los retos mencionados anteriormente es la falta de información para la toma de decisiones y la planificación. La gestión de los recursos hídricos se dificulta por la falta de conocimiento y de datos necesarios para la toma de decisiones y la planificación a largo plazo. Pocos países saben cuánta agua están usando actualmente o para qué fines, en Colombia tampoco hay muchos detalles disponibles sobre la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles. Las lagunas de conocimiento son aún mayores a la hora de predecir condiciones futuras. Poco se sabe también sobre cuánta agua se puede extraer sin consecuencias ambientales graves, ni la cantidad de financiación que se invierte o se necesitará en la gestión del agua y la infraestructura en circunstancias futuras. El cambio climático, al interactuar con otros factores como el crecimiento de la población, los cambios en el uso de la tierra y la urbanización, complica aún más estas incertidumbres.

Generación de conocimiento para la toma de decisiones

Existen varias experiencias de monitoreo y seguimiento ambiental de largo plazo en los

Andes colombianos, promovidos desde instituciones públicas, académicas y de la sociedad civil, con diversidad de objetivos para obtener información frente a la respuesta, dinámica e interacciones entre la diversidad, el funcionamiento y los servicios ecosistémicos de los bosques altoandinos y los páramos, así como de su interrelaciones en escenarios de cambio ambiental y social. Sin embargo, es importante contar con una visión dinámica y holística para orientar las políticas ambientales y productivas y la toma de decisiones (IDEAM, IAVH, Condesan, 2018), especialmente para orientar inversiones en la implementación de medidas de adaptación más efectivas y que eviten la mala adaptación. Para ello, como se mencionó anteriormente, es importante desarrollar mecanismos apropiados de monitoreo y evaluación de las medidas de adaptación, para determinar su contribución y efectividad

De esta forma, el proyecto GEF alta montaña contó con un marco de resultados que define indicadores de impacto, de resultado y de producto, además de un proceso de evaluación externa orientado no solo al cumplimiento de los objetivos sino a proveer insumos para el diseño de políticas públicas. En este documento se presenta la estrategia de monitoreo necesaria para cuantificar el impacto de las acciones de adaptación sobre variables hidrológicas de cuencas de alta montaña, lo cual, si bien es el resultado esperado del proyecto, requiere de un desarrollo a profundidad. También se abordó el monitoreo comunitario del clima como una estrategia de adaptación en sí misma, en la medida en que permite que la comunidad incorpore ese criterio en la toma de decisiones relacionada con las prácticas de manejo y la necesidad de evaluar constantemente el funcionamiento de las acciones impulsadas por el proyecto.

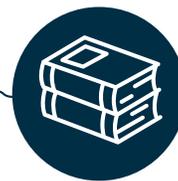
SECCIÓN

2



Bases conceptuales para el monitoreo de la adaptación

2



Las soluciones basadas en la naturaleza y la adaptación basada en ecosistemas

Las soluciones basadas en la naturaleza se pueden considerar como un concepto genérico que incluye una serie de enfoques diferentes como la *adaptación basada en ecosistemas*. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define las SBN como un concepto que abarca a las acciones materiales que se apoyan en el adecuado funcionamiento de los ecosistemas y de los servicios que estos proveen, para dar respuesta a diferentes problemas y desafíos de la sociedad (a diversas escalas) tales como los efectos derivados del cambio climático, la seguridad alimentaria o la disminución del riesgo de ocurrencia de desastres, entre otros. Las SBN se cimientan sobre la idea de que la sociedad puede proteger, gestionar y restaurar proactivamente y de forma estratégica los ecosistemas. Así, se considera que los beneficios económicos de los ecosistemas bien gestionados y los servicios que proveen son un aspecto cada vez más reconocido en el desarrollo de proyectos. Un paisaje planificado de forma estratégica para conservar y restaurar las funciones de los ecosistemas, de tal manera que generen beneficios asociados para la población, se convierte en una forma de *infraestructura natural o también conocida como infraestructura verde*. La composición, estructura y funciones de los ecosistemas o infraestructura natural en las cuencas, así como la forma en que interactúan con la

infraestructura gris, determinará la calidad de los servicios y cobeneficios resultantes.

El enfoque AbE es ampliamente reconocido como una estrategia para adaptarse a los impactos del cambio climático porque es costo-efectivo, ofrece múltiples beneficios y puede ser implementado por las propias comunidades. Por lo tanto, la implementación de medidas AbE resulta clave en zonas vulnerables a los impactos del cambio climático como las montañas (The Mountain Institute, sf).

Monitoreo, seguimiento y evaluación ¿por qué son distintos?

El monitoreo ecológico puede ser definido como la medición repetida, a múltiples escalas espaciales, de un conjunto de variables y procesos de cambio, durante un periodo extendido de tiempo (al menos cinco años) y de acuerdo con un marco conceptual integrado y una serie de protocolos estandarizados de medición. Los programas de monitoreo se pueden clasificar en tres categorías: i) monitoreo pasivo: carece de preguntas específicas o diseño de estudio subyacente; ii) monitoreo obligatorio: donde los datos se recopilan como un requisito estipulado por la legislación gubernamental o una directiva política, buscando generalmente identificar tendencias y iii) monitoreo basado en preguntas: que se guía por un modelo conceptual y por un diseño riguroso que dará como resultado nuevas afirmaciones o hipótesis que podrán ser puestas a prueba desde un punto de vista estadístico.

Así mismo, monitoreo, en el contexto de la adaptación al cambio climático, se refiere a un proceso continuo de seguimiento y revisión de actividades, sus resultados y el contexto en el cual se enmarcan las acciones implementadas. Usualmente el objetivo es poder realizar ajustes inmediatos si se detectan desviaciones de los objetivos, metas o estándares asociados a la efectividad de las medidas de adaptación.

Dado que los efectos de las medidas de adaptación relacionadas con restauración, recuperación y rehabilitación ecológica dirigidas a disminuir impactos climáticos en la regulación hídrica, biodiversidad y la producción rural, o la adaptación de sistemas productivos para disminuir impacto del clima en regulación hídrica, no son inmediatos y debido a que el proyecto tiene un tiempo de ejecución inferior al periodo en el cual se pueden evidenciar los impactos, no es posible aplicar el monitoreo en el contexto de cambio climático, el cual fue descrito previamente. En consecuencia, el proyecto GEF alta montaña enfrentó el reto de diseñar un sistema de monitoreo que permitiera modelar los efectos de las diferentes acciones de adaptación previamente establecidas sobre la regulación hídrica de cuencas de alta montaña y sentar las bases (protocolos) para el estudio a largo plazo de la hidrología de estas áreas.

Por ello se diferenció el seguimiento o supervisión de las acciones desarrolladas, junto con sus cadenas esperadas de resultados, del monitoreo detallado de la hidrología y de la contribución de diferentes mosaicos de vegetación al balance hidrológico, de tal forma que pueda emplearse como referencia para establecer el logro de los impactos esperados del proyecto en términos de regulación y oferta hídrica.

A su vez la evaluación está dirigida a definir el grado de cumplimiento de actividades y resultados esperados en los tiempos y con la ejecución de los presupuestos asignados. En el caso del proyecto *GEF alta montaña*, la evaluación se desarrolló de forma externa y abarcó tanto el nivel del proyecto (actividades, productos y resultados) como su contribución a las políticas públicas y a la solución de conflictos ambientales en el contexto normativo particular de los páramos en Colombia. En todas estas dimensiones mencionadas está presente la intención de promover el aprendizaje y la identificación de lecciones clave a nivel comunitario e institucional para futuros proyectos de adaptación en la alta montaña colombiana.

Hidrología de alta montaña y su relación con el cambio climático y el uso de la tierra

La regulación hidrológica del páramo está dada principalmente por los suelos, gracias a sus altos contenidos de materia orgánica, superiores al 40 % en páramos húmedos y del 2 % al 10 % en páramos más secos. Cuando se establecen cultivos o se introducen plantaciones forestales, se pasa de un reservorio más estable y seguro (el suelo) a otro (plantación) que es susceptible a desaparecer por quemas o por cosecha del cultivo, dejando así un balance negativo. Además, la pérdida de carbono en el suelo tiene un impacto fuerte en la capacidad de regulación hídrica, reduciéndola.

Existen varias experiencias a escala de parcela que permiten inferir qué técnicas de conservación de suelos tendrán resultados positivos a escala de microcuenca o mayor, tanto en el control de sedimentos como en la reducción de escurrimiento superficial, ya que las medidas de con-

servación de suelos mejoran la retención de humedad y otras variables importantes para la hidrología, por lo que su implementación es positiva para el mejoramiento de los servicios hidrológicos proporcionados por estas cuencas.

Sin embargo, de acuerdo con Vanacker et al., 2003, es importante considerar los resultados de investigaciones en múltiples escalas, desde parcelas hasta cuencas hidrográficas, los cuales indican que solamente una pequeña fracción de los sedimentos que entran en los ríos se derivan de áreas cultivadas. De esta forma, el mayor aporte de sedimentos proviene de caminos vecinales o por procesos tales como grandes movimientos en masa, erosión en cárcavas, erosión de márgenes e incisión de cauces fluviales.

El escalamiento es uno de los temas más importantes en las investigaciones hidrológicas mundiales, como es el caso de la evaluación de servicios ambientales ofertados por la alta montaña, pues depende de muchos aspectos inherentes a la complejidad de los ecosistemas y sus condiciones climáticas, las cuales no son homogéneas, y el éxito de la extrapolación depende de ello o de que las condiciones de sitios a extrapolar sean similares, lo cual en las unidades hidrológicas de interés, generalmente no ocurre. Por ende, de acuerdo con Quintero, M., ed., Celleri, R., 2010, para tener una mejor predicción de los efectos que se producen al escalar, sobre todo en términos de magnitud, es necesario contar con cuencas equipadas con equipos de seguimiento en diferentes escalas espaciales (cuencas anidadas) y con un mayor número de sitios de control.

El impacto relativo del cambio climático en la hidrología del páramo en comparación con los cambios en el uso del suelo es difícil de

evaluar. Localmente, el impacto del cambio global es probablemente irrelevante, en comparación con el impacto del uso de la tierra y los cambios en la cobertura del suelo. Sin embargo, muchos de los cambios que se espera que sucedan en las condiciones del cambio climático, son muy similares a los impactos observados debido a las actividades humanas presentes.

Adicionalmente, es necesario considerar que los datos sobre parámetros climatológicos básicos, como la precipitación, la temperatura y el caudal han sido tomados con estaciones ubicadas en áreas más bajas y cubren grandes cuencas, por lo tanto, es difícil separar la escorrentía de la región del páramo de la escorrentía proveniente de las áreas más bajas.

La evaluación de estos impactos se basa en el análisis de las señales de cambio a lo largo del tiempo o en el contraste de las respuestas hidrológicas entre dos o más cuencas, aunque la misma cuenca se monitorea antes y después del cambio, la variabilidad climática natural puede influir de manera diferente durante los dos períodos considerados.

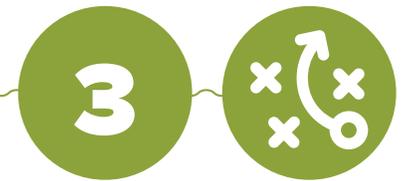
Por ello, para contar con la evidencia de cambio climático y de los posibles efectos de esta amenaza, se requiere establecer un monitoreo que permita obtener series de datos confiables, de largo plazo y con criterios de diseño experimental apropiado, para responder preguntas básicas sobre los efectos del cambio climático o cambios en el uso de la tierra. El monitoreo de las pequeñas cuencas de páramo permitiría una mejor evaluación del papel que cumple la vegetación en la descarga, ya que las cuencas pequeñas son más homogéneas generalmente, lo cual es acorde a las sugerencias de la Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (IMHEA).

SECCIÓN

3



Estrategia de monitoreo del proyecto GEF alta montaña



Principios generales

Los sistemas de monitoreo en el contexto de los proyectos de desarrollo buscan aportar datos, información y criterios para decidir cuando un determinado proyecto está efectivamente contribuyendo a generar un cambio efectivo de acuerdo con los objetivos trazados y resultados esperados.

Este principio se convierte en un reto técnico, logístico y financiero cuando se trata de acciones para la adaptación al cambio climático, especialmente en el contexto de soluciones basadas en la naturaleza. De fondo, la pregunta que debe resolverse es: ¿cómo medir la adaptación? ¿Cómo saber si las condiciones estructurales que determinan la vulnerabilidad de los elementos expuestos (ecosistemas, servicios ecosistémicos, comunidades locales) están siendo modificadas por la acción directa de un proyecto, que típicamente, opera en una temporalidad reducida?

En el marco del proyecto: Adaptación a los impactos climáticos en regulación y suministro de agua para el *área* de Chingaza - Sumapaz - Guerrero, se propuso una estrategia de monitoreo cuyo objetivo fuera facilitar una evaluación *ex post* cuantitativa de los impactos de las medidas de adaptación en la regulación del agua en las unidades hidrológicas de análisis.

De esta forma, la estrategia se convirtió en una herramienta que a largo plazo permitirá evidenciar los efectos de las medidas de

adaptación sobre la hidrología de las cuencas priorizadas y, en general, el efecto que podrá verse reflejado en el ordenamiento del recurso hídrico en función del cambio climático y la resiliencia hídrica local, siguiendo los componentes de sostenibilidad que se presentan en la Figura 1.

Teoría del cambio

Problemas iniciales:

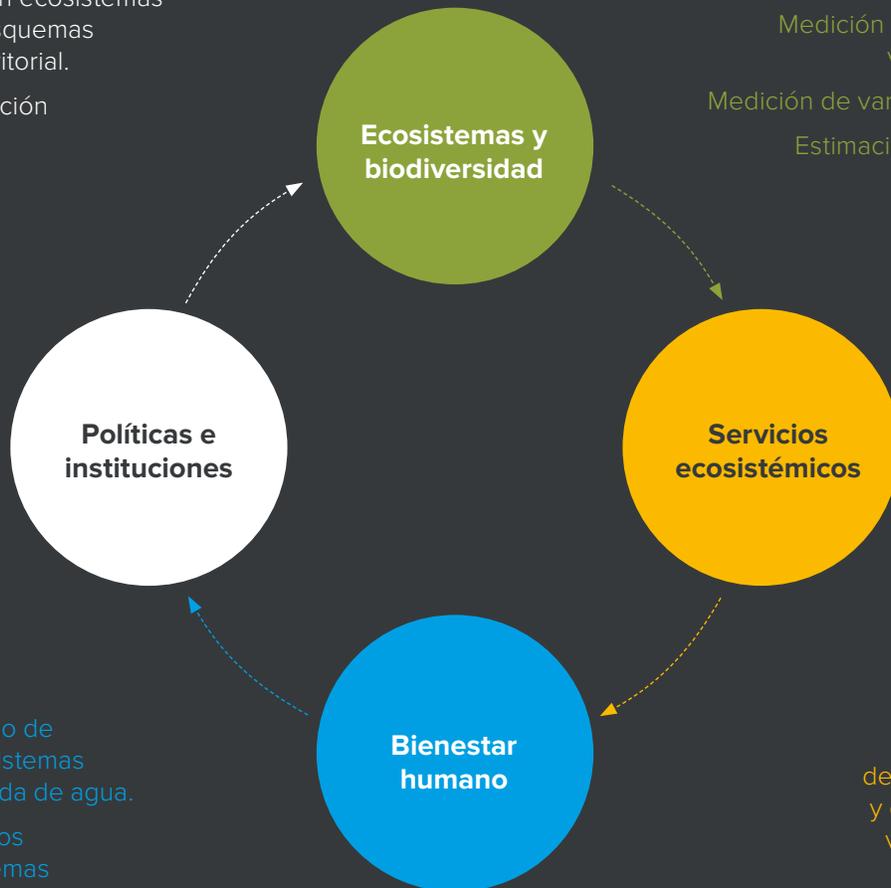
1. La pérdida creciente de cobertura de la tierra ha disminuido los caudales de las microcuencas en la cuenca alta del río Bogotá.
2. Los escenarios nacionales de cambio climático anticipan un aumento de la precipitación en algunas áreas de Chingaza - Sumapaz - Guerrero, y en otras, disminución en la precipitación, retroalimentando la situación anterior y amenazando el adecuado funcionamiento de los sistemas productivos locales.

Insumos: estudios de base (componente 1)

- » Escenarios de cambio climático (AR5) en precipitación y temperatura a nivel regional y microcuenca.
- » Análisis del comportamiento esperado de caudales en las microcuencas priorizadas.
- » Análisis de vulnerabilidad a nivel regional y a nivel de microcuenca.

Inclusión del componente de cambio climático y lineamientos de adaptación basada en ecosistemas y comunidades en esquemas de ordenamiento territorial.
Esquemas de adaptación comunitario.

Verificación de áreas restauradas.
Conectividad del ecosistema.
Medición de variables del suelo-vegetación-atmósfera.
Medición de variables meteorológicas.
Estimación de almacenamiento de carbono.



Monitoreo comunitario de implementación de sistemas productivos y demanda de agua.
Estimación de ingresos económicos por sistemas productivos.
Impacto diferencial de género y relaciones en el hogar y comunidad.

Monitoreo comunitario de áreas revegetalizadas y de variables del suelo-vegetación-atmósfera.
Estimación de regulación hídrica.
Monitoreo de oferta hídrica.
Medición de calidad del agua.

- » Evaluación de las figuras de ordenamiento territorial ambiental y su funcionalidad para sostener servicios ecosistémicos en escenarios de cambio climático.
- » Selección, diseño y concertación de medidas de adaptación (diseño, localización, alcance) en restauración ecológica y sistemas productivos priorizados.
- » Diseño e implementación del sistema de monitoreo.

Resultado 1: incorporación de criterios de cambio climático en instrumentos de planeación y ordenamiento ambiental del territorio.

Resultado 2: mejoramiento de la resiliencia (a nivel de microcuencas hidrográficas) y de las comunidades por la vía de la restauración ecológica y el mejoramiento de los sistemas productivos y el conocimiento sobre opciones de adaptación.

Impactos de largo plazo

- » Contribución a la regulación hidrológica de las microcuencas.

Figura 1. Enfoque socioecológico aplicado al proyecto.

- » Contribución al conocimiento sobre medidas de adaptación al cambio climático en el contexto territorial.

Flujo de trabajo para el diseño de la estrategia, formulación e implementación del sistema de monitoreo

Una recomendación frecuente en la literatura consultada consiste en priorizar la información a ser recolectada, de tal manera que la estrategia de monitoreo sea viable en el contexto del proyecto que lo diseña e implementa. Esto supone considerar que no todas las dimensiones del proyecto serán objeto de la misma atención y no todos los objetivos del monitoreo tendrán la misma importancia. Esto implica entonces definir un marco de priorización de objetivos, preguntas e indicadores a ser considerados que a menudo podría considerar intereses más allá del proyecto, como pueden ser el estado del conocimiento del sistema socioecológico que se pretende medir, objetivos de políticas públicas, intereses específicos de la comunidad más allá del ámbito del proyecto o intereses de los financiadores para su aplicación en futuros proyectos.

Para Lauriac (2016), el diseño del sistema de monitoreo requiere cinco etapas:

- » Definir el objetivo del monitoreo y su campo de acción.
- » Identificar las necesidades de información.
- » Formular las preguntas relativas al desempeño.
- » Definir los datos e indicadores necesarios para responder a las preguntas definidas.
- » Precisar las modalidades de intercambio de información y comunicación de la información recolectada.

Lindemeyer y Likens (2010) consideran que las características principales de los programas de monitoreo efectivos típicamente in-

cluyen: i) buenas preguntas, ii) un modelo conceptual de un ecosistema o población, iii) alianzas sólidas entre científicos, formuladores de políticas y gerentes y iv) el uso frecuente de los datos recopilados.

Las preguntas generales formuladas para orientar la estrategia de monitoreo del proyecto GEF alta montaña fueron las siguientes:

- » ¿Cómo varía la regulación hídrica en las unidades hidrológicas de alta montaña priorizadas, con y sin implementación de diferentes medidas de adaptación al cambio climático?
- » ¿Aumentó la resiliencia de los modos de vida de las comunidades locales frente a los efectos del cambio y la variabilidad climática?
- » ¿Cómo se espera que contribuya cada medida de adaptación al mejoramiento de la regulación hídrica y al aumento de la resiliencia de los modos de vida?

Estas preguntas, derivadas de los objetivos e impactos esperados del proyecto, llevaron a la identificación de diversas escalas espaciales y temporales, así como componentes (ámbitos temáticos) del sistema de monitoreo.

Identificación de escalas temporales, espaciales y temáticas priorizadas

Considerando la complejidad que supone la medición del estado y tendencias de la adaptación en el contexto territorial de la alta montaña, se propuso establecer distintas escalas espaciales y temporales para el diseño y puesta en marcha de la estrategia de monitoreo, así como los diferentes componentes o ámbitos temáticos en los cuales se inscribe.

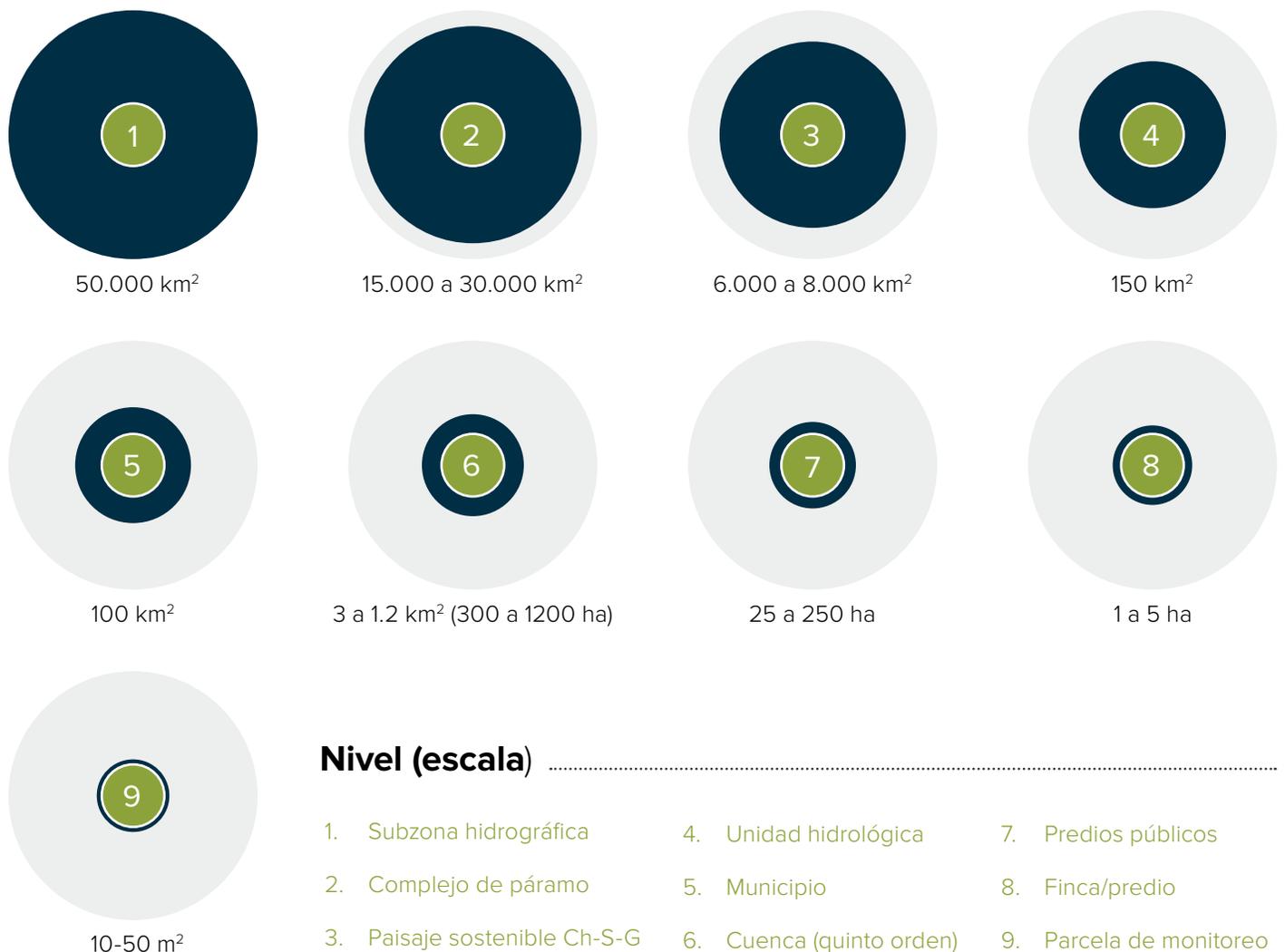
Ámbito geográfico y escalas espaciales de medición y análisis

La estrategia de monitoreo consideró diferentes escalas espaciales (Figura 2) debido a que las medidas y acciones de adaptación implementadas también operan a diferentes esca-

las. Por una parte, el proyecto se enmarcó en el cumplimiento de políticas públicas asociadas a los ecosistemas de páramo, lo que le confiere una visión regional (a nivel de complejo de páramo y sus subzonas hidrográficas) de las problemáticas y conflictos socioambientales, que por supuesto trasciende las áreas de intervención directa. Por otra parte, las acciones relativas a la caracterización de la hidrología y modelamiento de los efectos del cambio climático en distintos escenarios, así como los análisis de vulnerabilidad y riesgo, y su incorporación en diferentes sistemas de planificación territorial, operan a nivel de municipios y unidades hidrológicas de tercer orden (alrededor de 15.000 hectáreas).

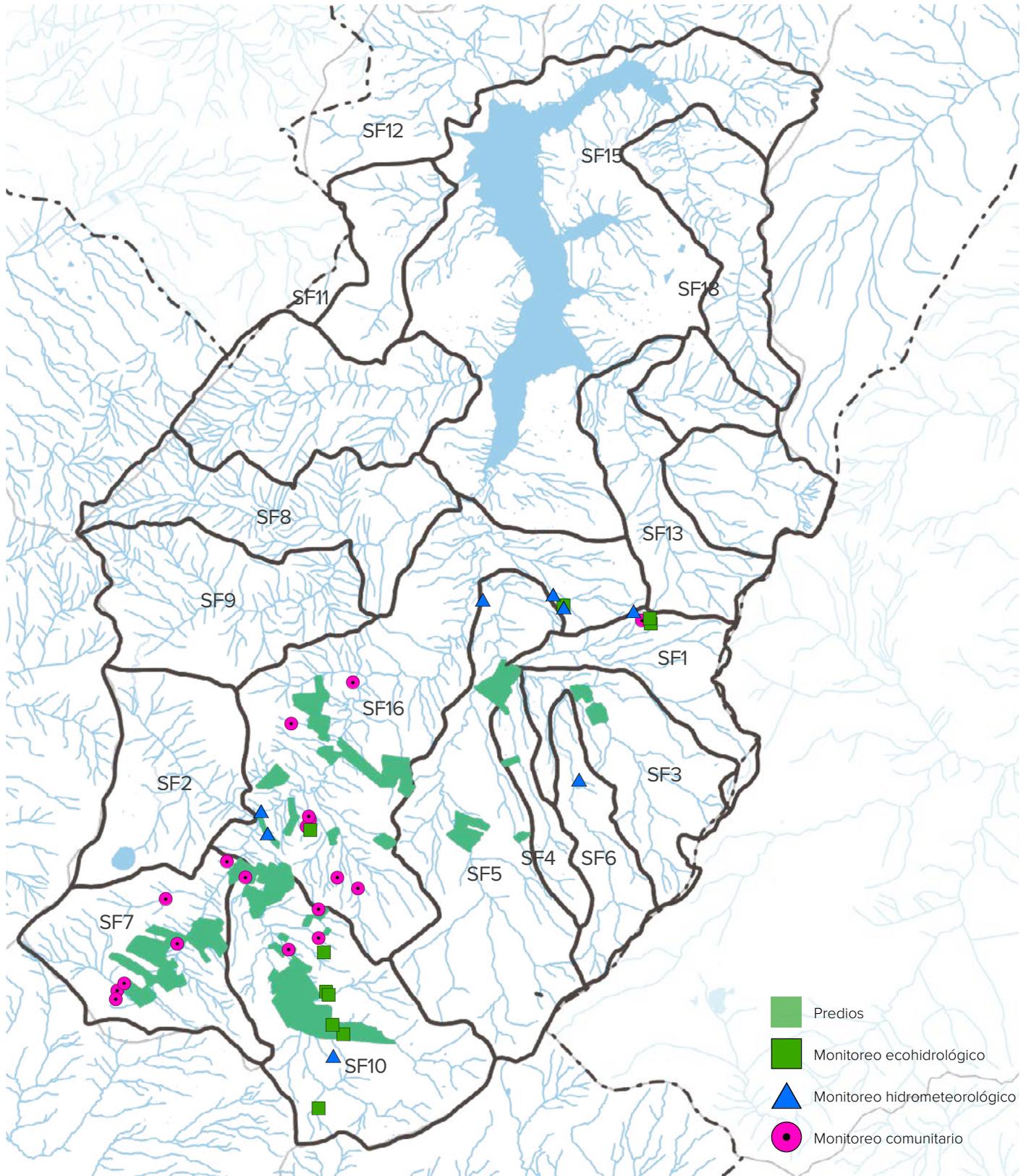
A su vez, las acciones de recuperación, adaptación y mejoramiento de sistemas productivos que se desarrollaron con la población local operan a escala de finca y predio (con tamaños que oscilan entre una y diez hectáreas). Por ende, las áreas de intervención correspondieron aproximadamente a menos del 1% de cada una de las unidades hidrológicas del proyecto (cuencas de tercer orden), por lo cual, se tendría menor nivel de sensibilidad para registrar cambios. Para ello se establecieron unidades hidrológicas de quinto orden escala 1:25.000 (ciento cuarenta a mil doscientas hectáreas) con el fin de desarrollar un análisis más detallado que procurara la agregación de los efectos de las medidas de adaptación en finca y predio y que permitirá generar efectos a escala de paisaje.

Figura 2. Escalas espaciales de monitoreo del sistema de monitoreo y evaluación del proyecto. Fuente: Proyecto, 2018.



Resultados

Figura 3. Delimitación de cuencas de quinto orden en el embalse del Sisga.



Respecto a las áreas de intervención y su respectiva área de influencia, se diseñó un monitoreo localizado en áreas de predios donde se implementaron medidas de adaptación y en áreas de referencia para efectos de control a nivel de cuencas de quinto orden. A partir de los resultados en términos de investigación y de análisis de registros de variables del balance hídrico y de monitoreo ecohidrológico, se desarrollaron análisis frente a los posibles escenarios futuros de modelación hidrológica sobre los cuales se proyectó cobertura de uso del suelo y dinámicas de uso y consumo del agua.

Escalas temporales (plazo y frecuencia)

La estrategia de monitoreo busca capturar señales de cambio en el corto (tiempo de vigencia del proyecto), mediano y largo plazo relacionadas con la respuesta de las medidas de adaptación implementadas en la regulación y suministro hídrico. No se tiene certeza de cuánto tiempo se requiere para que un indicador, como por ejemplo, el cambio de la diferencia entre el flujo pico y base en una cuenca estadísticamente demostrable como respuesta a la modificación del entorno, aún en cuencas de menor extensión, como puede ser el reemplazo o ajuste de un sistema de producción dado o una estrategia de restauración ecológica.

Por ende, el proyecto lideró el monitoreo a corto plazo y con su finalización lo transfirió a los socios del proyecto y a la comunidad, fortaleciendo de esta manera a las comunidades por medio de la articulación de un monitoreo participativo que se proyecta a largo plazo. La academia e institutos de investigación resultan un actor fundamental en este proceso, pues como se verá más adelante, las preguntas y ámbitos temáticos sobre los cuales se cimienta el sistema de monitoreo propuesto, requieren observaciones y mediciones de largo plazo, así como análisis más profundos.

Componentes del monitoreo y escalas espaciales

Los componentes establecidos para el sistema de monitoreo fueron: i) hidrometeorológico y climatológico, ii) ecohidrológico y diversidad funcional de la vegetación y iii) cambio climático y sistemas productivos. El levantamiento de la línea base implicó rigurosidad en la toma de datos, por

medio de protocolos de monitoreo, convenios de investigación, modelación y simulación de escenarios de gestión, y un enfoque robusto en el fortalecimiento de capacidades de la comunidad local, comunidad académica y organizaciones locales de las cuencas vinculadas al proyecto. Dicha metodología respondió a la necesidad de representar la complejidad de la cuenca y de qué implica el monitoreo, análisis y evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica y suministro de agua y bienestar humano.

Por medio del monitoreo hidrometeorológico se caracterizaron las cuencas de quinto orden, identificando régimen hidrológico de precipitación en la cuenca alta y la oferta hídrica sobre sus corrientes hídricas, además de variables meteorológicas no medidas por otras estaciones de los socios, como lluvia horizontal, temperatura y humedad del suelo.

Esta información, además, fue insumo para analizar el balance hídrico en las coberturas vegetales de referencia monitoreadas por parte de la Pontificia Universidad Javeriana en el marco del componente ecohidrológico, donde se identificaron por cada tipo de cobertura vegetal los comportamientos en interceptación horizontal (niebla) y vertical (lluvia) del dosel, evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración. Estos componentes fueron correlacionados con el contenido de carbono en el suelo y la diversidad funcional de la vegetación, lo cual permitió inferir la función de regulación hídrica de las diferentes coberturas, y que posteriormente fue modelada a escala de paisaje.

Por su parte, el monitoreo comunitario y participativo se estableció como la estrategia a largo plazo que hace factible el monitoreo de la efectividad de las medidas de adaptación, aplicado a la realidad socioeconómica y ambiental del área, y se ajusta a la incertidumbre que generan la influencia futura de motores de cambio socioeconómico y los escenarios de cambio climático. Este monitoreo comprendió la medición de variables clave como precipitación, temperatura y humedad relativa, y eventos de heladas, con un impulso para que las comunidades se apropiaran del conocimiento climático local, identificaran patrones de cambio y eventos extremos, y eva-

lucaran sus efectos en predios con y sin medidas de adaptación, tanto en los ecosistemas como en sus sistemas productivos y medios de vida.

La metodología para abordar los diferentes componentes de monitoreo bajo diferentes escalas espaciales, se presenta en la Tabla 1.

Escala espacial		Componentes del sistema de monitoreo		
Ámbito	Área	Hidrometeorológico y climatológico	Ecohidrológico y diversidad funcional	Monitoreo comunitario: parámetros climáticos y sistemas productivos
Paisaje Sostenible	6.000 a 8.000 km ²	Red de estaciones socios.	N.D.	N.D.
Unidad hidrológica y cuencas	5 a 150 km ²	Toma de datos meteorológicos, hidrológicos y agrometeorológicos.	Modelación hidrológica y de paisaje de acuerdo a la diversidad funcional a escala de paisaje.	Nodos de la red de monitoreo comunitario.
Predios públicos y privados	0.25 a 2.5 km ²	Monitoreo comunitario y participativo meteorológico local.	Monitoreo de variables hidrológicas, de la vegetación y del suelo a escala de ecosistema	Monitoreo comunitario del clima.
Parcelas	0.01 a 6.4 km ²	No desarrollado a esa escala	Línea base ecohidrológica.	Monitoreo de producción de leche asociado al clima.

Componente hidrometeorológico y climatológico

El componente de hidroclimatología tiene como objetivo caracterizar el comportamiento climático, los patrones de oferta hídrica y el régimen hídrico propio de cada unidad hidrológica priorizada por el proyecto. De esta forma, se puede contar con información a una resolución temporal y espacial mayor que permite inferir el aporte de cada cuenca de menor orden, no solo de acuerdo con su morfometría y cobertura vegetal sino con las condiciones meteorológicas a lo largo del periodo medido en campo. Además, con los datos climatológicos que se proyecta medir a largo plazo, a escala local, por medio del monitoreo comunitario, se podrá medir el efecto del cambio climático en las variables meteorológicas medidas.

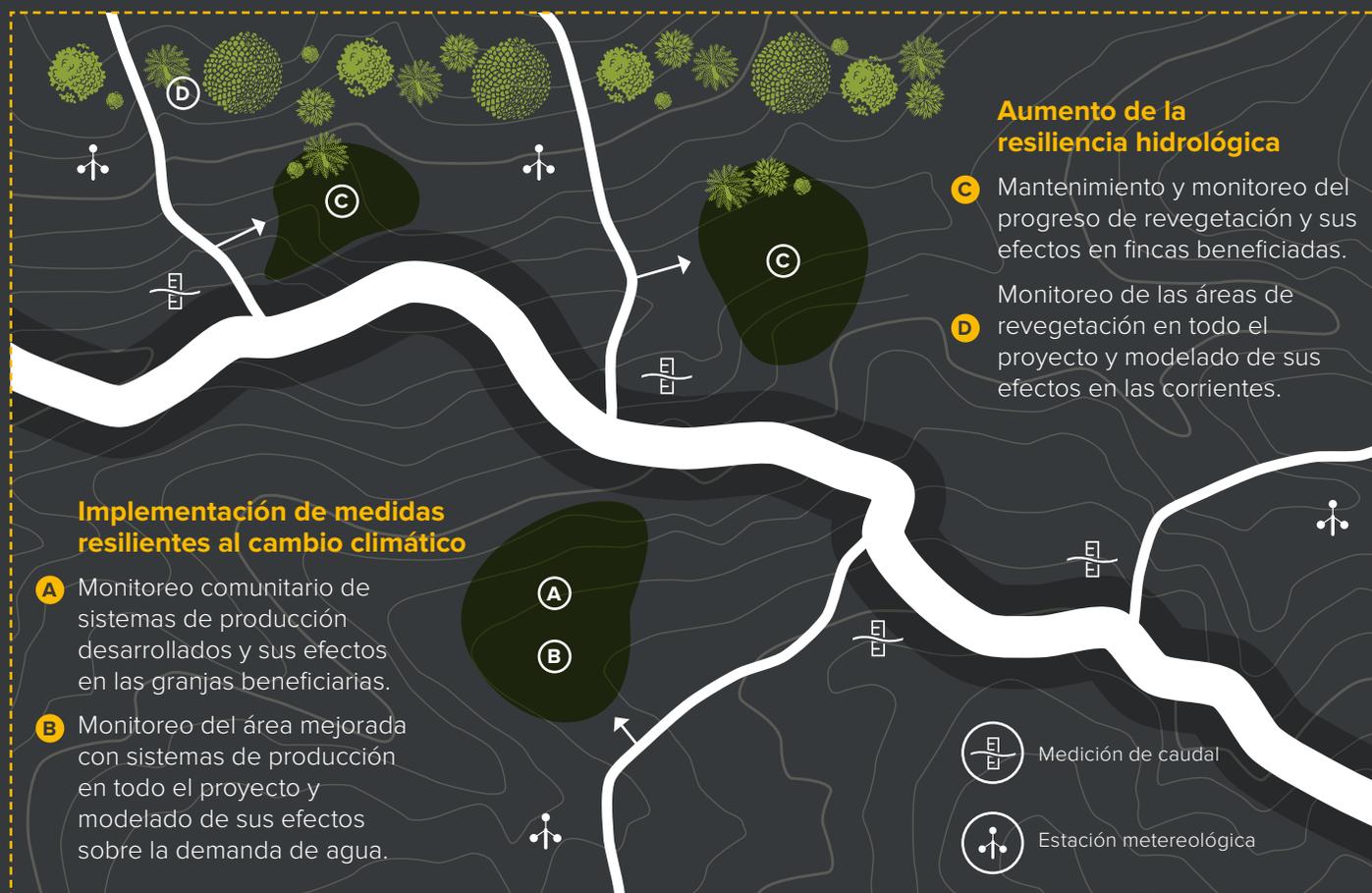
Metodológicamente lo ideal sería instalar una estación de monitoreo por cuencas establecidas hasta quinto orden con escala 1:25.000 con predios intervenidos, como se representa en la Figura 4, propendiendo contar con estaciones meteorológicas e hidrológicas ins-

taladas y operadas por autoridades ambientales y actores que son socios del proyecto (IDEAM, CAR, CORPOGUAVIO, EAB).

Para el diseño de los puntos de monitoreo de tipo meteorológico y agrometeorológico se evaluaron los puntos monitoreados por la red de estaciones de socios del proyecto — IDEAM, CAR y EAB— en las unidades hidrológicas de estudio, de acuerdo con la información contenida en los catálogos de estaciones de estas entidades. Una vez evaluada dicha información, se seleccionaron las estaciones localizadas en las unidades hidrológicas priorizadas en el proyecto (Figura 3).

Además, se tuvo en cuenta la adopción de puntos de monitoreo, en especial, en las cuencas establecidas hasta quinto orden con escala 1:25.000 y con un radio de monitoreo de 4 km, con el fin de incorporar variables tomados en áreas no monitoreadas, como es el caso de algunas partes altas de las cuencas y de ofrecer un mayor radio de acción al sugerido por la Organización Meteorológica

Tabla 1. Metodología establecida para los componentes del sistema bajo diferente escala espacial.



Mundial (OMM), puntualmente para datos pluviométricos, el cual sugiere una distancia media de 25 km y un radio de acción de 12 a 15 km, aunque sugiere la mitad de la distancia para áreas montañosas.

Para los datos hidrológicos, se establecieron cuencas hasta quinto orden escala 1:25.000, con el fin de tener una caracterización que permitiera identificar cuencas de menor tamaño que incluyeran áreas de intervención del proyecto, en las cuales se pudiera medir la función de regulación y suministro, con mayor sensibilidad.

Además, se identificaron posibles cuencas de referencia, las cuales, por sus características morfométricas y fisiográficas, y por contar con tendencias de usos del suelo y actividades desarrolladas fuera del alcance del proyecto, pudieran ser comparadas con las cuencas de hasta quinto orden con escala 1:25.000 que tenían predios intervenidos por el proyecto.

Los datos de niveles de las corrientes fueron tomados por medio de sensores validados por medio de limnímetros de referencia en la sección monitoreada. Los datos de caudal fueron obtenidos por medio de la curva de gastos construidos a partir de los datos de nivel y los aforos que se efectuaron por parte del profesional de monitoreo comunitario del proyecto.

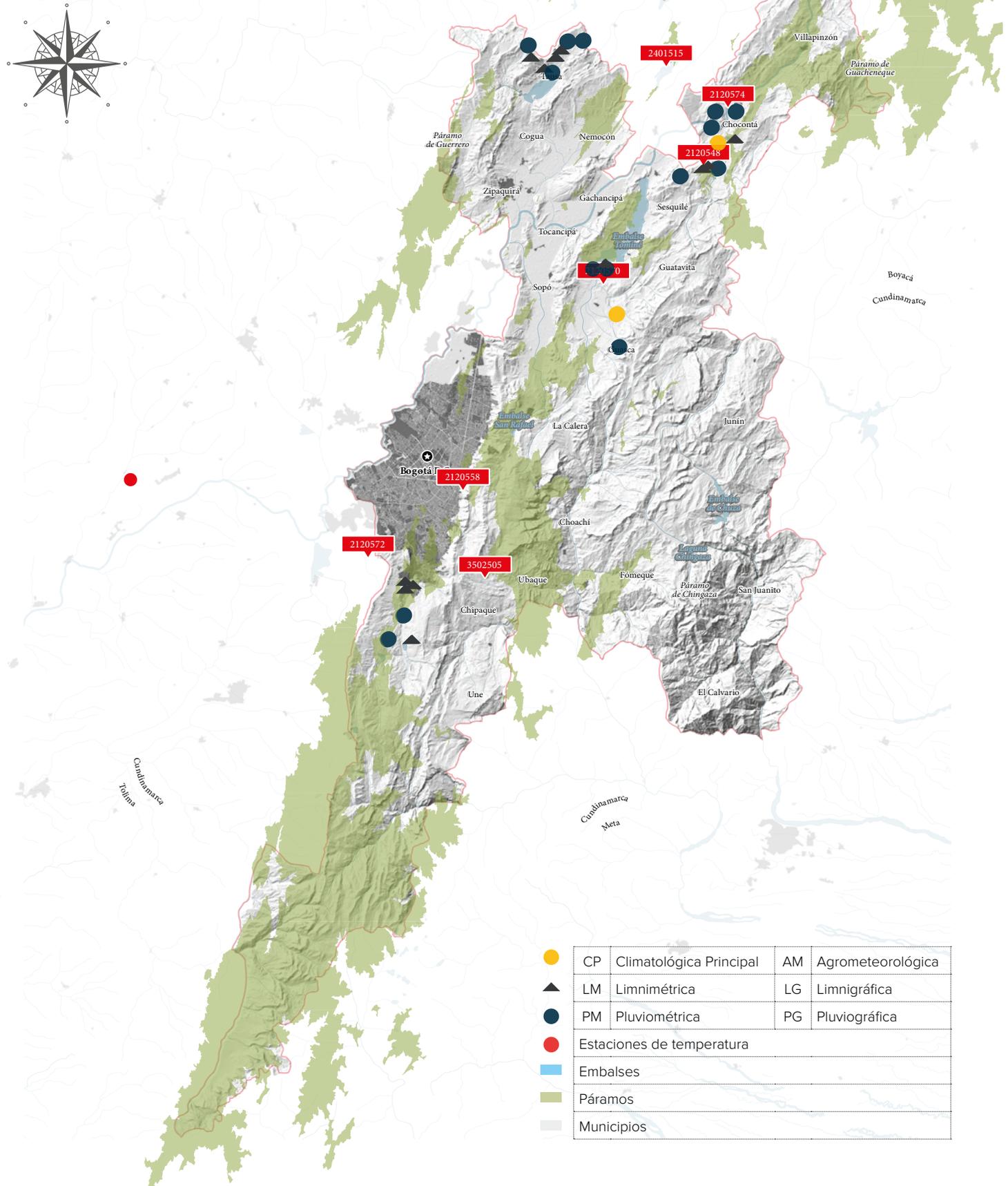
Aunque un análisis estadístico de los cambios asociados con estas cuencas a comparar, puede no ser apropiado por no contar con un periodo de calibración que ofrezca un soporte de causalidad, se emplearon pruebas estadísticas como t pareada o una prueba de t no paramétrica para hacer comparaciones de los caudales. En algunos casos, para entender la influencia de los factores externos en las diferencias observadas entre las cuencas de quinto orden con y sin intervención, se compararon las regresiones entre caudales, considerando las variables meteorológicas.

Figura 4.

Esquema de estaciones básicas autónomas del sistema de monitoreo en las cuencas intervenidas establecidas hasta quinto orden con escala 1:25.000.

Fuente: comunicaciones GEF alta montaña (2017).

Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas e hidrológicas de los socios del proyecto en las unidades hidrológicas y las microcuencas priorizadas.



Componente ecohidrología y diversidad funcional

Bajo el enfoque de adaptación basada en ecosistemas, el componente ecohidrológico del sistema de monitoreo busca avanzar en la comprensión de las relaciones funcionales entre distintos componentes del paisaje y la biodiversidad con la regulación hídrica a escala local.

Lo anterior requiere de una estimación cuantitativa del aporte de diferentes tipos de vegetación y arreglos productivos en el balance hídrico a nivel de cuencas hidrográficas intervenidas por el proyecto. Para ello, se debió partir de una caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo más relevante en el balance hídrico, así como distintos atributos y rasgos funcionales de la vegetación en ecosistemas y sistemas de producción de referencia, junto con una observación continua de diferentes parámetros. Lo anterior permite modelar la respuesta que tendrán los diferentes tipos de vegetación y el paisaje en la regulación hídrica frente a cambios en el clima y en el uso del suelo. A partir de estos resultados, el proyecto estuvo en capacidad de simular la respuesta hidrológica de las diferentes medidas de adaptación bajo escenarios de cambio climático, permitiendo proyectar estrategias de gestión del recurso hídrico soportadas técnica y científicamente.

Componente monitoreo comunitario: cambio climático y sistemas productivos

Como se mencionó anteriormente, este componente se consolida como el monitoreo a largo plazo que hace posible el monitoreo de la efectividad de las medidas de adaptación aplicado a la realidad socioeconómica y ambiental del área, y se ajusta a la incertidumbre que generan la influencia futura de motores de cambio socioeconómico y los escenarios de cambio climático.

De este proceso hizo parte el empoderamiento de las comunidades a partir del conocimiento de su entorno y del impacto que tienen las prácticas realizadas, no solamente en el ambiente sino en la productividad y calidad de vida. Para ello, se entregaron kits de monito-

reo compuestos por: planillas de registro, instrumentos de monitoreo, plantillas de gráficas, calendario y marcadores. Así mismo, se efectuaron visitas, capacitaciones *in situ* y jornadas de presentación e intercambio de experiencias con el fin de conformar la red de monitoreo y promover su comunicación e interacción.

El monitoreo comunitario inició con el grupo focal en la microcuenca del río San Francisco, tuvo siete miembros y fue el punto de partida para la conformación la red de monitoreo con las demás unidades hidrológicas, las cuales a la fecha de cierre del proyecto contaban con los miembros presentados a continuación:

Microcuenca	Familias	Puntos de monitoreo
San Francisco	17	17
Chisacá	12	4
Guandoque	5	5
Chipatá	6	6

Los miembros de la red efectuaron el monitoreo de las variables de precipitación cada 24 horas, temperatura máxima y mínima, humedad máxima y mínima cada 12 horas, y eventos de heladas.

Además, apoyaron el monitoreo ecohidrológico por medio del monitoreo de lluvia horizontal y han efectuado un monitoreo asociado a la producción de leche, con el fin de establecer la influencia del clima local y para establecer rangos de las variables monitoreadas que generan niveles óptimos en dicha producción.

La red de monitoreo participó en jornadas de intercambios de experiencias y presentación de resultados de las variables monitoreadas ante actores interesados, socios del proyecto y entidades ambientales, entre otros.

Tabla 2. Preguntas orientadoras del sistema de monitoreo

Ámbitos		Componente		
Nivel (escala)	Tamaño	Hidrometeorológico	Ecohidrológico	Cambio climático y sistemas productivos
Subzona hidrográfica	50.000 km ²			
Complejo de páramo	15.000 a 30.000 km ²	¿Cuál es la oferta hídrica media, y en época seca, de las cuencas de tercer orden del área?		
Paisaje sostenible Chingaza, Sumapaz, Guerrero	6.000 a 8.000 km ²			
Unidad hidrológica	150 km ²	¿Cuál es la participación de variables meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas en el balance hídrico de las cuencas intervenidas por el proyecto establecidas de quinto orden escala 1:25.000?	¿Cuál es la estimación de área, distribución espacial y tipos de cobertura vegetal requeridos para favorecer la regulación hídrica en las unidades hidrológicas del proyecto, bajo los escenarios históricos y de cambio climático? - modelamiento ecohidrológico	
Municipio	100 km ²			
Cuenca (quinto orden)	5 km ²			
Predios públicos	25 a 250 ha			
Finca	1 a 5 ha	¿Cuál es el comportamiento de variables meteorológicas en las fincas intervenidas por el proyecto y qué eventos extremos pueden inferirse a partir de dicho comportamiento?	¿Cuál es el comportamiento de componentes del balance hídrico de acuerdo a las coberturas vegetales de las fincas intervenidas por el proyecto?	¿Las medidas de adaptación implementadas aumentaron la resiliencia de medios de vida en las fincas intervenidas?
Parcela de monitoreo	10 a 50 m ²		¿Qué tipos de vegetación y paisaje favorecen la regulación hídrica bajo escenarios históricos y de cambio climático en la alta montaña de acuerdo al balance hídrico cuantificado a partir de los atributos funcionales más relevantes asociados a este servicio ecosistémico?	

Preguntas, objetivos e indicadores

Se formuló un conjunto de preguntas orientadoras para cada componente y escala espacial de la estrategia de monitoreo propuesta, tal como se describe en la Tabla 2.

Estándar desarrollado para la formulación y documentación de los indicadores

Se plantearon tres grupos de indicadores los cuales se asociaron a las medidas de adaptación planteadas para las escalas espaciales de intervención y monitoreo. Aunque en la li-

teratura se puede encontrar una amplia batería de posibles indicadores, de acuerdo con experiencias en otros sistemas de monitoreo, se recomienda priorizar la obtención de datos de indicadores de fácil medición que se deben recopilar y analizar y, en la medida que el sistema se consolide, se puede ampliar el alcance del sistema de monitoreo.

La selección de los indicadores parte de la estructura SMART, que de acuerdo con Vallauri et al., 2005 y Naswa et al., 2015 deben ser:



Simples de medir.



Confiables en relación con los estados y funciones del ecosistema, y en este caso, asociados a regulación hídrica.



Medibles a bajo costo y sin que requieran mucha experiencia.



Oportunos de modo tal que su medida pueda coincidir con los cambios y el manejo adaptativo del ecosistema.



Relevantes asociados a estados claves de cambio.

Figura 5. Ficha modelo de los indicadores del sistema de monitoreo del proyecto.

ID	
Indicador	
Tipo	<input type="checkbox"/> Impacto <input type="checkbox"/> Gestión
Componente	<input type="checkbox"/> Hidrometeorológico <input type="checkbox"/> Ecohidrológico <input type="checkbox"/> Dinámicas territoriales <input type="checkbox"/> Biodiversidad
Nivel (escala)	<input type="checkbox"/> Cuenca (5to orden) <input type="checkbox"/> Finca <input type="checkbox"/> Predios públicos <input type="checkbox"/> Entes territoriales <input type="checkbox"/> Parcela
Objetivo	Pregunta
Metodología de muestreo	
Descripción	Fórmula
Información requerida	Variables
Unidad de medida	Rango
Frecuencia de monitoreo	Duración de monitoreo
Fuentes de información	Tomada por medio de
Resultado esperado	
Limitaciones del indicador	<input type="checkbox"/> Escala espacial <input type="checkbox"/> Alcance técnico <input type="checkbox"/> Intervalo <input type="checkbox"/> Fuente de información <input type="checkbox"/> Interferencias / ruido
Limitaciones del resultado	
Enfoque de adaptación	<input type="checkbox"/> Ecosistemas (AbE) <input type="checkbox"/> Comunidades (AbC) ¿Cómo se evidencia la adaptación?
Relación con análisis de vulnerabilidad	<input type="checkbox"/> Exposición <input type="checkbox"/> Capacidad adaptativa <input type="checkbox"/> Sensibilidad <input type="checkbox"/> Resiliencia
Líneas estratégicas del plan nacional de adaptación	<input type="checkbox"/> 1. Concientizar sobre el cambio climático <input type="checkbox"/> 2. Generar información y conocimiento para medir el riesgo climático <input type="checkbox"/> 3. Planificar el uso del territorio. <input type="checkbox"/> 4. Implementar acciones de adaptación <input type="checkbox"/> 5. Fortalecer la capacidad de reacción
Política nacional de cambio climático - Líneas estratégicas	<input type="checkbox"/> A. Desarrollo rural bajo en carbono y resiliente al clima <input type="checkbox"/> B. Desarrollo urbano bajo en carbono y resiliente al clima <input type="checkbox"/> C. Desarrollo minero- energético bajo en carbono y resiliente al clima <input type="checkbox"/> D. Desarrollo de infraestructura baja en carbono y resiliente al clima <input type="checkbox"/> E. Manejo y conservación de ecosistemas y servicios ecosistémicos para un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima
Política nacional de cambio climático - Líneas instrumentales	<input type="checkbox"/> Planificación de la gestión del cambio climático <input type="checkbox"/> Información y ciencia, tecnología e investigación <input type="checkbox"/> Educación <input type="checkbox"/> Financiación e instrumentos económicos

De acuerdo con lo anterior, se elaboró una ficha de monitoreo para el seguimiento de los indicadores del proyecto (Figura 5).

Objetivos de monitoreo de acuerdo con las diferentes escalas espaciales, temporales y temáticas

De acuerdo con las preguntas de investigación planteadas, los objetivos de monitoreo por componente y de acuerdo con la escala de análisis se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Objetivos de investigación del sistema de monitoreo

Ámbitos		Componente		
Nivel (escala)	Tamaño	Hidrometeorológico	Ecohidrológico	Cambio climático y sistemas productivos
Subzona hidrográfica	50.000 km ²			
Complejo de páramo	15.000 a 30.000 km ²	Calcular el rendimiento hídrico medio, y en condiciones secas, de unidades hidrológicas y las microcuencas intervenidas por el proyecto.		
Paisaje sostenible Ch-S-G	6.000 a 8.000 km ²			
Unidad hidrológica	150 km ²	Calcular el indicador de regulación hídrica sobre el año monitoreado en las cuencas intervenidas.		
Municipio	100 km ²	Calcular el rendimiento hídrico anual sobre el periodo monitoreado en las cuencas intervenidas, establecidas de quinto orden escala 1:25.000.	Estimar la distribución espacial y tipos de cobertura vegetal requeridos para favorecer la regulación hídrica en las unidades hidrológicas del proyecto, bajo los escenarios históricos y de cambio climático.	
Cuenca (quinto orden)	5 km ²	Caracterizar la participación de variables meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas del balance hídrico de las cuencas intervenidas por el proyecto, establecidas de quinto orden escala 1:25.000.		
Predios públicos	25 a 250 ha			

Ámbitos		Componente		
Nivel (escala)	Tamaño	Hidrometeorológico	Ecohidrológico	Cambio climático y sistemas productivos
Finca	1 a 5 ha	Fortalecer y promover el conocimiento cuantitativo de variables climáticas por parte de la comunidad, con el fin de que lo empleen en la adopción de medidas de adaptación y respuesta ante eventos extremos y ante el cambio climático.	Fortalecer y promover el conocimiento cuantitativo de variables ecohidrológicas por parte de la comunidad, con el fin de que evalúen la efectividad de la adopción de medidas de adaptación en sus predios.	Estimar la efectividad de las medidas de adaptación implementadas frente al aumento de la resiliencia de medios de vida en las fincas intervenidas. Estimar el cambio del comportamiento económico de las familias debido a la adopción de las medidas de adaptación – <i>ex ante/ex post</i> .
			Estimar los tipos de vegetación que favorecen la función de regulación hídrica bajo escenarios históricos y de cambio climático en ecosistemas de bosque altoandino y páramo y arreglos productivos priorizados, de acuerdo al balance hídrico cuantificado a partir de sus atributos funcionales.	
Parcela de monitoreo	10 a 50 m ²			

Indicadores y variables por componente

De acuerdo con el diseño del sistema de monitoreo y evaluación que fue planeado, se establecieron las preguntas de investigación y los objetivos más relevantes, teniendo en cuenta las escalas espaciales de monitoreo del proyecto GEF alta montaña y sus

componentes, como se presenta en la Tabla 1 y en la Tabla 2, respectivamente. De acuerdo con las preguntas y los objetivos del sistema de monitoreo se realizó un diseño detallado de la batería de indicadores (Tabla 4), y de cada indicador.

Tabla 4. Indicadores del sistema de monitoreo y evaluación del proyecto.

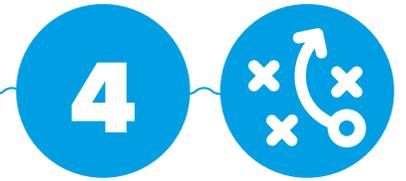
Ámbitos		Componente		
Nivel (escala)	Tamaño	Hidrometeorológico	Ecohidrológico	Dinámicas territoriales
Cuenca (quinto orden)	5 km ²	HM1. Rendimiento hídrico medio y en época seca - caudales medios, mínimos y máximos. HM2. Tasa Qmin mensual anual / Qmax mensual anual. HM3. Coeficiente de escorrentía.		DT1. Esquemas y planes de ordenamiento territorial en los que se hayan incorporado medidas de adaptación al cambio climático de acuerdo a escenarios obtenidos. DT2. Proyectos formulados y postulados para financiación con enfoque AbE y AbC. DT3. Fortalecimiento de capacidades de comunidades de base con enfoque diferencial, con la participación en implementación de medidas de adaptación de restauración.
Predios públicos	25 a 250 ha	HM4. Levantamiento y acceso a información meteorológica.	EH1. Escorrentía en los tipos de vegetación. EH2. Evapotranspiración en los tipos de vegetación. EH3. Lluvia horizontal en los tipos de vegetación. EH4. Infiltración en el suelo de acuerdo a los tipos de vegetación. EH5. Carbono orgánico y humedad en el suelo de acuerdo a los tipos de vegetación.	DT4. Fortalecimiento de capacidades de autoridades ambientales y administraciones municipales, por medio de capacitación en adaptación al cambio climático. DT5. Cambio del ingreso económico de las familias producto de la adopción de las medidas de adaptación – <i>ex ante/ex post</i> .
Finca	1 a 5 ha			
Parcela de monitoreo	50 m ²			

SECCIÓN

4



La experiencia de la implementación de la red de monitoreo



El proyecto se enfocó principalmente en la estimación de los efectos esperados en el corto y mediano plazo de las acciones de adaptación implementadas, tanto en la regulación hídrica de las áreas priorizadas como en el bienestar de las comunidades involucradas (asociado al mejoramiento de las condiciones de producción y uso del agua).

Considerando la complejidad que supone la medición del estado y tendencias de la adaptación en el contexto territorial de la alta montaña, se propuso establecer distintas escalas espaciales y temporales para el diseño y puesta en marcha del sistema de monitoreo, así como los diferentes componentes o ámbitos temáticos en los cuales se inscribe. Entre las escalas espaciales, con el apoyo de los socios, se cuenta con áreas de subzona hidrográfica, complejo de páramo, paisaje sostenible Chingaza - Sumapaz - Guerrero y unidad hidrológica y municipio. Con las acciones del sistema de monitoreo del proyecto se llegó a escala de predios públicos, cuencas de hasta primer orden, fincas/predio y parcelas de monitoreo. En cuanto a escala temporal se incorporaron dos: a corto plazo establecida como el tiempo de levantamiento de línea base por parte de las estrategias de monitoreo del proyecto y a mediano y largo plazo, que constituye la estrategia de monitoreo comunitario y participativo.

Sitios de monitoreo y resultados contexto local

La región cundinamarquesa en donde se desarrolló el proyecto GEF alta montaña abarca veintidós municipios asociados a los complejos de los páramos de Chingaza, Sumapaz y Guerrero y a la cuenca del río Bogotá. Más a nivel local, el trabajo se concentró en cuatro microcuencas: San Francisco, Guandoque, Chipatá y Chisacá.

La microcuenca del río San Francisco nace a los 3.100 metros de altitud en cercanías al complejo de páramos de Chingaza. Abarca áreas rurales de los municipios de Guatavita y Sesquilé y desemboca en el embalse de El Sisga a 2.674 metros de altitud en el municipio de Chocontá. Sus habitantes son familias campesinas que se ocupan de lograr un sustento diario a través del jornaleo, la entrega de leche cruda, la producción de papa, el procesamiento de algunos productos y la oferta de servicios a proyectos en la zona. Es un área sometida a presiones como la expansión urbana y rural de la sabana de Bogotá, con dinámicas económicas y productivas que demandan suelo, agua y energía de manera creciente y acelerada; también al cambio climático y sus efectos como temperaturas más altas y transformaciones en los regímenes de lluvia, que ponen en riesgo la productividad agrícola, industrial y el suministro de agua en la región.

La microcuenca del río Guandoque nace en la Laguna Verde, en el municipio de Tausa a 3.640 metros de altura, luego de recorrer cerca de 10.5 kilómetros, se une con el río Salitre y forma el río Cubillos. De sus aguas se nutren los acueductos veredales Monte de Osos, El Encenillo y Charnal, Barriales, que benefician cerca de cuatrocientos usuarios. El embalse del Neusa a través del sistema Tibitoc suministra agua a parte de Bogotá y a Sopó, Gachancipá, Tocancipá, Cajicá y Chía. Allí predominan los cultivos transitorios, pastos, chuscal y un espacio significativo de bosque. La presencia de ganadería es poca. El deterioro del ambiente es causado por la contaminación por plaguicidas, el arrasamiento de la vegetación en zonas de ronda hídrica y la explotación de carbón que afecta a los humedales y a quebradas vecinas.

La microcuenca del Chipatá nace en Guasca dentro del área de páramo Grande y llega al río Siecha que drena al embalse de Tominé. De sus aguas se abastecen el área urbana del municipio y ciento veinticinco captaciones independientes. Allí, la Reserva Forestal Protectora Páramo Grande (declarada en 1975), se ubica al suroriente del municipio de Guasca, abastece a diferentes acueductos del municipio y contribuye a la alimentación de Tominé. La producción agrícola se combina con la producción ganadera de muy pequeña escala. Es un área donde predominan predios superiores a las doscientas hectáreas. En esta zona casi han desaparecido las coberturas boscosas nativas y se presenta una gran dinámica productiva con el establecimiento de áreas

agrícolas y plantaciones de pino que según las asociaciones de usuarios de los acueductos, son responsables de la reducción de caudales que por años han mostrado la quebrada El Uval y el río Chipatá.

La microcuenca del Chisacá hace parte de la cuenca alta del río Tunjuelo, en la zona rural de la localidad de Usme (Bogotá D. C.). En la parte alta la vegetación aún se encuentra en buen estado de conservación y es un importante corredor ecológico de biodiversidad, pero su deterioro se hace evidente a medida que se descende, incluso es prácticamente reemplazada por pastos, cultivos y especies invasoras. De los cuerpos de agua de esta cuenca dependen más de 2.5 millones de personas. También alimenta a los embalses de la Regadera y Chisacá, que abastecen gran parte del sur de la ciudad y suministra agua potable a cerca de 250.000 personas que habitan en Usme.

Las actividades productivas siempre han tenido graves conflictos, pues en áreas que deberían estar destinadas a protección, se desarrollan actividades agropecuarias (cultivos de papa, arveja y ganadería de pequeña a gran escala). También se presenta la explotación ocasional de recebo para mantenimiento de carreteras. Los principales productos agrícolas son: la papa, arveja, el haba y otros productos de subsistencia como: cebolla, papa criolla, cubios, maíz y algunas frutas. La ganadería está orientada al engorde y la extracción de leche para la fabricación artesanal de quesos.

Balance ecohidrológico de coberturas vegetales



Objetivo

Estimar el aporte de cada componente del balance hídrico al balance total del agua en cada cobertura vegetal.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el aporte de cada componente del balance hídrico al balance ecohidrológico total en cada cobertura vegetal?

Escala espacial

Área del conglomerado de acuerdo al Inventario Forestal Nacional (IFN).

Escala temporal y frecuencia

Corto plazo, línea base al inicio del Proyecto, con una proyección de monitoreo a largo plazo en diferentes momentos del año (época seca y húmeda).

Dependiendo del componente hídrico evaluado, hay tomas de datos que se realizan una vez en la estación seca y una vez en la estación húmeda y otros datos que se toman a diario.

Metodología

Niebla: se construyó una trampa de niebla por conglomerado. Esta permite la condensación de las gotas de niebla sobre una malla y dirige el agua hacia un colector. Debido a que la trampa colecta tanto el agua de la precipitación horizontal como la de la vertical, se instaló un pluviómetro al lado de la trampa y se cuantificó el agua proveniente de niebla mediante la siguiente ecuación: $\text{intercepción niebla} = ((V \text{ niebla} \times (\text{área malla})) + (V \text{ lluvia} \times (\text{área canaleta})) / (V \text{ lluvia} (\text{mm pluviómetro} \times \text{área canaleta}))$.

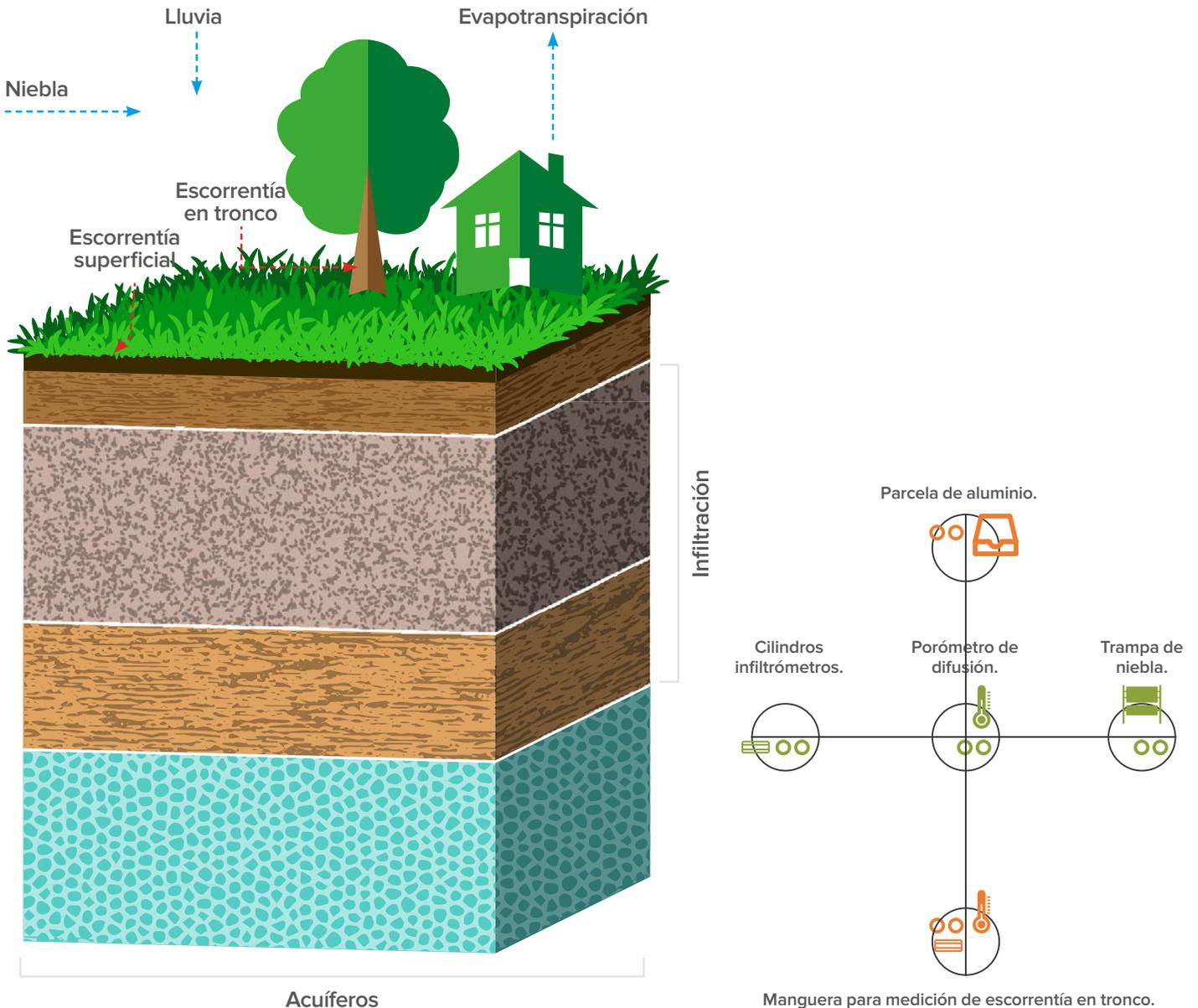
Escorrentía superficial: se instaló una parcela en aluminio de dimensiones 100 x 100 x 50 centímetros en dirección a la pendiente. Para hacer la medición se vertió dentro un volumen inicial conocido de agua para simular un evento de precipitación hasta la saturación total del suelo, se registró el volumen final escurrido a través del desagüe de la parcela. Adicionalmente se registró la humedad inicial y final del suelo y el grado de inclinación de la superficie para poder estandarizar, posteriormente, los datos obtenidos en todos los conglomerados.

Evapotranspiración: las mediciones se realizaron con el porómetro de difusión en las cinco especies más representativas de cada conglomerado y para diez hojas por cada especie. Adicionalmente se calculó la humedad relativa y el índice de área foliar de las coberturas a partir de fotografías hemisféricas de 180° en donde se estimó el número de píxeles correspondientes a la cobertura vegetal y se extrapolaron las mediciones en una sola medida para todo el dosel.

Infiltración del suelo: se midió mediante cilindros infiltrómetros que se llenaron de agua para cronometrar el tiempo que tardó en infiltrarse el agua en la tierra. Las lecturas del nivel de la lámina de agua se realizaron cada dos minutos durante los primeros veinte minutos y después cada cinco minutos hasta completar la saturación del suelo. La velocidad de infiltración se calculó mediante la fórmula siguiente: I = velocidad de infiltración, expresada en

mm/hora, t = tiempo de contacto del agua con el suelo, expresado en minutos, a = coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo, b = exponente adimensional que varía de acuerdo con las características del suelo entre 0 y -1. Por cada intervalo de tiempo de medición, se calculó el diferencial entre el nivel de la lámina de agua en t y el nivel en $t+1$, a partir del cual se obtuvieron dos curvas: la curva de la lámina de agua acumulada respecto al tiempo, y la curva de velocidad de infiltración respecto al tiempo.

Figura 6. Esquema metodológico para medición de diferentes variables: evapotranspiración, infiltración y escorrentía para la determinación del balance ecohidrológico.



Escorrentía en tronco: se instaló una manguera transparente de PVC flexible de dos centímetros de diámetro interno. Se le realizó un corte longitudinal formando un canal alrededor de dos árboles o arbustos por conglomerado. En la parte inferior de la manguera se colocó un colector que permitió registrar el volumen de agua recolectado por período de tiempo transcurrido. Para extrapolar los datos al conglomerado se registró el diámetro y el área de la copa y el número de árboles totales, se aplicaron las siguientes ecuaciones: área del árbol o arbusto = π (área de la copa), área alométrica = área del árbol o arbusto x número de individuos, total de agua ($Lm^{-2}mes^{-1}$) = (agua colectada (L)xx área alométrica (m^2)) / (área de la parcela (m^2)).

Balance ecohidrológico: para la determinación del balance ecohidrológico se realizaron las conversiones de todos los factores medidos al mismo sistema de unidades: $L m^{-2} mes^{-1}$. Se graficaron las entradas de agua al sistema (lluvia y niebla) con valores positivos en un gráfico de barras y se determinó la proporción de cada componente en función de las entradas. Cada componente de salida (evapotranspiración, infiltración y escorrentía) fue representado en el gráfico con valores negativos para representar las pérdidas dentro de cada cobertura vegetal.



 Violeta Martínez Amigo



 Violeta Martínez Amigo



 Paola Alarcón



 Paola Alarcón



 Violeta Martínez Amigo

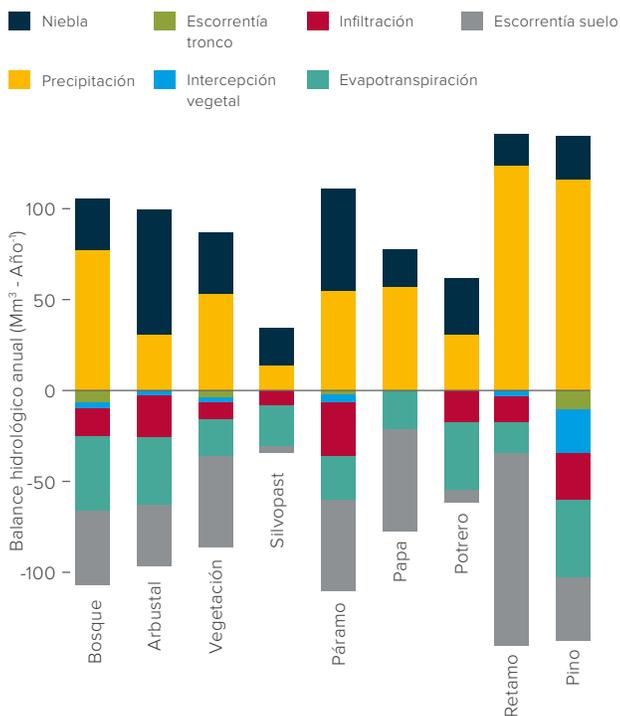
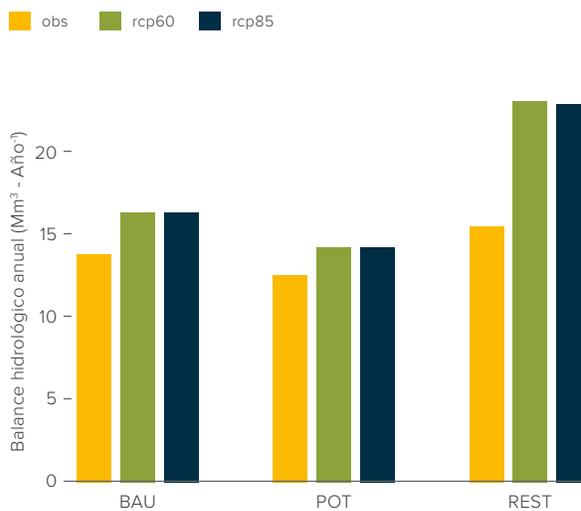
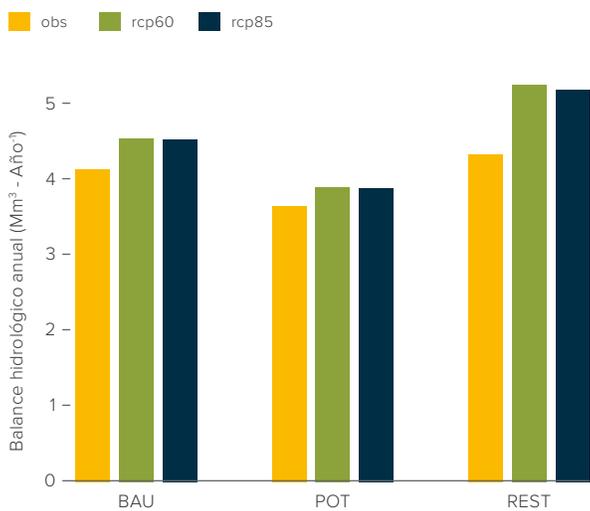


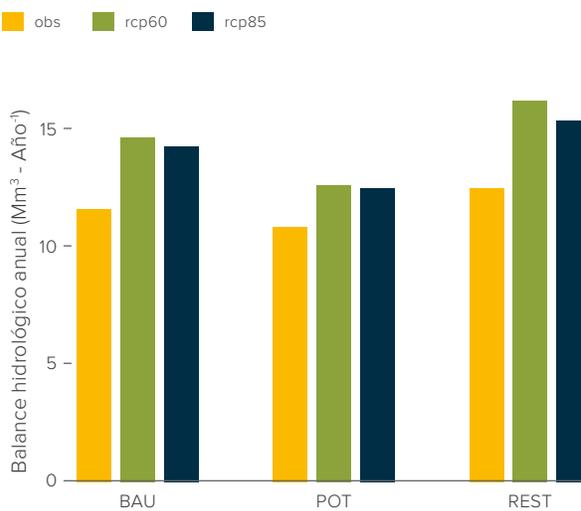
Diagrama de balance ecohidrológico total, incluyendo los componentes de entrada y salida para las diferentes coberturas vegetales evaluadas.



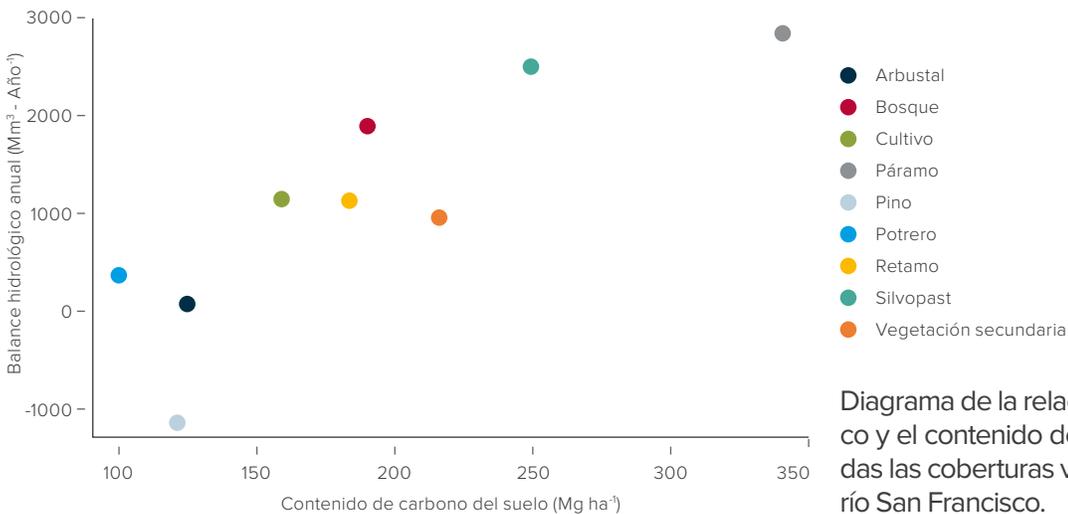
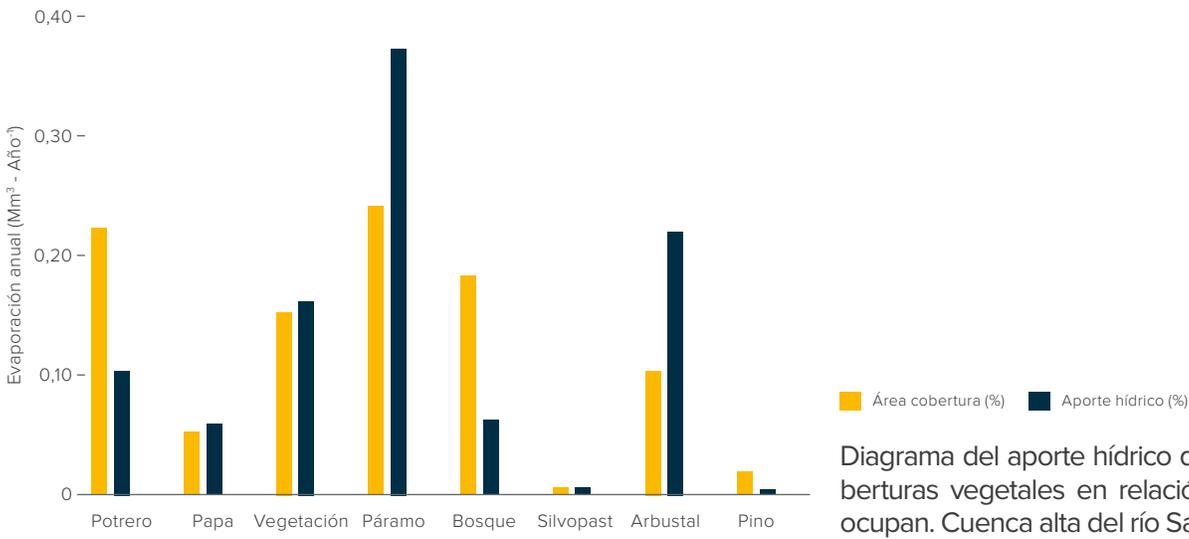
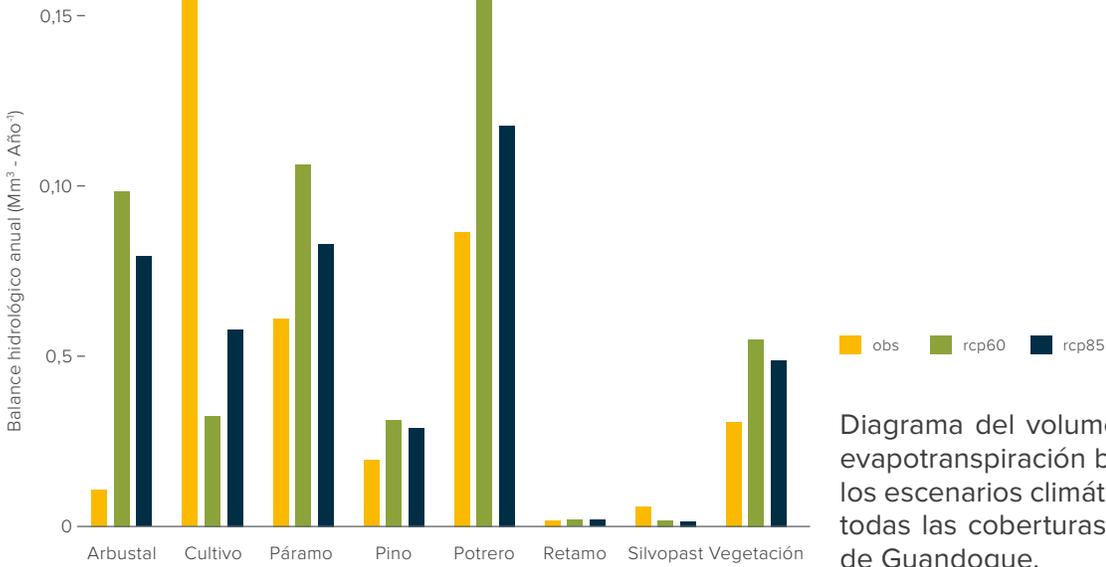
Balance hidrológico total bajo un escenario histórico y bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 6.0, 8.5) y de uso del suelo (BAU: áreas actuales, POT: expansión del 10 % de áreas de potreros, REST: expansión del 10 % de áreas silvopastoriles y conservación de áreas de páramos) para la cuenca alta del río San Francisco con un caudal promedio histórico cercano a 17 Mm³/año.



Balance hidrológico total bajo un escenario histórico y bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 6.0, 8.5) y de uso del suelo (BAU: actual, POT: expansión de potreros, REST: expansión de silvopastoriles y conservación de páramos) para la cuenca de Chisacá con un caudal actual cercano a 3.8 Mm³/año.



Balance hidrológico total bajo un escenario histórico y bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 6.0, 8.5) y de uso del suelo (BAU: actual, POT: expansión de potreros, REST: expansión de silvopastoriles y conservación de páramos) para la cuenca de Guandoque con un caudal actual cercano a 12 Mm³/año.



Variables medidas

Componentes del balance ecohidrológico separados entre entradas al ecosistema: lluvia y niebla, y salidas: evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración

Duración de medición de la variable

Cada variable implica media jornada de campo.

Limitaciones

La metodología de infiltración no permite saber qué proporción del componente de infiltración se pierde del sistema (salida del balance) y qué proporción alimenta la humedad del suelo y los acuíferos subterráneos.

Asociación con la adaptación

Conocer la distribución del agua entre los componentes del balance en la época seca permite predecir el momento en que la vegetación es más susceptible a sequías y heladas, así como poder tomar decisiones sobre el uso del suelo, conociendo las repercusiones en la regulación hídrica.

El mejoramiento de praderas requiere de tiempos prolongados para observar diferencias significativas en el componente de infiltración y escorrentía en tronco respecto al potrero convencional.

Implicaciones locales

Al comparar el balance ecohidrológico de las coberturas de potrero y de sistema silvopastoril, se observó un mayor aporte de infiltración en el silvopastoril que en el potrero. El mayor rendimiento hídrico de los silvopastoriles respecto a los potreros está directamente relacionado con su mayor contenido de carbono en el suelo. La implementación de las medidas de restauración y mejoramiento de praderas contribuye a mejorar la estructura y porosidad del suelo. Aunque el componente de infiltración se cuantifica como salida, es el que mantiene la humedad del suelo y alimenta acuíferos subterráneos. Se recomienda continuar con la implementación de diseños silvopastoriles ya que representan una mejora en la disponibilidad de agua en el predio.

Se proyecta que el rendimiento hídrico de las tres cuencas evaluadas aumentará bajo escenarios de cambio climático debido al aumento en las lluvias pronosticado.

El bajo rendimiento hídrico obtenido en la cuenca de Guandoque está relacionado con las altas tasas de evapotranspiración de los potreros, cobertura dominante en el paisaje.

Lecciones aprendidas

Se sugiere realizar un monitoreo continuo en el tiempo y además establecer una mayor cantidad de réplicas de las variables medidas: infiltración, escorrentía, escorrentía tronco, entre otras.

También es importante realizar la medición de percolación de agua en el suelo por medio de isotopía, esto complementa la información del balance hídrico.

Sostenibilidad

La sofisticación en el proceso de medición de la evapotranspiración, así como los tiempos de las mediciones de escorrentía superficial e infiltración (una hora aproximadamente) dificultan el mantenimiento de las mediciones en el largo plazo. Sin embargo, existen otras metodologías que permitirán medir las variables (infiltración, escorrentía, niebla) del balance hídrico que se pueden adaptar para proyectar el monitoreo a largo plazo de manera continua en todas las cuencas.

Valor agregado

Conocer la disponibilidad hídrica del suelo y de la vegetación a partir de cuantificar la entrada de agua por precipitación

Limitaciones

Las metodologías estuvieron sujetas a diferentes tiempos de medición para cada una de las variables medidas, es decir que la medición no fue continua, sino que se realizó en tiempos puntuales (época seca y comienzo de la época lluviosa).

Contenido de carbono orgánico en el suelo



Objetivo

Estimar almacenamiento de carbono en el suelo y la vegetación, así como los flujos de carbono.

Pregunta de Investigación

¿Qué cantidad de carbono hay en el suelo y en la vegetación en diferentes coberturas vegetales y cuáles son los flujos de carbono en cada cobertura?

Escala espacial

Área del conglomerado de acuerdo al Inventario Forestal Nacional (IFN).

Escala temporal y frecuencia

Corto plazo, línea base.

Veinte muestras por cada cobertura, tomadas una vez en el proyecto, dos tomas de flujo de carbono por cobertura.

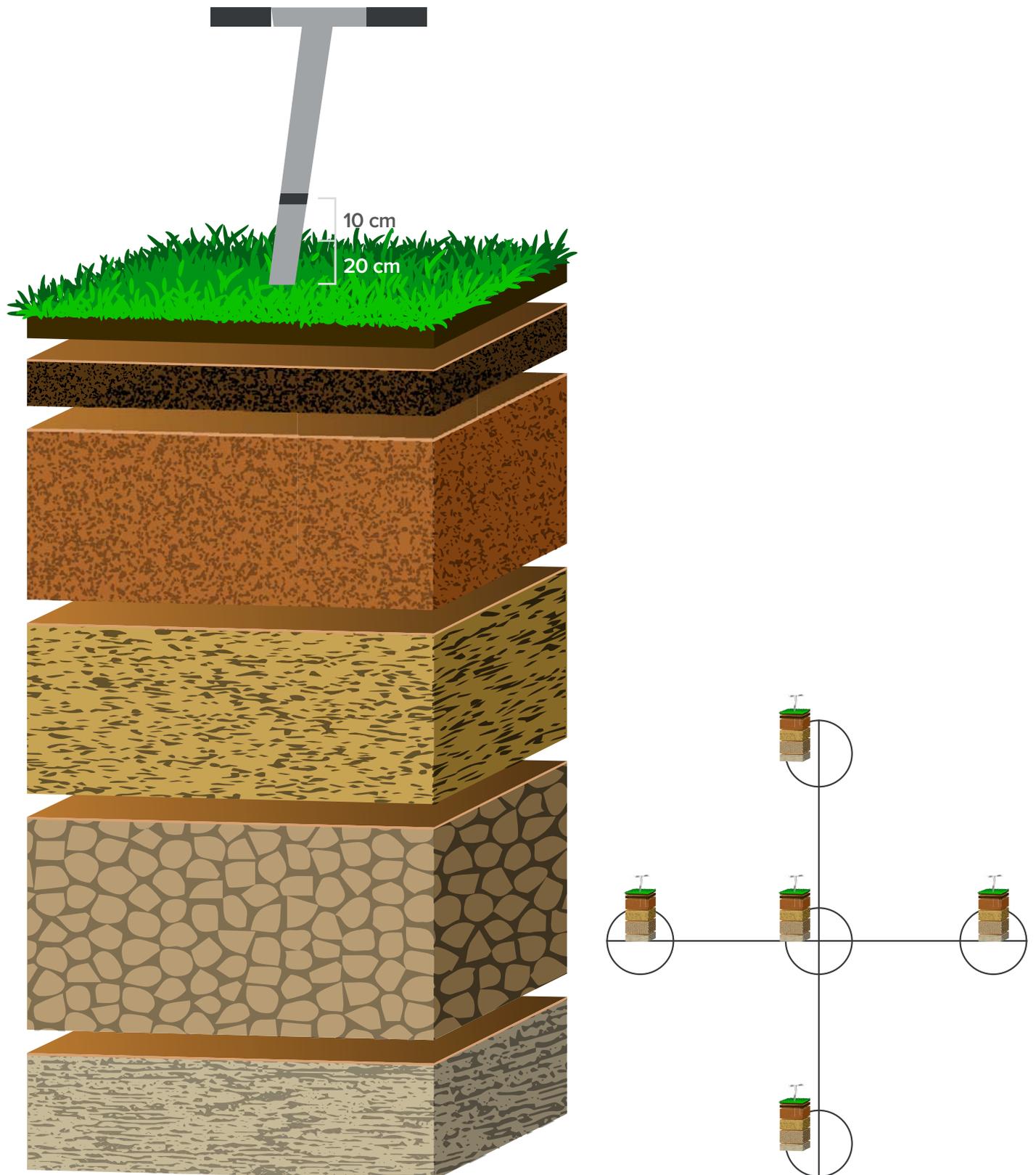
Metodología

1. Se estableció el conglomerado.
2. Se tomaron muestras de suelo de 10 y 20 centímetros (barreno tubular de 1.5L x $\frac{3}{4}$ de diámetro)
3. Se empaquetaron las muestras en bolsas resellables (laboratorio)
4. Se secaron las muestras de suelo en horno (Memmert) x 48 horas.
5. Se limpió el suelo quitando las raíces.
6. Se pesaron el suelo seco y las raíces por separado.
7. Se tomó una submuestra del suelo, se depositó en un crisol y se realizó pesaje de cada submuestra.
8. La submuestra se llevó a una mufla por 24 horas a 500°C.
9. Se definió la cantidad de carbono a partir de la diferencia entre pesos secos obtenidos.

Biomasa aérea

1. Se tomaron mediciones a diferentes radios: a 15 metros de radio, DAP > 30 cm,
 - a 7,5 metros de radio DAP > 10cm,
 - a 1,5 metros de radio 10cm < DAP < 3,5 cm.
2. Se midieron dos diámetros de copa (Xcm) y (Ycm) y altura total (m) de cada individuo.
3. Se estimó la biomasa aérea en individuos arbóreos (ecuación alométrica) DAP (cm) y densidad de la madera (g/cm²).

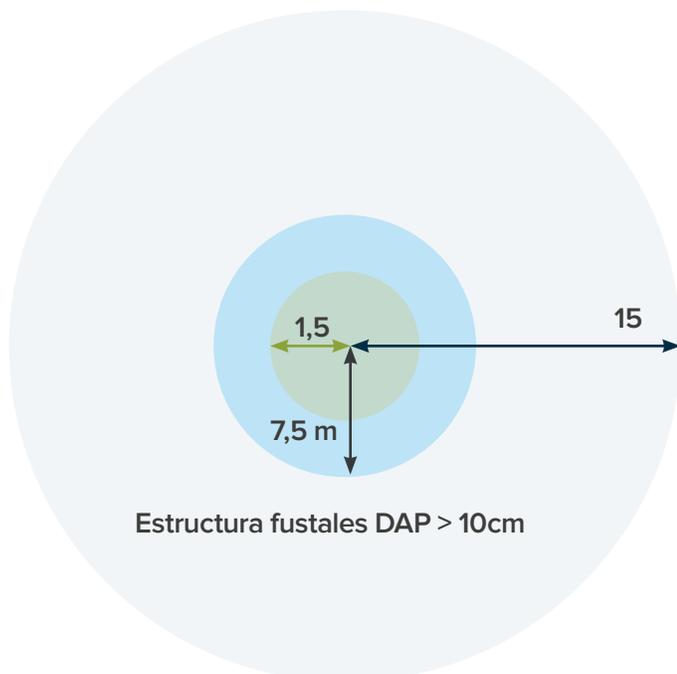
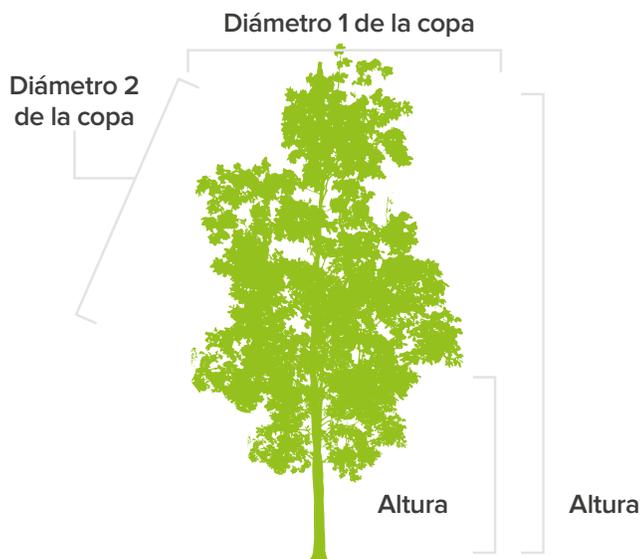
Figura 7. Diagrama de barreno y esquema



Respiración de suelos

1. Se instalaron dos anillos (tubos de PVC de tres pulgadas cortados a diez cm).
2. Se midió el flujo de carbono, temperatura y humedad cámara IRGA sonda EGM4 cámara cerrada SRC2

Diagrama de la toma de datos para biomasa aérea en cada conglomerado



Esther Velázquez

Medición DAP.



Paola Alarcón

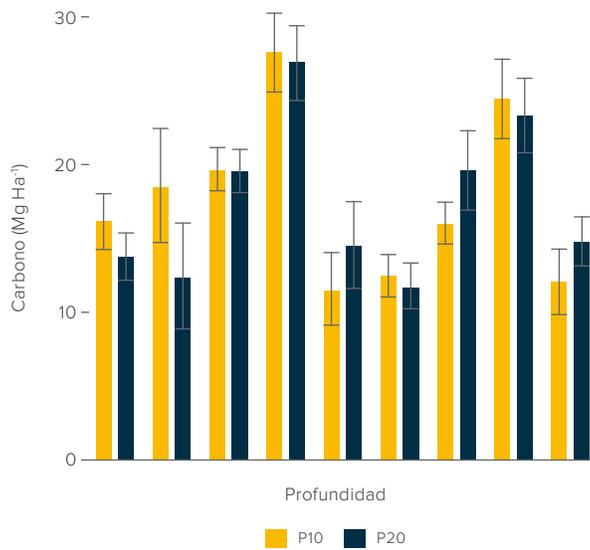
Medición de flujo de carbono.



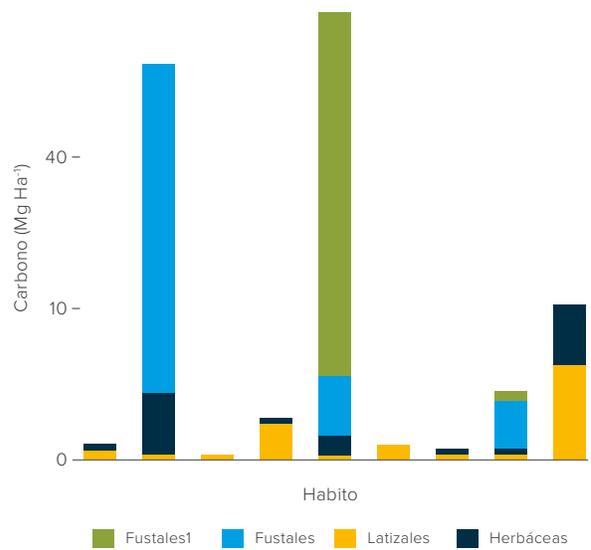
Yeraldin Roa

Muestras del suelo en el laboratorio.

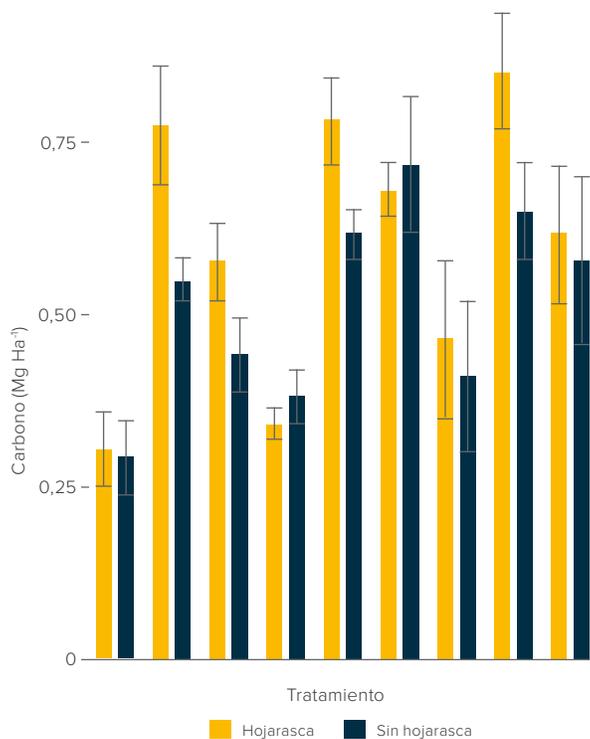
Resultados



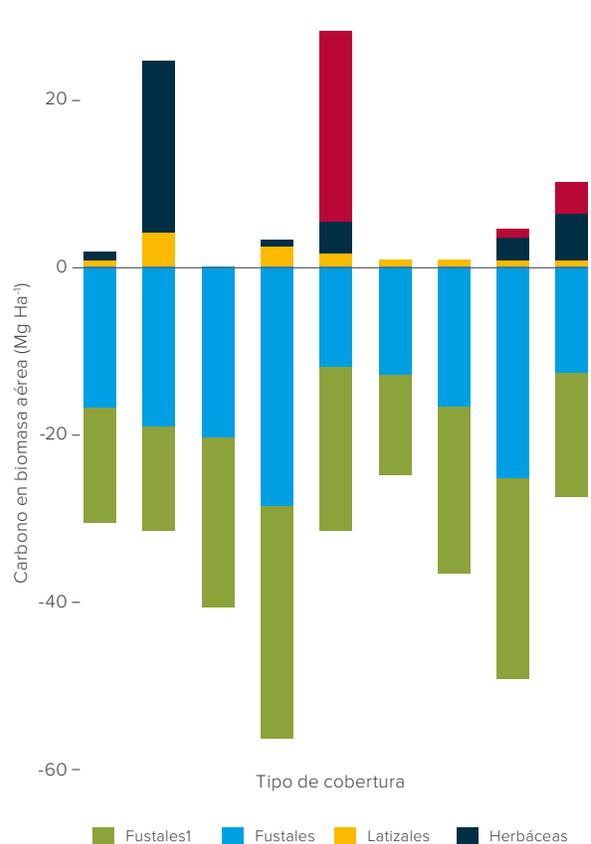
Contenido de carbono orgánico del suelo en miligramos por hectárea a profundidad de 0-10 centímetros (P10) y de 10-20 centímetros (P20) en las nueve coberturas estudiadas.



Biomasa calculada en toneladas por hectárea por hábito de cada planta para cada tipo de cobertura vegetal estudiada.



Flujos de dióxido de carbono (CO₂) medido en gramos por metros cuadrados por hora. Representado para un tipo de cobertura con dos tipos de tratamiento correspondiente a tubos con hojarasca y tubos sin hojarasca.



Carbono en biomasa aérea y de la vegetación para cada tipo de cobertura vegetal estudiada.

Variables medidas

- DAP
- Altura.
- Dimensiones de la copa del árbol.
- Temperatura.
- Humedad.
- CO₂.

Duración de medición de la variable

Tomada una vez en el proyecto, una jornada de trabajo de campo.

Valor agregado

Se identificó una relación entre almacenamiento de agua en el suelo y cantidad de carbono.

Limitaciones

- Accesibilidad a la vegetación de alta montaña.
- Las condiciones climáticas generan dificultades a la hora de medir los flujos de carbono.

Asociación con la adaptación

Debido a que el contenido de carbono orgánico favorece el almacenamiento de agua en el suelo, al implementar sistemas silvopastoriles y conservar coberturas naturales como páramo y bosque andino, se promueve el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

El porcentaje de carbono orgánico en el suelo muestra una relación directa con la salud del suelo y por ende con la sensibilidad para el desarrollo de vegetación en la alta montaña.

Lecciones aprendidas

En cuanto a las mediciones de flujo de carbono es necesario tener en cuenta la época climática para tener mejores resultados, siendo favorable tomar una medición en época seca y otra en época de lluvias para identificar la variación del flujo de carbono en las dos épocas climáticas del año.

Sostenibilidad

Monitoreo a largo plazo por medio de parcelas que permitan la toma de carbono en suelo y toma de flujos de carbono, lo cual podría medirse en el marco de monitoreo institucional de algunos socios del proyecto.

Implicaciones locales

El páramo fue la cobertura con mayor cantidad de carbono almacenado por hectárea del estudio, esto evidenció su importante papel en el secuestro de carbono y la mitigación del efecto de los gases de efecto invernadero. Además, tiene pocas emisiones de carbono.

El uso de los sistemas silvopastoriles en cuanto al almacenamiento de carbono tanto aéreo como subterráneo representa una estrategia de mitigación frente al cambio climático, ya que este tipo de coberturas almacena más del 50 % de carbono en suelo en comparación a los potreros y cultivos de papa, que representan gran cantidad del área de la zona.

Es importante reconocer que los bosques andinos, por su alta densidad de árboles, cuentan con gran cantidad de biomasa aérea, en comparación a las otras coberturas.

Monitoreo de variables agrometeorológicas



Objetivo

Conocer el comportamiento cuantitativo de variables meteorológicas y agrometeorológicas, caracterizando su relación con la oferta y regulación hídrica en la microcuenca del río San Francisco.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el comportamiento de variables meteorológicas y agrometeorológicas en la microcuenca del río San Francisco?

Escala espacial

Microcuenca

Escala temporal y frecuencia

Corto plazo, línea base. Cada quince minutos, efectuada a corto plazo (15 meses).

Metodología

Se establecieron dos puntos de monitoreo meteorológico y agrometeorológico en la microcuenca del río San Francisco y un radio de monitoreo de cuatro kilómetros. Lo anterior con el fin de incorporar variables tomadas en áreas no monitoreadas, como es el caso de la parte alta de la cuenca, ofreciendo un mayor radio de acción al sugerido por la OMM, puntualmente para datos pluviométricos, el cual sugiere una distancia media de veinticinco kilómetros y un radio de acción de doce a quince kilómetros.

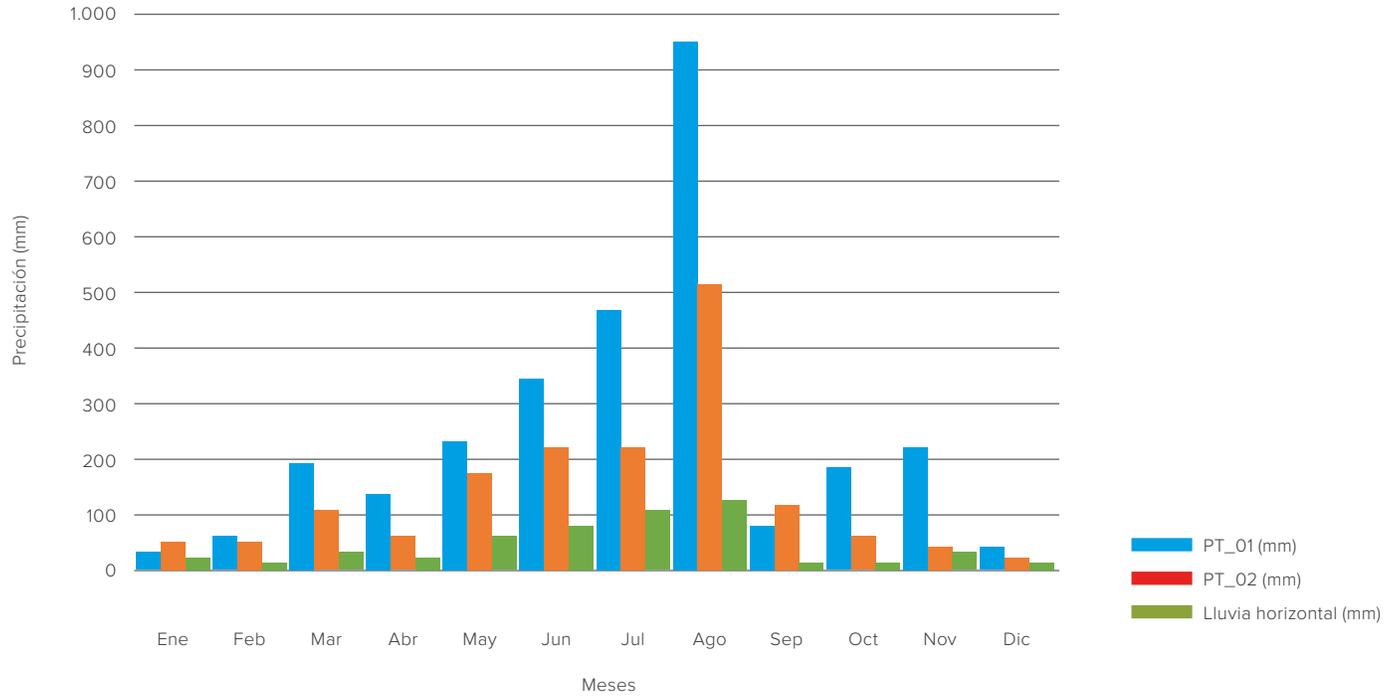
Se publica esta información en el título de “Escala temporal y frecuencia”. En el punto ubicado en la parte alta se midieron variables de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación horizontal, temperatura del suelo a 20 centímetros de profundidad y humedad del suelo; en el otro punto se midieron variables de precipitación, temperatura y humedad del suelo.

Los datos fueron adquiridos por medio de un contrato de compra de datos.

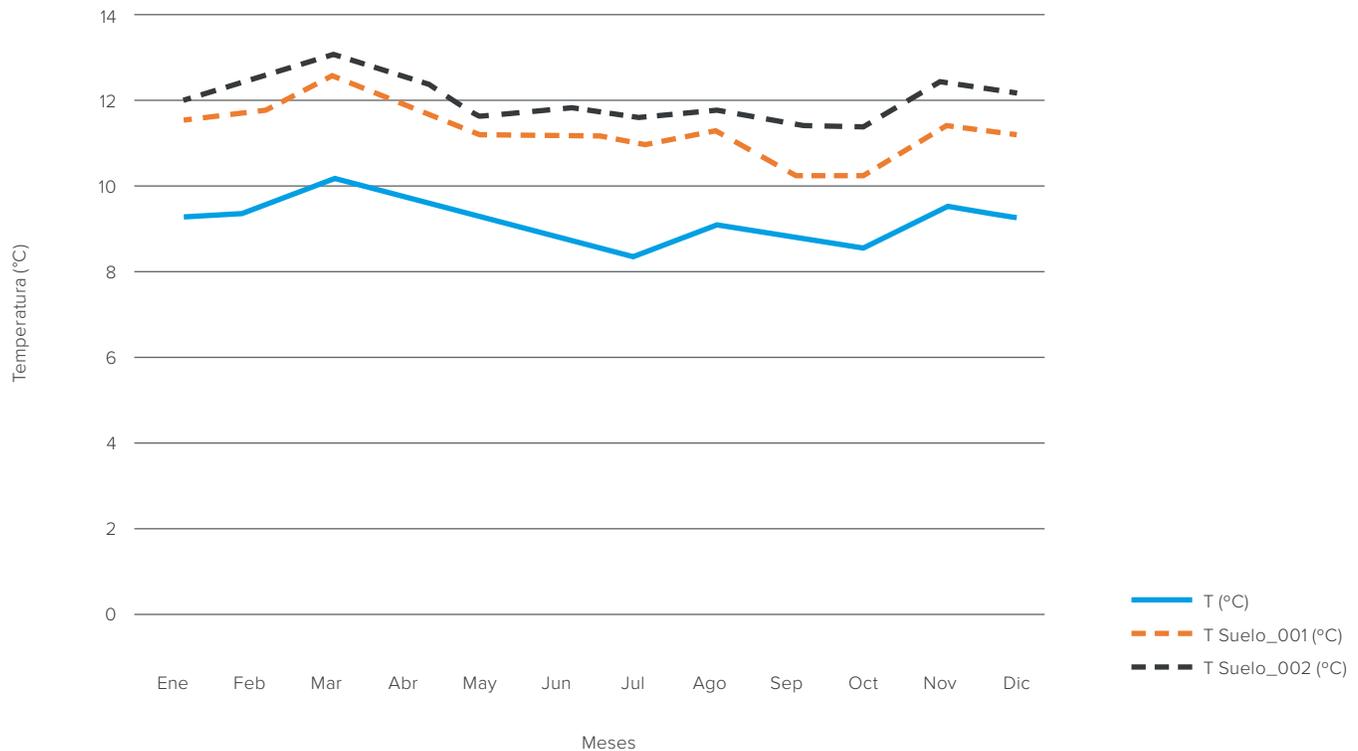


Resultados

Precipitación y lluvia horizontal

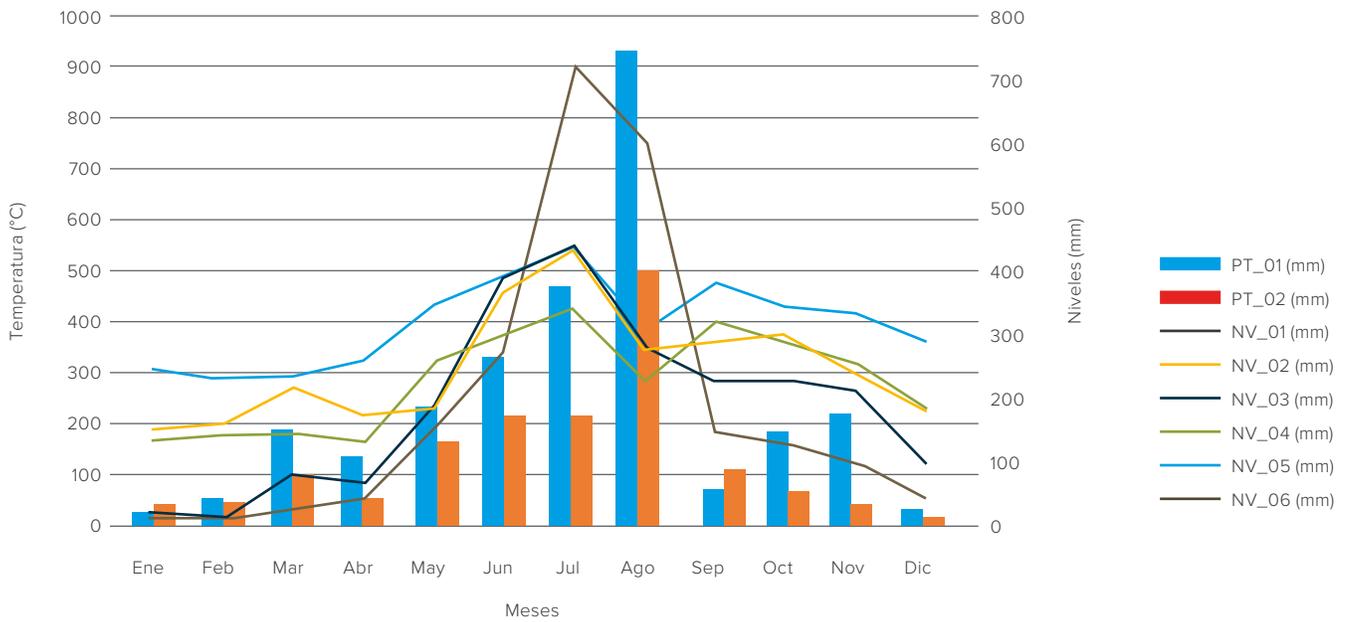


Temperatura ambiente y del suelo

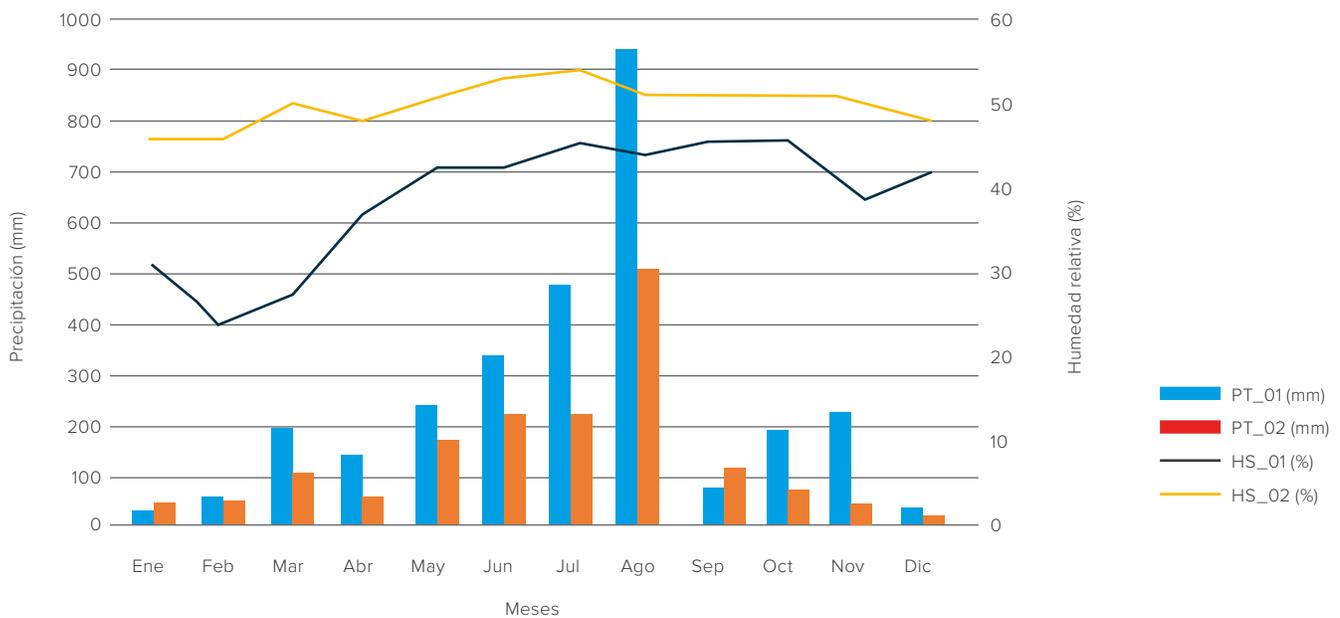


Resultados

Precipitación versus niveles



Precipitación y humedad del suelo



Se observa una mayor correlación en la tendencia con la variable de precipitación respecto a las demás, en especial, la precipitación horizontal con la humedad del suelo.

VARIABLES MEDIDAS

- Precipitación.
- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación horizontal.
- Temperatura del suelo.
- Humedad del suelo.

DURACIÓN DE MEDICIÓN DE LA VARIABLE

- Desde septiembre de 2019 a diciembre de 2020.
- Monitoreo a corto plazo, cada quince minutos.

LIMITACIONES

La toma de datos se efectuó a corto plazo y por ende, no se cuenta con la continuidad de las mediciones de algunas variables por parte de algunos de los socios del proyecto.

ASOCIACIÓN CON LA ADAPTACIÓN

Esta información permite contar con conocimiento del comportamiento agrometeorológico, con mayor resolución espacial que, al evaluarse a largo plazo, permite definir si se presenta cambio climático.

LECCIONES APRENDIDAS

- Con la medición en áreas no monitoreadas, especialmente en las partes altas de la cuenca priorizada, es posible obtener un balance hídrico con menor incertidumbre. Además, al adoptar una mayor resolución temporal y espacial por medio del monitoreo hidrometeorológico se pueden efectuar análisis asociados a la variabilidad climática.
- El desarrollo de la estrategia de monitoreo debe ir de la mano con la ejecución del proyecto desde el principio. Éste debe contemplar una línea base previa a la puesta en marcha de las medidas de adaptación e incluir áreas con y sin medidas implementadas.
- Es muy recomendable contar con transmisión remota de datos pues así se evita la pérdida de información y se reducen las dificultades que se pueden presentar al momento de su recopilación.
- La sostenibilidad y potencialización del monitoreo a largo plazo solo será posible con la participación de actores institucionales que orienten de forma efectiva los recursos económicos y técnicos necesarios para una adecuada adaptación en los territorios de su interés.

SOSTENIBILIDAD

La CAR instaló una estación meteorológica con sensores autónomos en un predio de uno de los beneficiarios del proyecto.

Implicaciones locales

El mes más lluvioso del periodo comprendido entre septiembre de 2019 y agosto de 2020 fue el mes de julio de 2020, con 467.72 mm, el mes que menor precipitación presentó fue enero de 2020 en la zona alta de la cuenca con 32.29 mm y el mes de diciembre para el otro punto con 20.9 mm.

En la cuenca alta se presenta una temperatura ambiente promedio entre 9.08 °C, con una humedad relativa entre 90.68 %. Respecto a la temperatura del suelo se observan valores similares entre los puntos monitoreados, siendo ligeramente menor en la zona alta con un promedio de 11.51 °C en contraste con los registros de humedad del suelo, asociados al uso del mismo, ya que en la zona baja está destinado para producción agrícola.

En la zona alta de la cuenca del río San Francisco los registros de velocidad del viento tienen en promedio un valor de 4.41 m/s y una dirección predominante hacia el este.

Valor agregado

Se registran datos no monitoreados previamente como lluvia horizontal.

Limitaciones

La toma de datos se efectúa a corto plazo y no se cuenta con la continuidad de las mediciones de algunas variables por parte de alguno de los socios del proyecto.

Monitoreo de variables hidrológicas



Objetivo

Conocer el comportamiento cuantitativo de variables hidrológicas, caracterizando su relación con la oferta y regulación hídrica en la microcuenca del río San Francisco.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el comportamiento de variables hidrológicas en la microcuenca del río San Francisco?

Escala espacial

Microcuenca

Escala temporal y frecuencia

Cada quince minutos, efectuada a corto plazo.

Metodología

Se establecieron seis puntos de monitoreo hidrológico en la microcuenca del río San Francisco en una escala 1:25.000.

Se tomaron los datos con sensores autónomos medidores de nivel y con una frecuencia de toma de datos cada quince minutos. Además, se contó con una mira como referencia.

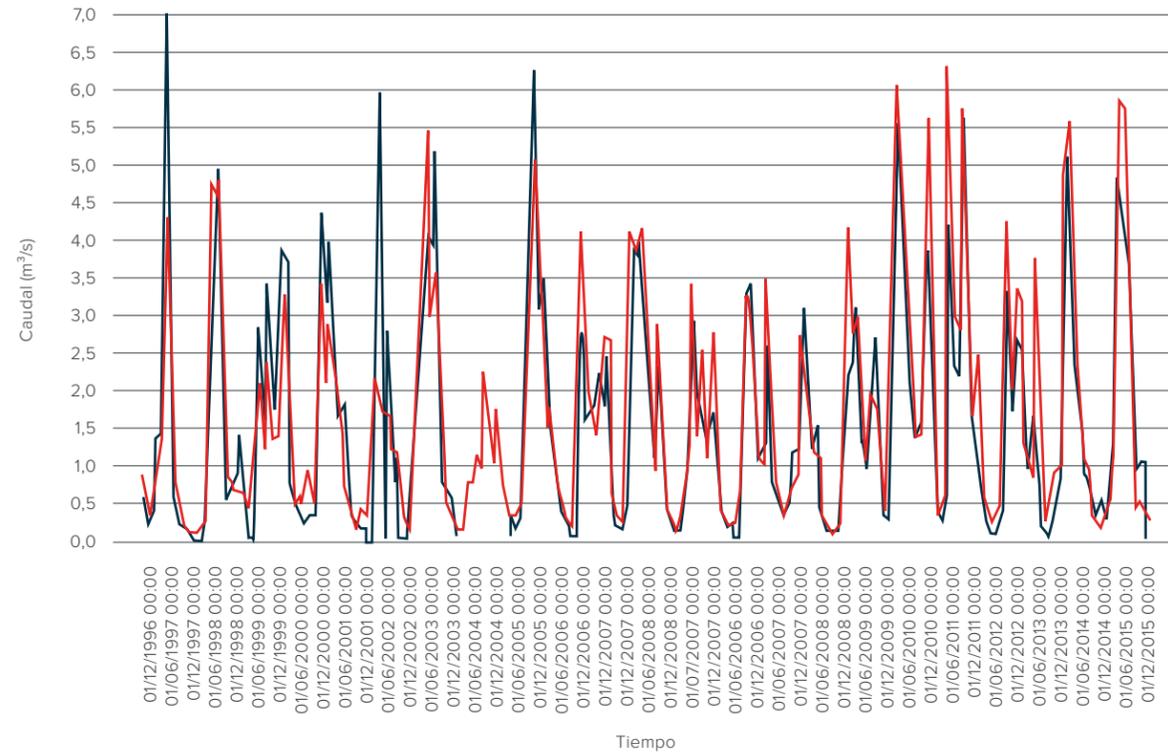
Los datos fueron adquiridos por medio de un contrato de compra de datos.

Además se efectuaron aforos por vadeo para establecer los caudales en las cuencas de quinto orden.

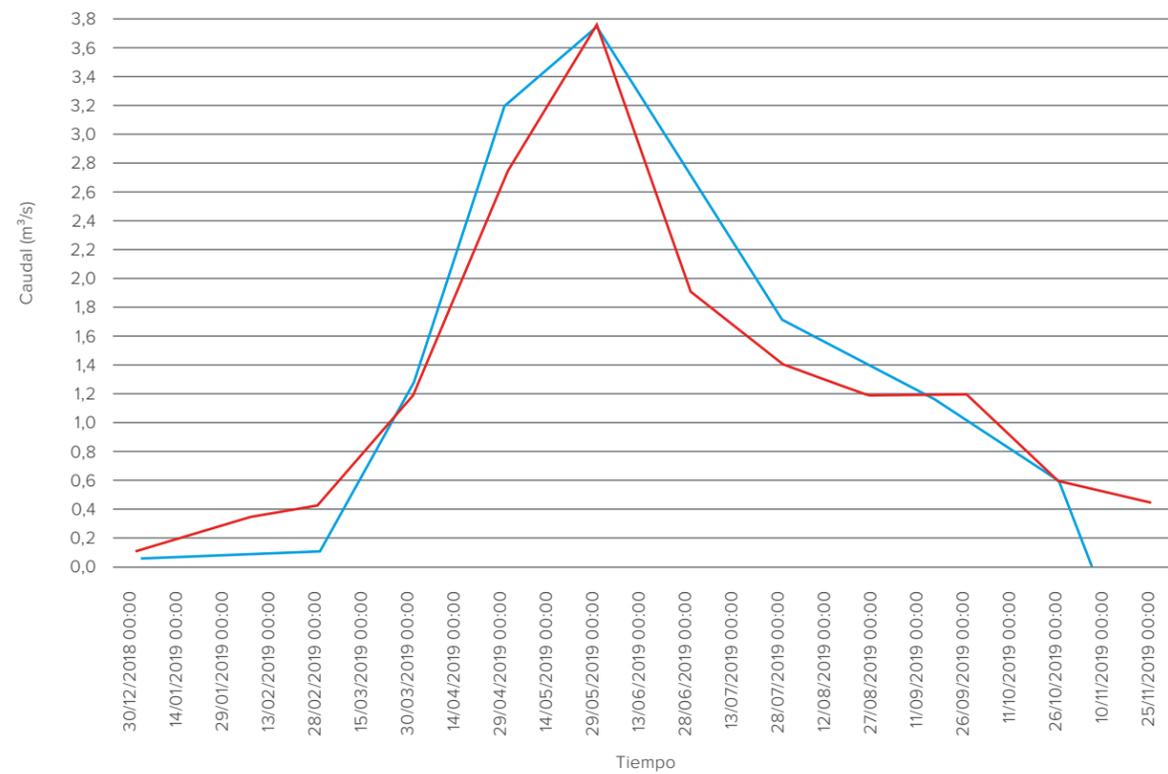


Resultados

Caudal en punto de aforo (Q) - Modelo con datos históricos de estaciones de los socios (IDEAM - CAR)

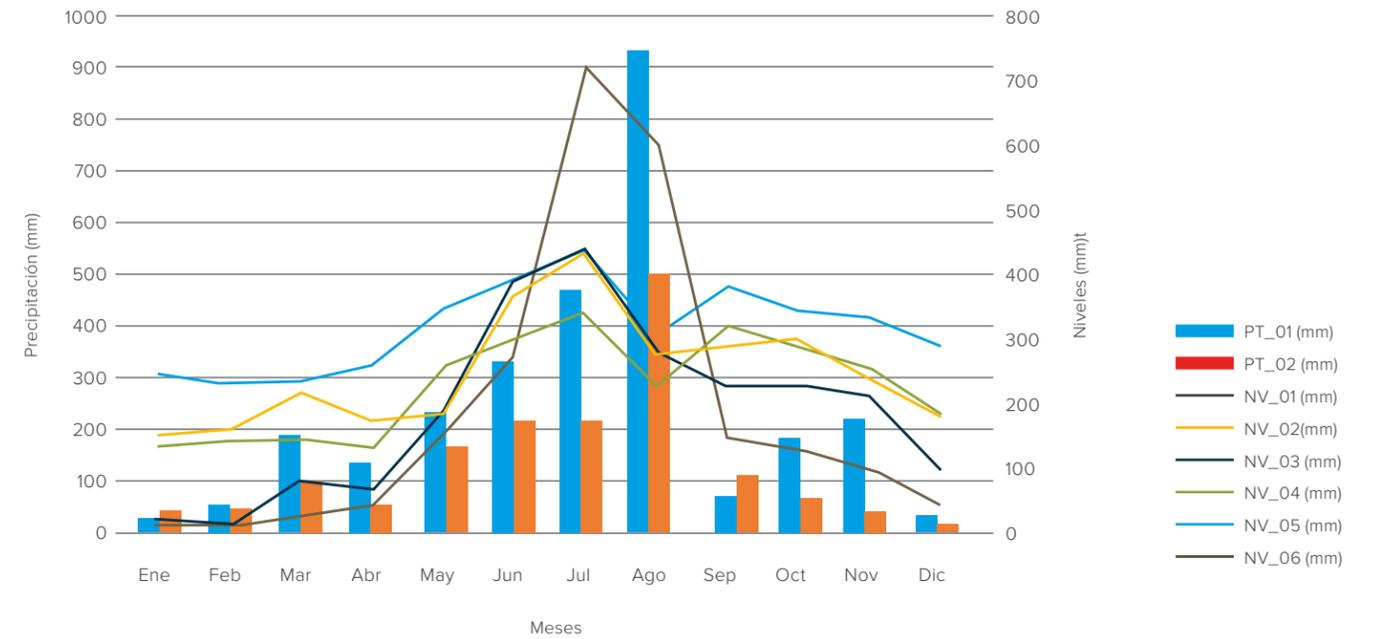


Caudal en punto de aforo (Q) - Modelo con datos tomados en campo



— Caudal observado (m3/s)
— Caudal simulado (m3/s)

Precipitación versus niveles - Datos tomados en campo



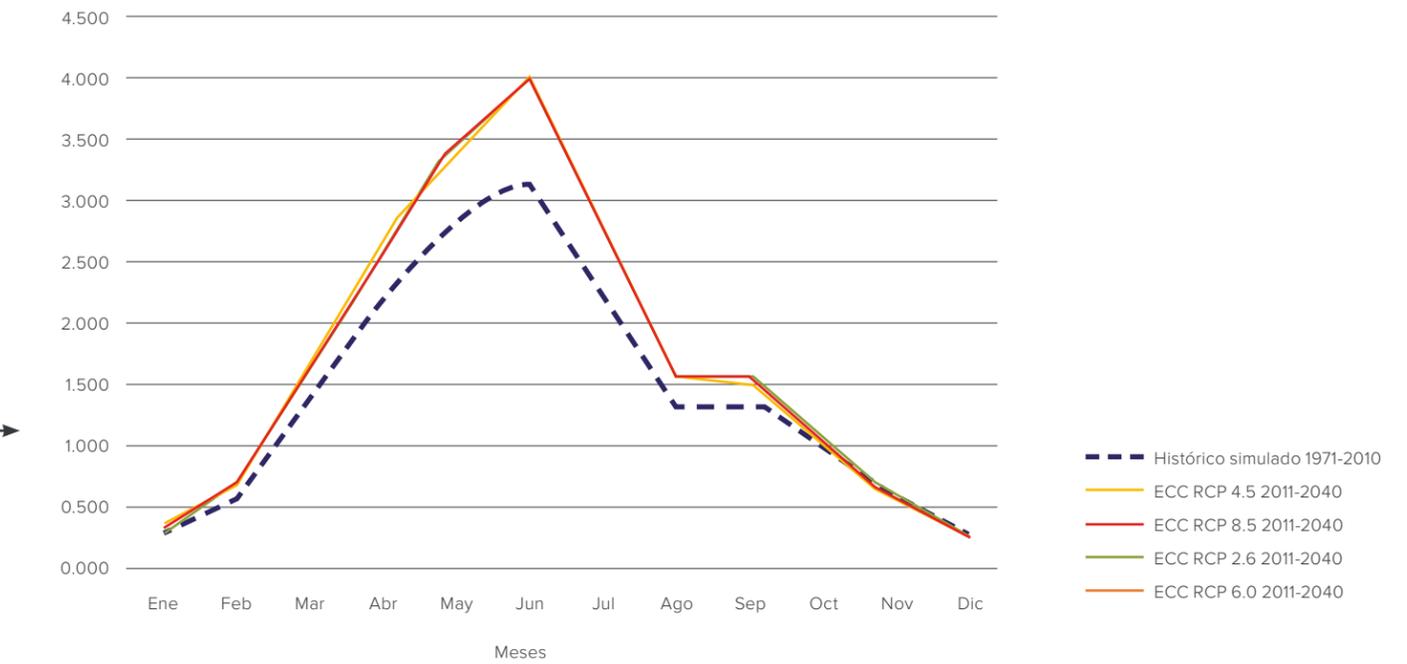
Modelo hidrológico

Optimización del modelo
Reducción de incertidumbre

Modelo hidrológico con escenario de cambio climático

Escenarios de cambio climático

Caudal medio mensual multianual estación 2120870 La Iberia-microcuenca río San Francisco



Se observa una mayor correlación en la tendencia con la variable de precipitación respecto a los niveles registrados.

Variables medidas

- Nivel del agua.

Duración de medición de la variable

- Desde septiembre de 2019 hasta diciembre de 2020.
- Monitoreo a corto plazo, cada quince minutos.

Valor agregado

Se monitorean cuencas no instrumentadas.

Limitaciones

La toma de datos se efectúa a corto plazo y no se cuenta con la continuidad de las mediciones por parte de alguno de los socios del proyecto.

Asociación con la adaptación

Se contará con conocimiento de la oferta hídrica con mayor resolución espacial, que al poder evaluarse a largo plazo, permitirá evidenciar cambios en la oferta hídrica de acuerdo a las medidas de adaptación.

Lecciones aprendidas

Preferiblemente se debe contar con transmisión remota de datos para poder obtenerlos frente a casos fortuitos o para atender fallas y evitar la pérdida de los mismos. Es favorable establecer un porcentaje máximo de pérdida de datos, el cual puede ser penalizado monetariamente de acuerdo a la proporción de la pérdida.

Sostenibilidad

No definido.

Implicaciones locales

Los registros de niveles indican valores más altos el mes de julio, acorde con los registros de mayor precipitación en la cuenca. Los registros con niveles bajos se presentan en los meses de enero y febrero.

Indicadores de cambio climático



Objetivo

Conocer los indicadores de variabilidad y cambio climático durante el periodo 2019-2020 en la microcuenca del río San Francisco.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el comportamiento de los indicadores de variabilidad y cambio climático en la microcuenca del río San Francisco?

Escala espacial

Microcuenca parte alta.

Escala temporal y frecuencia

Diario a partir de datos cada quince minutos, efectuada a corto plazo.

Metodología

Se calculan algunos indicadores asociados a variabilidad y cambio climático con el fin de determinar si se presentan extremos climáticos y así monitorear y detectar cambios climáticos.

Los indicadores calculados son:

- Número de días en un año cuando $T_{\text{mínima}} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Número de días en un año cuando $T_{\text{mínima}} > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Número de días en un año cuando $T_{\text{máxima}} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Número de días en un año cuando $T_{\text{máxima}} > 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria
- Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria
- Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria
- Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria
- Porcentaje de días cuando $T_{\text{min}} < 10\text{th}$ percentil
- Porcentaje de días cuando $T_{\text{max}} < 10\text{th}$ percentil
- Porcentaje de días cuando $T_{\text{min}} > 90\text{th}$ percentil
- Porcentaje de días cuando $T_{\text{max}} > 90\text{th}$ percentil
- Conteo anual de días con por lo menos seis días consecutivos en que $T_{\text{max}} > 90\text{th}$ percentil
- Conteo anual de días con por lo menos seis días consecutivos en que $T_{\text{min}} < 10\text{th}$ percentil
- Diferencia media mensual entre T_{max} y T_{min}
- Máximo mensual de precipitación en un día
- Máximo mensual de precipitación en cinco días consecutivos
- Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por $\text{PRCP} \geq 1.0 \text{ mm}$) en un año
- Número de días en un año en que precipitación $\geq 10 \text{ mm}$
- Número de días en un año en que precipitación $\geq 20 \text{ mm}$
- Número máximo de días consecutivos con precipitación $\geq 1 \text{ mm}$
- Número máximo de días consecutivos con precipitación $< 1 \text{ mm}$
- Precipitación anual total en los días húmedos precipitación $\geq 1 \text{ mm}$
- Precipitación anual total en que precipitación en días húmedos > 95 percentil
- Precipitación anual total en que precipitación en días húmedos > 99 percentil

Resultados/salidas gráficas

INDICADORES CALCULADOS	VALOR
Número de días en un año cuando Tmínima diaria < 0 °C	0
Número de días en un año cuando Tmínima diaria > 20 °C	0
Número de días en un año cuando Tmáxima diaria < 0 °C	0
Número de días en un año cuando Tmáxima diaria > 25 °C	0
Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	19.39
Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	8.67
Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	7.74
Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	0.13
Porcentaje de días cuando Tmin < 10th percentil	36
Porcentaje de días cuando Tmax < 10th percentil	36
Porcentaje de días cuando Tmin > 90th percentil	37
Porcentaje de días cuando Tmax > 90th percentil	37
Conteo anual de días con por lo menos seis días consecutivos en que Tmax > 90th percentil	1
Conteo anual de días con por lo menos seis días consecutivos en que Tmin < 10th percentil	2
Diferencia media mensual entre Tmax y Tmin	7.54
Máximo mensual de precipitación en un día	57.77
Máximo mensual de precipitación en cinco días consecutivos	152.56
Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0 mm) en un año	10.39
Número de días en un año en que precipitación > = 1.0 mm	63
Número de días en un año en que precipitación > = 20 mm	36
Número máximo de días consecutivos con precipitación > = 1 mm	201
Número máximo de días consecutivos con precipitación < 1 mm	164
Precipitación anual total en los días húmedos precipitación > = 1 mm	2063.3
Precipitación anual total en que precipitación en días húmedos > 95 percentil	683.42
Precipitación anual total en que precipitación en días húmedos > 99 percentil	186.58

Variables medidas

- Temperatura.
- Precipitación.

Duración de medición de la variable

- Desde septiembre de 2019 hasta diciembre de 2020.
- Monitoreo a corto plazo, cada quince minutos.

Valor agregado

Se monitorean cuencas no instrumentadas e indicadores no calculados previamente en la parte alta de la cuenca.

Limitaciones

No se cuenta suficientes años de registros que permitan evidenciar tendencia de cambio climático y el cálculo de otras métricas para periodos de alcaldes o de cada treinta años

Asociación con la adaptación

Se contará con conocimiento de los indicadores de variabilidad y cambio climático, que al poder evaluarse a largo plazo, permitirá evidenciar tendencias y la presencia de cambios climáticos.

Lecciones aprendidas

Se debe contar con varios años (mínimo tres años) de registros de datos diarios para poder calcular todos los indicadores de variabilidad y cambio climático.

Sostenibilidad

- No definido.
- Se requieren más años de monitoreo tomando este monitoreo como línea base

Implicaciones locales

Los registros permiten concluir que no se presentan gran cantidad de noches cálidas y solo se presenta un periodo de días secos. Los eventos de precipitación en su mayoría corresponden a un comportamiento húmedo (>1 mm).

Monitoreo comunitario



Objetivo

Identificar los actores locales claves para la conformación de la red de monitoreo

Pregunta de Investigación

¿Qué actores locales son claves para la red de monitoreo comunitario?

Escala espacial

Microcuenca

Escala temporal y frecuencia

Corto plazo - línea base.

Efectuado una vez en el proyecto

Metodología

Se evaluaron las interacciones entre cualquier clase de individuos mediante un análisis de distancias o similitudes basado en el número de rasgos comunes entre los actores.

Se tuvo en cuenta la información relacionada con la comunicación, la vinculación a todo tipo de organizaciones, la participación en escenarios comunitarios o el interés en formar parte de un grupo social. Como información complementaria se contó con datos básicos de localización, utilización de bienes comunes y si existe, información de procesos anteriores (Zamora Cristales, 2019).

Se caracterizaron las interacciones medidas principalmente a través de indicadores de centralidad, intermediación y cercanía.

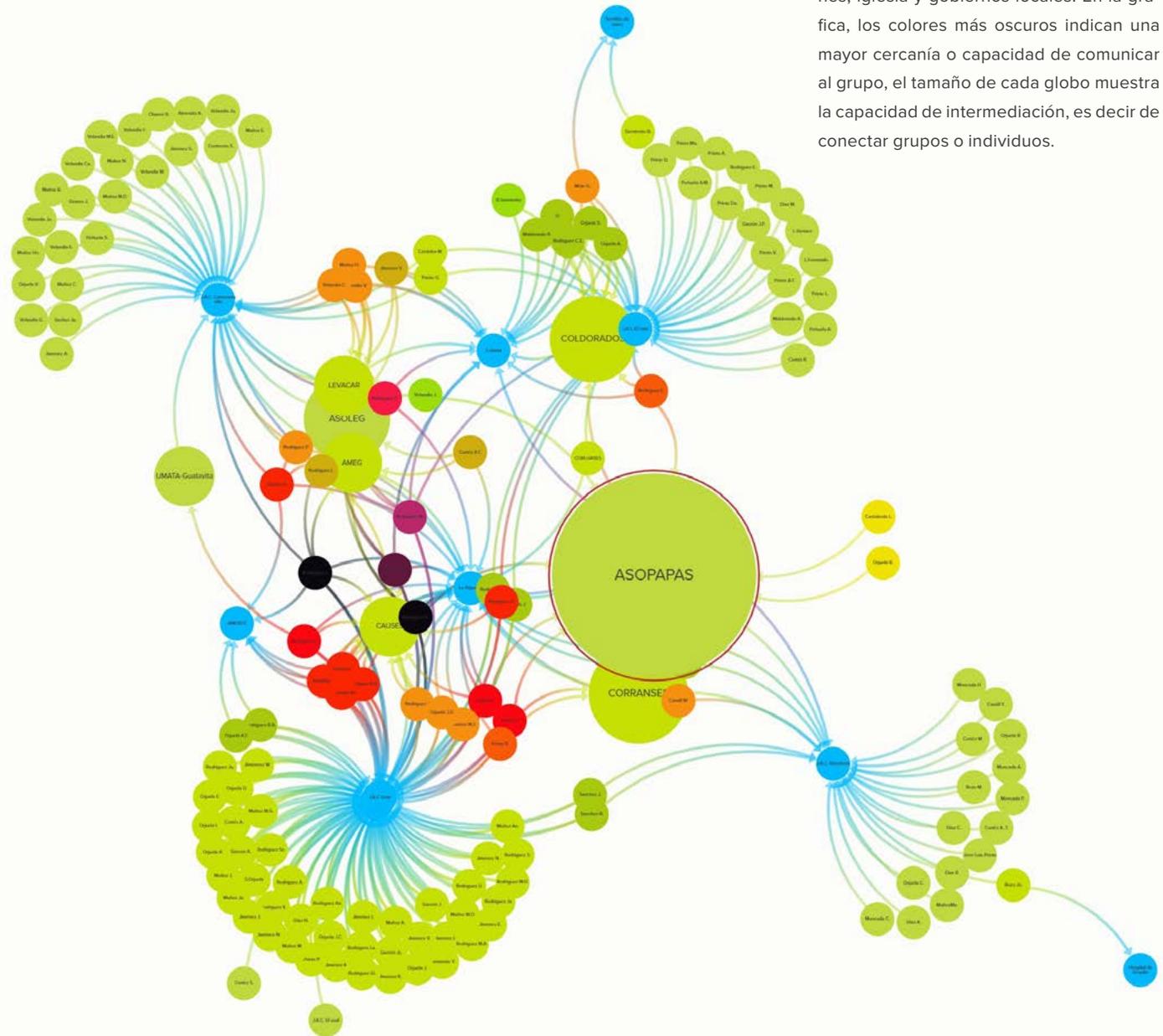
Para ello, se aplicaron encuestas semiestructuradas a familias vinculadas al proyecto donde se cuestionó el nivel educativo y afinidad a procesos de generación de conocimiento, participación ciudadana y liderazgo político o comunitario, comunicación y relacionamiento, organización social y roles familiares.

A partir de esta información se construyó la matriz de caracterización para identificar aspectos comunes con el monitoreo del clima, y para identificar conexiones entre los actores.

Resultados

Análisis de actores en la microcuenca del río San Francisco

El análisis incluyó a actores (individuos) vinculados o relacionados con el proyecto, pertenecientes a comunidades, asociaciones, iglesia y gobiernos locales. En la gráfica, los colores más oscuros indican una mayor cercanía o capacidad de comunicar al grupo, el tamaño de cada globo muestra la capacidad de intermediación, es decir de conectar grupos o individuos.



Análisis de actores en la microcuenca del río San Francisco

Los individuos con mayor cantidad de conexiones son las Juntas de Acción Comunal (JAC), quienes obtienen un mayor valor en la centralidad luego de remover al actor Conservación Internacional del análisis. Los individuos con mayor capacidad de comunicación son los líde-

res comunitarios de la comunidad de Sesquíle: Gonzalo Rodríguez y Juana Rodríguez, seguidos por Ricardo Rodríguez. Los actores que generan cercanía son las organizaciones como AMEG, CAUSES y AMUSES. El actor con mayor potencial de intermediación es ASOPAPAS.

Asociación con la adaptación

Con el potenciamiento de la sostenibilidad del monitoreo a través de los actores clave identificados, se contará con conocimiento para optar por medidas de Adaptación basada en Comunidades.

Lecciones aprendidas

Es fundamental conocer la red de actores y sus características para conformar la red de monitoreo de forma efectiva y aterrizada a la realidad local

Sostenibilidad

Se espera se replique este análisis por parte de los miembros de la red de monitoreo

Implicaciones locales

La distribución de los liderazgos en los actores permite formular una red sin jerarquía, pero con claros roles de análisis y fortalecimiento de la red (intermediación) y centralización de datos y comunicación (cercanía y centralidad) ya que ningún actor presenta las tres métricas evaluadas en buen nivel.

Las comunidades se organizan en torno a sus juntas de acción comunal más que en las asociaciones, sin embargo la capacidad de intermediación de ellas es muy baja, están conectadas por personas con bajo índice de cercanía pero que son también actores clave a una escala regional.

Variables medidas

- Grado de centralidad
- Grado de intermediación
- Grado de cercanía.

Duración de medición de la variable

Tomada una vez en el proyecto

Valor agregado

Identificar quienes pueden ser actores que den sostenibilidad en la gestión de la red de monitoreo comunitario participativo

Limitaciones

Los actores pueden variar en el tiempo

Monitoreo comunitario del clima local



Objetivo

Fortalecer y promover el conocimiento cuantitativo de variables climáticas, por parte de la comunidad, con el fin de que lo empleen en la adopción de medidas de adaptación y respuesta ante eventos extremos y ante el cambio climático.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el comportamiento de variables meteorológicas en las fincas intervenidas por el proyecto y qué eventos extremos pueden inferirse a partir de ese comportamiento?

Escala espacial

Microcuenca

Escala temporal y frecuencia

Horaria – efectuada a largo plazo

Cada 12 y 24 horas, de acuerdo a la variable

Metodología

1. Se realizó el intercambio de experiencias, visitando al proyecto: Monitoreo del comportamiento microclimático en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Sogamoso
2. Con los asistentes al intercambio se conformó el grupo focal y empezaron a medir la precipitación cada 24 horas, la temperatura y humedad relativa máxima y mínima cada 12 horas, los eventos de heladas.
3. Se diseñaron y entregaron kits de monitoreo, los cuales incluyeron además de los instrumentos de monitoreo, las planillas de registro y gráficas.
4. Se vincularon más miembros a los diferentes nodos de las unidades hidrológicas priorizadas y se realizaron jornadas de re-entrenamiento y análisis de datos de las variables monitoreadas.

Microcuenca/ Nodo	Familias	Puntos de monitoreo
San Francisco	17	17
Chisacá	15	4
Guandoque	5	5
Chipatá	6	6



 Laura Holguín



 Laura Holguín

Asociación con la adaptación

Con los datos recopilados y su análisis, se contará con conocimiento para optar por medidas de Adaptación basada en Comunidades

Lecciones aprendidas

Se deben efectuar visitas en cada predio y hacer re-entrenamiento y capacitación mínimo una vez al mes, para perder el mínimo de registros para poder reemplazarlos cuando presenten fallas. Se sugiere tener un 20 % más del total adquirido.

Sostenibilidad

Se establece la red de monitoreo para operar a largo plazo, con re-entrenamiento y fortalecimiento de capacidades.

Implicaciones locales

El mes más lluvioso del periodo mayo-diciembre de 2019 fue junio y el que menor precipitación presentó fue enero.

Se presenta una temperatura promedio entre 127 °C y 172 °C con una humedad relativa entre 61-79-61 %

Las áreas, potreros, cultivos, prados, etc., rodeadas por árboles experimentan heladas con menor intensidad al punto de que el agua no se congela. Lugares más cercanos al río se impactan más intensamente, al punto de congelación total y los lugares más altos o en zonas de pendiente experimentan congelamiento intermedio por cuenta de las heladas.

Variables medidas

- Precipitación
- Temperatura máxima y mínima
- Humedad máxima y mínima
- Heladas

Duración de medición de la variable

Desde mayo de 2019.

Monitoreo a largo plazo, cada 12 y 24 horas.

Valor agregado

Se registran datos no monitoreados previamente como los eventos de heladas.

Limitaciones

La toma y análisis de datos requiere de re-entrenamiento y capacitación continua.

Monitoreo de la producción de leche



Objetivo

Determinar cuáles son los efectos del comportamiento del clima local en la producción de leche

Pregunta de Investigación

¿Cuáles son los efectos del clima local en la producción de leche por parte de una especie de ganado, en la cuenca del río San Francisco?

Escala espacial

Microcuenca

Escala temporal y frecuencia

Mensual

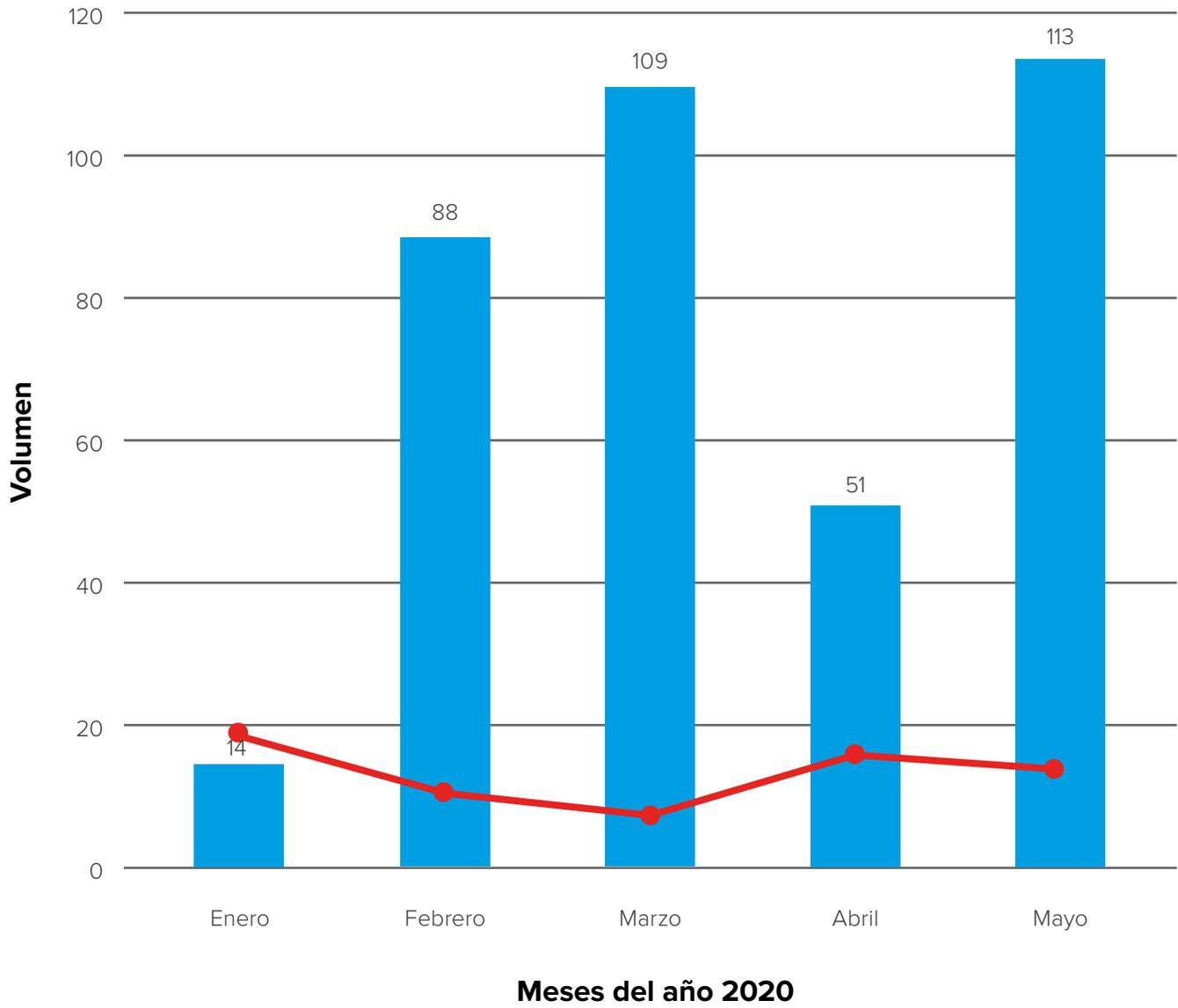
Metodología

Se efectuó un monitoreo de variables meteorológicas y de variables asociadas a la producción de leche, las cuales se listan a continuación:

1. Se mide la precipitación cada 24 horas.
2. Se mide la temperatura y humedad relativa máxima cada 12 horas.
3. Se registra el número de heladas.
4. Se mide la producción de leche diaria y se acumula la producción mensual promedio.
5. Se mide el área de pastoreo mensual.
6. Se registran los insumos y gastos requeridos como complemento.
7. Se registra el valor promedio de venta del litro de leche.
8. Se estima el porcentaje de producción óptimo de la raza de ganado.

Resultados

Resultados producción de leche en la microcuenca del río San Francisco



Pluviosidad Litros diarios

Asociación con la adaptación

Se contará con nuevo conocimiento para identificar medidas de Adaptación basada en Comunidades que favorezcan la producción sostenible de leche

Lecciones aprendidas

La producción de leche depende de gran cantidad de variables que en su mayoría no son climáticas y se requiere efectuar el monitoreo de otras variables socioeconómicas

Sostenibilidad

Dado que la comunidad es principalmente ganadera (pequeños ganaderos), el comportamiento de la producción es una variable determinante. Si las medidas de adaptación fueron exitosas, debería haber un incremento de la producción o un comportamiento estable en relación a los parámetros climáticos. Es decir, ganar resiliencia ante las variaciones del clima. Esto debe estar acompañado de otros factores, como el mercado, enfermedades, etc.

Variables medidas

- Precipitación.
- Temperatura.
- Heladas.
- Litros de leche producida.

Duración de medición de la variable

Se realizó una vez en el Proyecto – Línea base

Valor agregado

Nuevo conocimiento que identifica la relación de la producción de leche de algunas especies de ganado, y las variables meteorológicas monitoreadas en la cuenca del río San Francisco.

Limitaciones

Es difícil determinar una correlación directa de las variables debido a que la producción de leche es influenciada por muchas variables climáticas y no climáticas.

Retroalimentación y comunicación local de resultados



Objetivo

Compartir el conocimiento climático local, con el fin de que apoye la toma de decisiones frente a la adopción de medidas de adaptación y respuesta ante eventos extremos y ante el cambio climático

Pregunta de Investigación

A partir del análisis de datos de las variables meteorológicas monitoreadas ¿Qué información es de utilidad o interés para establecer la efectividad de las medidas de adaptación o para el desarrollo de sistemas productivos?

Escala espacial

Microcuencia

Escala temporal y frecuencia

Mensual – trimestral – a largo plazo

Metodología

Se efectúan reuniones mensuales con el nodo de la red de monitoreo del río San Francisco con el fin de analizar el comportamiento climático local y poder definir su incidencia en los medios de vida. En estas reuniones se grafican los datos mensuales y se discute acerca de un tema de interés asociado a eventos extremos sucedidos este mismo mes.

Con la información levantada en campo y con el análisis efectuado, se publica el boletín mensual o trimestral, donde se presentan los datos meteorológicos tomados y un tema de interés asociado al clima local y a los medios de vida. Este boletín se publica escrito y por medio de podcast.

De igual forma, a través de las salidas gráficas de los análisis efectuados, líderes del nodo de la red de monitoreo del río San Francisco, participaban en eventos de intercambio de experiencias en los que ellos eran expositores.



Natalia Borrero

Resultados



Laura Holguín



MONITORES DE RUANA Y SOMBRERO

¿Abril lluvias mil?

Según la Red de Monitoreo Comunitaria de la Alta Montaña en las micro cuencas de los ríos Chisacá, Chipatá, Guandoque y San Franciscos el mes de abril fue uno de los más secos del año.

Los recuerdos que tienen muchos miembros de la Red sobre el mes de abril se enmarcan en tiempo seco, momentos en los que, incluso, han tenido que hacerle rogativas a San Isidro para que mande la lluvia, como viene a la mente de Lucero Garzón, quien vive en el municipio de Sesquilé. Para Anya Roza, monitora del municipio de Tausa, abril también es igual a actividades al aire libre en los que se aprovecha el sol para celebrar el día del niño, por ejemplo.

Don Ángel Murillo, de Guasca, por su parte habla de abril describiéndolo como "días en los que hace bueno", es decir días soleados y con ligeras lloviznas nocturnas. Por esto, en la Alta Montaña no se esperaban lluvias para este mes, más bien se programaron para sacar papa, abonar pasturas y hacia el final del mes



realizar siembras a la espera de las temporadas de lluvias, que según su calendario comenzarían a finales de mayo, y se ponen más fuertes y frecuentes en junio, y ya en julio empiezan a disminuir.

Y aunque ya todos tenían en su mente que abril sería seco, el de este año estuvo mucho más de lo habitual. Incluso, con menos agua que en marzo. Así lo describió Miguel Palomares, monitor de Tausa. "Esta baja cantidad de agua se viene observando desde octubre de 2019 cuando por primera vez vi cosechas de papa seguidas libres de gota (hongos), pues siempre en esas tierras

la humedad típica afectaba los cultivos con esta enfermedad", afirmó don Miguel.

Así mismo, respecto a los vientos, los monitores de todas las micro cuencas coincidieron en que su fuerza y permanencia caracterizan al mes de abril. Experimentaron vientos muy húmedos, se veían pasar las nubes muy cargadas de agua, pero muy poca lluvia se queda en la Alta Montaña. Aunque los monitores de Chisacá reportaron la mayor cantidad de agua lluvia, según su experiencia de vida, todavía no ha llegado el periodo lluvioso.

MONITORES DE RUANA Y SOMBRERO

¿Abril lluvias mil?

Según la Red de Monitoreo Comunitaria de la Alta Montaña en las micro cuencas de los ríos Chisacá, Chipatá, Guandoque y San Franciscos el mes de abril fue uno de los más secos del año.

Los recuerdos que tienen muchos miembros de la Red sobre el mes de abril se enmarcan en tiempo seco, momentos en los que, incluso, han tenido que hacerle rogativas a San Isidro para que mande la lluvia, como viene a la mente de Lucero Garzón, quien vive en el municipio de Sesquilé. Para Anya Roza, monitora del municipio de Tausa, abril también es igual a actividades al aire libre en los que se aprovecha el sol para celebrar el día del niño, por ejemplo.

Don Ángel Murillo, de Guasca, por su parte habla de abril describiéndolo como "días en los que hace bueno", es decir días soleados y con ligeras lloviznas nocturnas. Por esto, en la Alta Montaña no se esperaban lluvias para este mes, más bien se programaron para sacar papa, abonar pasturas y hacia el final del mes



realizar siembras a la espera de las temporadas de lluvias, que según su calendario comenzarían a finales de mayo, y se ponen más fuertes y frecuentes en junio, y ya en julio empiezan a disminuir.

Y aunque ya todos tenían en su mente que abril sería seco, el de este año estuvo mucho más de lo habitual. Incluso, con menos agua que en marzo. Así lo describió Miguel Palomares, monitor de Tausa. "Esta baja cantidad de agua se viene observando desde octubre de 2019 cuando por primera vez vi cosechas de papa seguidas libres de gota (hongos), pues siempre en esas tierras

la humedad típica afectaba los cultivos con esta enfermedad", afirmó don Miguel.

Así mismo, respecto a los vientos, los monitores de todas las micro cuencas coincidieron en que su fuerza y permanencia caracterizan al mes de abril. Experimentaron vientos muy húmedos, se veían pasar las nubes muy cargadas de agua, pero muy poca lluvia se queda en la Alta Montaña. Aunque los monitores de Chisacá reportaron la mayor cantidad de agua lluvia, según su experiencia de vida, todavía no ha llegado el periodo lluvioso.

Asociación con la adaptación

Con los datos recopilados y su análisis, Con los datos recopilados y su análisis se adoptó conocimiento de la comunidad para hacer viables y efectivas las medidas de adaptación establecidas, involucrando así medidas de adaptación basada en comunidades.

Lecciones aprendidas

Se requiere un equipo de trabajo y una estrategia de comunicaciones para diseñar e implementar piezas de comunicación de interés para la comunidad de la microcuenca. Por ejemplo, se identificó que la comunidad prefiere podcast a boletines escritos.

Sostenibilidad

Se proyecta a largo plazo por parte de los miembros de la red de monitoreo comunitario.

Implicaciones locales

Es importante y enriquecedor efectuar las reuniones mensuales de análisis de datos a modo de taller, ya que en estos espacios se promueve la retroalimentación y análisis colectivo a nivel local.

A través de los intercambios de experiencias donde son ponentes, la red de monitoreo se consolida y perfecciona sus productos y la forma en qué se comunican y presentan al público. Por su parte, en los intercambios de experiencias donde son invitados, aprenden y enriquecen las alternativas y variables de monitoreo.

Variables medidas

- Reuniones mensuales de análisis de datos
- Número de boletines climáticos compartidos.
- Número de intercambio de experiencias presentados

Duración de medición de la variable

Comunicación mensual virtual y presencial.

Publicación de boletines mensuales y trimestrales.

Eventos de intercambio de experiencias con una frecuencia aproximada de dos horas.

Valor agregado

Se presentan diversidad de productos-análisis-piezas de información como resultado del monitoreo comunitario

Limitaciones

No se contó con una estrategia exclusiva de la comunicación en la red de monitoreo, en especial en casos como la pandemia, lo que generó baja interacción entre los miembros de la red, en especial durante la pandemia.

SECCIÓN

5



Conclusiones y lecciones aprendidas



Relativas a la formulación

1. En el caso del proyecto GEF alta montaña, el indicador de impacto definido desde su formulación fue una aproximación gruesa que al implementar las medidas de adaptación fue poco sensible debido a que la proporción de la intervención respecto al área de las unidades hidrológicas priorizadas fue limitada. Por esta razón, se formuló un indicador complementario que identificara la relación entre picos bajos y altos de caudal en el año, con el fin de aproximarse a la estimación del cambio en el servicio de regulación hídrica en las unidades hidrológicas priorizadas.
2. El diseño de la estrategia de monitoreo debe contemplar las escalas espaciales de intervención con variables e indicadores sensibles que permitan inferir el impacto de la implementación de las medidas de adaptación.
3. Respecto a las escalas temporales de monitoreo, es importante contar con un monitoreo a corto plazo para el levantamiento de la línea base, y a mediano y largo plazo para establecer la efectividad de las medidas de adaptación.

Relativas a la implementación

1. La implementación de la estrategia de monitoreo debe ser ejecutada desde el inicio del Proyecto, incluyendo una línea base previa a la implementación de las medidas de adaptación e incluyendo áreas con y sin medidas implementadas.
2. La implementación de la estrategia de monitoreo facilitó el desarrollo de una caracterización del balance hídrico en unidades de cuencas de quinto orden y en parcelas de monitoreo que permitieron deducir los efectos de las medidas de adaptación proyectadas a largo plazo frente al servicio ecosistémico de regulación y suministro de agua.
3. A través del monitoreo hidrometeorológico se logró bajar la incertidumbre de la modelación hidrológica, esto permitió inferir los efectos de los escenarios de cambio climático en la oferta hídrica y el régimen hidrológico de las unidades priorizadas. De esta forma, se destaca la importancia de la toma de datos a una escala local y representativa del comportamiento del clima en los ecosistemas de alta montaña.

4. Con el monitoreo comunitario se identificó la alta variabilidad del tiempo a escala local, y cómo en algunos casos, gracias a la implementación de medidas de adaptación, se evidencian diferentes efectos favorables sobre eventos extremos como heladas comparando áreas con y sin medidas de adaptación implementadas.
5. El monitoreo comunitario además de posicionarse como una estrategia a largo plazo se convirtió en una reafirmación y aporte de saberes locales, construcción conjunta de conocimiento y empoderamiento comunitario. En el Proyecto, las comunidades fueron partícipes y protagonistas de la generación de conocimiento en los ecosistemas de alta montaña y su relación con los sistemas productivos. Se espera que de ahora en adelante puedan realizar diagnósticos tempranos de eventualidades climáticas y proyectar las actividades asociadas a sus sistemas productivos dependiendo del clima, lo que facilita una planeación efectiva de las fincas de acuerdo con la oferta hídrica que es fundamental para poder desarrollar una producción agropecuaria eficiente.
6. Los espacios de intercambio de experiencias y publicaciones donde se presentan y comparten los resultados del proceso de monitoreo son de gran importancia y requieren de un componente específico de comunicación y fortalecimiento de capacidades local. Este trabajo debe estar enmarcado en una estrategia de comunicaciones

dedicada a consolidar la red de monitoreo comunitario, ya que permite la construcción conjunta y una sostenibilidad basada en el fortalecimiento del tejido social local.

Relativas a la sostenibilidad

1. Para poder evaluar los efectos del cambio climático en un territorio es necesario considerar un periodo de monitoreo de al menos 30 años. Se estima que durante este tiempo es posible evidenciar la tendencia en el comportamiento de este fenómeno y la influencia de la variabilidad climática y de eventos como El Niño y La Niña.
2. La toma de datos por parte de la comunidad a una escala local se constituye en una herramienta para la toma de decisiones que favorecen la adaptación. De esta manera es posible consolidar información y conocimiento técnico que permite orientar decisiones que favorecen la gestión de los territorios frente a la adaptación al cambio climático a largo plazo.
3. El enfoque de investigación y de trabajo conjunto con una entidad académica constituye un mecanismo de continuidad de monitoreo por medio de cooperación y sinergia interinstitucional a corto y mediano plazo. En la misma vía, la permanencia y potencialización del monitoreo a largo plazo requiere de participación de actores institucionales que requieran orientar de forma efectiva recursos para una adecuada adaptación.

Sostenibilidad



Con el fin de proporcionar información para tomar decisiones, planificar del territorio y a la vez darles transparencia a las inversiones en soluciones basadas en la naturaleza con enfoque de adaptación basada en ecosistemas, se requiere contar con un sistema de monitoreo hidrológico para determinar la efectividad de las acciones y también para el diseño, determinar si en el largo plazo se cumple con las metas, y al fin de cuentas, si a través de los años, se logra la adaptación al cambio climático.

Sin embargo, los sistemas de monitoreo son costosos y requieren de unos costos asociados de mantenimiento que a la escala de las implementaciones es difícil de mantener. Es por esto por lo que se deben tener dos escalas tanto espaciales como temporales para mantener el sistema de monitoreo funcionando:

La primera de ellas es vincular el sistema de monitoreo de las medidas de adaptación a los esquemas de monitoreo nacionales o institucionales, como:

1. Programa Nacional de Monitoreo de Recurso Hídrico – (PNNMRH), este programa cuenta con tres redes:

» Red básica (nacional y regional): esta red tiene como función principal alimentar las estadísticas hidrometeorológicas, a fin de soportar los estudios regionales y nacionales que

dan cuenta de los comportamientos de las diferentes variables a nivel nacional y regional, por ello deben tener una larga serie de registros y ubicarse preferiblemente en zonas con poca influencia antropogénica.

» Redes complementarias regionales: operadas por las autoridades ambientales competentes con cobertura en sus áreas de jurisdicción, incluyen estaciones meteorológicas, hidrológicas, de monitoreo de acuíferos y de calidad del agua. Entre sus propósitos se encuentran: cuantificar y administrar el recurso hídrico, hacer seguimiento a la implementación de los instrumentos de la GIRH, planificar y ordenar el recurso hídrico, monitorear la calidad del recurso hídrico, gestionar los riesgos hidrometeorológicos y orientar la definición de medidas para la adaptación al cambio climático.

» Redes para usos específicos: se definen para brindar el apoyo a la ejecución de programas nacionales e internacionales por parte del IDEAM, INVEMAR y otros en su papel como autoridad hidrometeorológica nacional. Entre estos programas se encuentran los siguientes: Componente Nacional del Sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial, VMM, Componente Nacional del Programa Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN, Red de Alertas de Eventos Hidrometeo-

rológicos, redes que se encuentran ubicadas en zonas de influencia de proyectos específicos y obedecen a estudios sobre zonas particulares con necesidades de monitoreo puntuales.

2. Protocolos de monitoreo del IDEAM.

3. La nueva tarifa de las inversiones ambientales.

La segunda de ellas es la estrategia de sostenibilidad del sistema de monitoreo, se enfoca en dar continuidad al monitoreo comunitario como estrategia de monitoreo a largo plazo, consolidando la red y ampliando las variables a medir a nivel ecohidrológico y asociadas a los sistemas productivos sostenibles, para medir la efectividad de las medidas de adaptación implementadas, como parte del sistema general de monitoreo de resultados e impactos del proyecto.

De esa forma, la estrategia de sostenibilidad del sistema de monitoreo se enfoca en dar continuidad al monitoreo comunitario como estrategia de monitoreo a largo plazo, consolidando la red y ampliando las variables a medir a nivel ecohidrológico y asociadas a los sistemas productivos sostenibles, para medir la efectividad de las medidas de adaptación implementadas, como parte del sistema general de monitoreo de resultados e impactos del proyecto.

Además, es importante contar con la vinculación de actores institucionales que compartan datos como los de las estaciones meteorológicas autónomas que tienen en las cuatro unidades hidrológicas intervenidas y que puedan ser complemento del monitoreo hidrometeorológico local efectuado en el marco del monitoreo comunitario.

Debido a que el monitoreo comunitario es una actividad que implica compromiso, persistencia, trabajo y que genera resultados de utilidad para los monitores con el tiempo y la asociación de sus medios de vida, se requiere promoverla y fortalecerla de forma continua, por medio del reconocimiento a su labor como unidad familiar (en la que cada miembro cumple un rol en el monitoreo comunitario) y del intercambio de saberes con otras iniciativas y con actores locales, regionales e institucionales. Para ello, es importante contar con mecanismos de comunicación y divulgación de los resultados de monitoreo, con el fin de generar empoderamiento y promover gobernanza frente al recurso hídrico. De esta forma, la red de monitoreo será una red consolidada, que interactúe, evolucione y construya conocimiento local, pero sobre todo tejido social a largo plazo.

Bibliografía

6



A

Acosta, R. (2016). *Documento con los Insumos Técnicos y Recomendaciones para el Diseño y Puesta en Funcionamiento del Sistema de Evaluación y Monitoreo del Proyecto*. Conservación Internacional Colombia: Bogotá.

Armijos, M. T., De Bièvre, B. (2013). El Páramo como Proveedor de Servicio Ambiental Primordial, el Agua. En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. CONDESAN.

Avellaneda, L. (2017). *Avances en la implementación de las NDC en Adaptación*.

B

Badour, O., Kontongomde, H. (2007). *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante*. Organización Meteorológica Mundial: Ginebra.

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Hofstede, R., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. En *Earth-Sciences Reviews*, 79, pp. 53-72.

Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., Tobón, C. (2010). *Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions*. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 19–33.

Buytaert, W., Iniguez, V., De Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251, pp. 22-30.

C

Cabrera, H. (2002). Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña, en *Revista chilena de Historia natural*, 75:625-637.

Cahuaza, E., D. Jhoner. (2016). *Comparación de dos métodos para medir precipitación horizontal en el bosque nublado de la Reserva Biológica Uyuca*. **Honduras**.

Cárdenas, L., (2016). *Documento con los insumos técnicos y recomendaciones para el diseño y puesta en funcionamiento del sistema de evaluación y monitoreo del proyecto*. Conservación Internacional Colombia: Bogotá.

Célleri, R. (2010). Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. Quintero, M., (ed.). *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina*, CONDESAN, IEP, Lima, pp. 25-45.

Célleri, R., Crespo P., Mosquera G., Córdova, M. (2016). *Ecohydrological Observatories in High-elevation Tropical Ecosystems. Field Guide and Research Results*. **Universidad de Cuenca** - iDRHiCA. AGU CHAPMAN Conference 5-9 junio de 2016. Cuenca, Ecuador.

Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B. (2012). *Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos*. Iniciativa MHEA.

Chave, J. R., Andalo, S., Brown, M. A., Cairns, J. Q., Chambers, D., Eamus, H., Fölster, F., Fromard, N., Kira, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87-99.

Corporación Ecovera (2012). *Documento de Resumen Proceso de Consulta a las partes Interesadas*. Corporación Ecovera.

Cortés-Duque, J., Sarmiento, C. (eds.). (2013). *Visión socioecosistema de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: Bogotá.

Crespo, P. et al. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. En: Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L. D., De Bièvre, B., Posner, J., (ed.). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, CONDESAN.

D

Departamento Nacional de Planeación. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Departamento Nacional de Planeación: Bogotá.

Díaz, V. N., Holguín, L. (2019). *Informe de Sistematización y Evaluación de la Experiencia del Proyecto Gran Cuenca del Río Teusacá (2015-2018)*. Acueducto Progresar E.S.P.

Duarte, B. (2012). *Proyecto Páramos y Sistemas de Vida. Estudio sobre la sostenibilidad de los medios de vida de las poblaciones locales que habitan o utilizan directamente los páramos y su relación con la sostenibilidad del uso de estos ecosistemas*. Instituto Alexander Von Humboldt: Bogotá.

E

Echeverría, C., Huber, A., Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance ecohidrológico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque* (Valdivia) 28:271-280.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2018). *Informe de Síntesis*. En: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>.

F

FAO, MADS, IDEAM (2018). *Propuesta de Lineamientos para el Monitoreo Comunitario Participativo en Colombia y su articulación con el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques*. FAO, MADS, IDEAM: Bogotá.

Friends of Ecosystem-based Adaptation. (2017). *Hacer que la adaptación basada en ecosistemas sea eficaz: un marco para definir criterios de cualificación y estándares de calidad*. Bertram, M., Barrow, E.2, Blackwood, K.3, Rizvi, A.R. 3, Reid, H.4, y von Scheliha-Dawid, S.5. GIZ, Bonn, Alemania, IIED, Londres, Reino Unido, y UICN, Gland, Suiza. 14 pp.

G

García Arbeláez, C., Vallejo, G., Higgings, M. L., Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. WWF: Cali.

García, M., Díaz, S., Moncaleano, J. (2018). *Análisis de Resiliencia Predial al Cambio Climático*. Conservación Internacional: Bogotá.

GIZ, BMZ, ICI (2014). *Identificación de Indicadores para el Monitoreo y Evaluación de la Adaptación al Cambio Climático en México*. Zorrilla, M., Altamirano, M. A. GIZ, BMZ, ICI.

Global Ecoriesgo Soluciones S.A.S. (2018) *Documento Sobre Calidad, Robustez y Precisión Estadística de la Información para el Diseño del Seguro Agropecuario Catastrófico en Colombia*. En: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/4._calidad_robustez_y_precision_estadistica.pdf.

H

Higgins, J. V., Zimmerling, A. (2013). *Guía para el monitoreo de los Fondos de Agua*. The Nature Conservancy: Arlington.

I

IDEAM. (2013). *Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua*. IDEAM: Bogotá.

IDEAM. (2018). *Diseño y Optimización de la Red de Estaciones Hidrológicas*. En: <https://es.scribd.com/document/373417818/Redes-Ideam>.

IDEAM. (2018). *Métodos de la operación estadística de variables meteorológicas*. IDEAM: Bogotá.

IPBES (2018): The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., Brainich, A. (eds.). *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Bonn, Germany.

K

Kostiakov, A. N. (1932). *On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from the dynamic point of view for the purposes of amelioration*. Trans. Sixth Comm. Int. Soc. Soil Sci. 1:7-21.

L

Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management* 220:242-258.

Leguizamon, J. V., Marín, C. T. (2017). Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Revista Ecosistemas* 26:10-17.

Llambí L. D. (2019). Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Ciencia Práctica*; Vol. 4, 1-2019, PP 150-172.

Llambí, L. D., Cuesta, F. (2013) Páramos andinos en el espacio y en el tiempo. En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, CONDESAN.

Logreira, A. (2008) *Componente: Estructurar y consolidar metodologías técnicas en el ámbito biofísico para determinar y monitorear servicios ambientales relacionados con la regulación hídrica y calidad del agua; así como para establecer la relación existente entre esos servicios con el uso del suelo que los genera, mantiene o incrementa*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y Patrimonio Natural.

Lopera, M. C. (2019). Soil CO₂ flux under different land-cover types in the Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental of Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 43:234-240.

López J., V. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones e Investigación* 8. UNAD: Bogotá.

M

Manson, R. H., Ramos, M., Vidriales, G. (2018) Gestión para la defensa del agua y el territorio en Xalapa, Veracruz. En: *Lecciones aprendidas en el desarrollo de redes de monitoreo comunitario del agua en la zona conurbada de Xalapa, Veracruz*. Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México.

MMA, CTCN, CATIE, ICRAF. (2016). *Diseño de una Red*. Santiago-Chile: Ministerio de Ambiente de Chile, Climate Technology, Centre and Network, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Educación, World Agroforestry Centre.

Monitoreo Climático Centroamérica – Red de Observación Climática Comunitaria (2018). *Boletín Climático Regional Edición 1*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: Bogotá.

O

Ochoa-Tocachi, B. F., et al. (2018). *Data Descriptor: High – Resolution Hydrometeorological Data from a Network of Headwater*.

Ochoa-Tocachi, B., Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C. A., L., Acosta., Villazón, M., Gualpa, M., Gil-Ríos, J., Fuentes, P., Olaya, D., Viñas, P., Rojas, G., Arias, S. (2016). *Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. South American Hydrology Vol 30 Issue 22*.

Oliveros. (2017). *Avances y recomendaciones de la estrategia de montañas y cambio climático desarrollada en la región*. Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Bogotá.

Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas OMM 100*. Ginebra, Suiza.

Ospina, A. (2018). *sNAPshot. Monitoring and Evaluation in the NAP Process: Opportunities, Challenges and Emerging Solutions*. Overview Brief. NAP Global Network.

P

Pabón, J., Saavedra, H., Cárdenas, V., Niño, R., Parra, L., Garzón, M., Reyes, F. (2002). *Propuesta para el rediseño de la red de observaciones meteorológicas en Colombia. Meteorol. Colombia*. 5:123-129. ISSN 0124-6984. Bogotá.

Pinilla, M. C., Rueda, A., Pinzón, C., Sánchez, J. (2012). Percepciones sobre los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático entre campesinos del centro de Santander, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 16 (31), 25-37.

Pinilla, M. C., Rueda, A. J., Pinzón, C. A. (2018). *Métodos para el monitoreo agroclimático alrededor de embalses: estudio de caso para la hidroeléctrica Sogamoso, Santander, Colombia*. Fundación Natura.

Pinzón, L. J. (2019). *Documento con la propuesta de criterios y orientaciones para el Sistema de Monitoreo y Evaluación de Adaptación*. Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Bogotá.

Q

Quintero, M., Celleri, R., (2010). *Estado y Conocimiento Técnico Científico sobre los Servicios Ambientales Hidrológicos Generados en los Andes. Servicios ambientales hidrológicos en la región andina. Estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales*. Lima, IEP; CONDESAN, 2010. (Agua y Sociedad, 12; Serie Panorama Andino, 1).

S

Sanchún, A., Botero, R., Morera Beita, A., Obando, O., Russo, R., Scholz, C., Spinola, M. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. UICN, San José, Costa Rica. XIV + 436p.

Serrano Vicente, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., Villacis, M. (2012). *Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el distrito metropolitano de Quito*. La granja, revista de ciencias de la vida, 23-47.

T

Tobón, C. *Curso sobre hidrología y monitoreo hidrológico en ecosistemas Andinos. Iniciativa MHEA; CONDESAN y Universidad Nacional de Colombia*. <https://es.slideshare.net/InfoAndina/3-intro-monitoreo-c-tobon>

V

Veiga, H., Herrera, N., Skansi, M. (2014). *Descripción de controles de calidad de datos climáticos diarios implementados por el centro regional del clima para el sur de América del sur*. Universidad de Miami: Miami.

Verstraeten, W. W., Veroustraete, F., Feyen, J. (2008). Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. *Sensors* 8:70-117.

Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Fowler, H. J., Greenwood, G. B., Hamlet, A. F., Huang, Y., Kolbtschnig, G., Litaor, M. I., López-Moreno, J. I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M., Woods, R. (2011). Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 471–504



El ambiente
es de todos

Minambiente

