

# Memorias del taller Hacia la consolidación de una estrategia de monitoreo integrado de ecosistemas de alta montaña en Colombia

---

## Proyecto Páramos: Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte



**CONDESAN**  
Consortio para el Desarrollo Sostenible  
de la Ecorregión Andina





**CONDESAN**  
 Consorcio para el Desarrollo Sostenible  
 de la Ecorregión Andina



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Metodología de trabajo.....</b>	<b>5</b>
2.1. Presentaciones Temáticas.....	5
2.2. Mesas de Trabajo .....	5
2.1.1 Escala Nacional.....	5
2.1.2 Escala Regional / Sitios.....	6
<b>3. Presentaciones Temáticas.....</b>	<b>6</b>
3.1 Escala Nacional.....	6
3.1.1 Propuesta de una estrategia integrada de monitoreo de los ecosistemas de alta montaña en Colombia	
3.1.2 El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales del IDEAM.....	9
3.1.3 Avances en la Implementación del Inventario Forestal Nacional.....	10
3.1.4. Agenda de Investigación en la Alta Montaña de Colombia e Identificación de Oportunidades para su implementación en el marco de la normativa actual.....	11
3.1.5. Monitoreo hidrológico en páramo.....	12
3.2 Escala Regional de Sitios de Trabajo.....	12
3.2.1. El observatorio socio-ecológico de alta montaña Poleka Kasue y la investigación integrada de clima, vegetación e hidrología en el Parque Nacional Natural Los Nevados.....	12
3.2.2. Monitoreo glaciar y la red de estaciones meteorológicas de alta montaña.....	14
3.2.3. Monitoreo de la biomasa y el carbono en páramos y bosques altoandinos.....	16
3.2.4. Protocolo de Monitoreo en el Complejo de páramo Los Nevados .....	17
3.2.5. Conflictos ambientales en la alta montaña: elementos para su análisis y monitoreo.....	18
3.2.6. PARAGUAS: ¿Cómo almacenan agua los páramos?.....	19
<b>4. Mesas de Trabajo.....</b>	<b>21</b>
4.1. Mesa de Trabajo 1.....	21
4.2.2. Variables físicas/abióticas.....	21
4.1.2. Variables bióticas/diversidad/uso del suelo.....	22
4.2. Mesa de Trabajo 2.....	25
4.3. Mesa de Trabajo 3.....	26
4.4. Mesa de Trabajo 4.....	27
<b>5. Síntesis y Conclusiones.....</b>	<b>30</b>



CONDESAN  
Consortio para el Desarrollo Sostenible  
de la Sierranía Andina



IDEAM



## RESUMEN EJECUTIVO DEL TALLER

### Consolidación de la Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia

El presente documento constituye una síntesis de las discusiones y conclusiones del taller de expertos organizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales – IDEAM, el Instituto Alexander von Humboldt – Instituto Humboldt y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONDESAN, con el apoyo del Proyecto Páramos: Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte (Unión Europea). Este taller hace parte del proceso de consolidación progresiva de una propuesta de estrategia de monitoreo integrado de los ecosistemas de la alta montaña en Colombia (EMA).

Luego de una breve introducción que contiene las principales motivaciones para el desarrollo del taller, se presentan los objetivos y metodología utilizada en el taller. Las secciones siguientes sintetizan los principales resultados y las conclusiones generales del evento, incluyendo un resumen de las presentaciones realizadas, así como de las discusiones generadas en las mesas de trabajo.

El taller contó con la participación de 46 profesionales del IDEAM, Instituto Humboldt, Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y otras instituciones académicas con experiencia en el monitoreo de los ecosistemas altoandinos del país. Este evento constituyó un espacio de discusión y reflexión en torno a la consolidación de una plataforma nacional de información de ecosistemas de alta montaña, así como posibles sitios de trabajo y monitoreo de largo plazo, tomando como caso de estudio el área asociada al Parque Natural Los Nevados localizado en la Cordillera Central de Colombia.

La presentación de la propuesta de la Estrategia Integrada de Monitoreo de Ecosistemas Altoandinos (EMA), formulada a través de un amplio proceso de consulta durante el 2018, enfatizó el avance realizado en la formulación clara de objetivos, preguntas orientadoras, un modelo conceptual multiescalar, y la identificación de productos esperados, que permitirá orientar la consolidación de la estrategia a nivel nacional y de sitios de trabajo.

Se evidenció el avance realizado a nivel nacional en varias iniciativas clave para el monitoreo de ecosistemas, incluyendo el proceso de formulación y reporte de variables e indicadores ambientales realizado por el IDEAM, el Inventario Forestal Nacional, el diseño de un protocolo detallado para el monitoreo hidrológico en páramos con un enfoque ecosistémico y el protocolo para el monitoreo del ciclo del carbono en la alta montaña. A su vez, la revisión documental realizada para la formulación de la Agenda de Investigación de Alta Montaña del Instituto Humboldt, identifica varios temas críticos en que la EMA puede realizar aportes muy importantes, incluyendo el análisis de los cambios en la diversidad funcional en escenarios de transformación antrópica y las interacciones entre la biodiversidad, la dinámica hidrológica y la acumulación de carbono, entre otros.



En la primera mesa de trabajo se discutieron las variables esenciales para el monitoreo a nivel nacional. Los participantes coincidieron en que a esta escala es fundamental dar seguimiento a la cobertura de los ecosistemas aprovechando la información disponible. Otros aspectos planteados incluyeron la distribución potencial de especies, mapas de endemismos y de especies amenazadas, la estimación de la biomasa y carbono en ecosistemas altoandinos, así como el consolidar la información para la alta montaña de variables como la precipitación, oferta hídrica y calidad del agua. En la segunda mesa de trabajo se discutió los pasos necesarios para la consolidación de un sistema nacional de información de ecosistemas de alta montaña. Los participantes enfatizaron la necesidad de definir un marco lógico y un modelo de gestión de información, partiendo de los objetivos y modelo conceptual de la EMA. También se enfatizó la necesidad de realizar un estudio y análisis de costos y viabilidad institucional y financiera, para poder definir el mejor arreglo institucional para consolidar el sistema de información y dónde alojarlo.

En el caso de Complejo de Los Nevados en el Macizo Volcánico Ruiz-Tolima, las ponencias presentadas evidenciaron la existencia de múltiples iniciativas de monitoreo e investigación de largo-plazo, especialmente en la Cuenca del Río Claro. Estas iniciativas cubren un amplio rango de elevaciones desde los bosques altoandinos hasta la zona nival y combinan el uso de análisis a escala del paisaje (coberturas de ecosistemas), de estaciones hidrometeorológicas y de parcelas permanentes. A su vez, combinan estudios paleoecológicos con una escala temporal de milenios, con el uso de enfoques diacrónicos para el seguimiento de la dinámica de cambio en las últimas décadas (p. ej. para el monitoreo del balance de masa glaciar). A su vez, en el marco del Proyecto Páramos financiado por la Unión Europea se vienen desarrollando actividades de monitoreo en varias localidades del Complejo de Los Nevados (bajo el liderazgo de la Corporación Autónoma de Risaralda - CARDER), vinculadas más directamente con el seguimiento del impacto de actividades de restauración ecológica, reconversión productiva, ordenación del territorio y esquemas de pago por servicios ambientales.

En las mesas de trabajo dedicadas a la escala regional (tercera y cuarta) se discutieron las variables de un paquete mínimo de monitoreo en los sitios y los posibles arreglos institucionales a esta escala. Para permitir la integración del trabajo a escala de sitios, con la escala nacional, los participantes en el taller enfatizaron la importancia de dar seguimiento a los mismos temas generales planteados para el nivel país, adaptando las metodologías para trabajar a nivel de paisajes, parcelas permanentes y estaciones hidrometeorológicas. Esto permitiría realizar ejercicios de escalamiento de la información desde lo local hasta lo nacional.

Finalmente, en cuanto a los arreglos institucionales, se planteó la posibilidad de organizar los sitios de trabajo en una red nacional de observatorios de alta montaña, entiendo que cada región debe tener la libertad de generar sus propios arreglos y esquemas de funcionamiento. Se enfatizó el papel que los Institutos de investigación del SINA están llamados a jugar en la orientación, asesoramiento y apoyo, promoviendo la generación de reportes integrados de estado y tendencias, a partir de un modelo común acordado a nivel nacional. También se enfatizó la necesidad de promover alianzas con instituciones de investigación y gestión activas en cada región (Universidades, Institutos, CAR,



**CONDESAN**  
Comisión para el Desarrollo Sostenible  
de la Ecorregión Andina



**PÁRAMOS**



proyectos activos) y de establecer plataformas de diálogo intersectorial con los usuarios de la información, incluyendo guías de montañas, organizaciones de base, acueductos regionales, centros educativos, entre otros.



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el 2018, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Instituto Humboldt) y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina (CONDESAN) trabajamos articuladamente en el diseño de la propuesta para una “Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia”. El diseño de la estrategia se basó en un amplio proceso de consulta y discusión con expertos, líderes y tomadores de decisión vinculados al monitoreo y gestión de ecosistemas de alta montaña en el país. La estrategia propuesta como resultado de este proceso de reflexión tiene como objetivos: (1) Evaluar el estado actual y tendencias de cambio de variables e indicadores vinculados con la integridad ecológica, biodiversidad, funcionamiento y servicios ecosistémicos de los ecosistemas Altoandinos de Colombia; (2) Relacionar estos cambios con los principales factores moduladores de los procesos de transformación que operan a diferentes escalas espacio-temporales incluyendo el cambio climático y las dinámicas demográficas, socio-económicas y de uso de la tierra; y (3) Generar información para evaluar la efectividad de las principales estrategias y políticas ambientales y esquemas de gobernanza territorial y orientar los procesos de toma de decisión a diferentes escalas.

Para lograr estos objetivos, se propuso un modelo conceptual multiescalar de los principales procesos generadores de cambio y de las variables respuesta que deberían ser objeto de monitoreo, desde el ámbito nacional hasta el nivel de ecosistemas/parcelas. Con miras a promover la consolidación de la estrategia, hemos considerado prioritario desarrollar una hoja de ruta que permita, por un lado, darle mayor difusión a la propuesta, y por otro discutir estrategias para su implementación a escala nacional y a escala de sitios de trabajo.

A **escala nacional** se plantea seleccionar variables esenciales para el monitoreo del estado y tendencias de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y definir los pasos necesarios para consolidar un sistema de información de ecosistemas de alta montaña en Colombia.

A **escala regional** se propone la recopilación de información a escala de sitios/paisajes y hacer un ejercicio de integración de información en aquellas áreas donde se cuenta con mayor trayectoria de investigación/monitoreo y en territorios prioritarios en virtud de la existencia de conflictos socio-ambientales. La idea a escala de sitios es poder analizar de forma integrada los cambios en una serie de regiones/paisajes de alta montaña, los motores de estos cambios y sus consecuencias ambientales y sociales.

En este contexto, el presente taller se planteó los siguientes objetivos:

1. Discutir variables esenciales a escala nacional y de sitios de trabajo relevantes para el monitoreo de dinámicas de ecosistemas altoandinos, incluyendo hidrología, carbono, suelos, biodiversidad, transformación del paisaje y acciones de manejo y conservación, entre otras.



2. Discutir el diseño conceptual y pasos necesarios para estructurar una plataforma de información que permita visibilizar la estrategia de monitoreo integrado, actores claves, sitios de trabajo y protocolos disponibles, así como información de las variables esenciales de monitoreo de los ecosistemas de alta montaña a escala nacional.
3. Promover la síntesis de información disponible e identificar los vacíos de información existentes sobre sitios clave de trabajo en monitoreo de ecosistemas en la alta montaña en el país.
4. Discutir los componentes básicos de un protocolo integrado a escala de sitios (paquete mínimo) y los pasos necesarios para consolidar una red de sitios de monitoreo de ecosistemas altoandinos en Colombia.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El taller se estructuró en torno a presentaciones temáticas y mesas de trabajo. Durante el primer día, se abordó la escala nacional, mientras que el segundo día del taller se dedicó a trabajar la escala regional, de sitios de trabajo. Las presentaciones temáticas se plantearon para proveer a los participantes de información detallada de contexto de modo de alimentar las discusiones realizadas durante el trabajo en las mesas.

### 2.1. Presentaciones temáticas

El primer día (jueves, 11 de abril), las presentaciones temáticas abordaron la escala nacional. Se partió de una presentación de la Propuesta para la Estrategia Integrada de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña desarrollada durante el 2018, así como una breve discusión de los próximos pasos que podrían darse para su consolidación. Las siguientes presentaciones abordaron las características del sistema nacional de indicadores del IDEAM, los avances del Inventario Forestal Nacional y el diseño de la Agenda de Investigación en los Ecosistemas de Alta Montaña del Instituto Humboldt.

El segundo día (viernes 12 de abril), las presentaciones estuvieron relacionadas con el trabajo en la alta montaña a escala regional-local, incluyendo: a) una discusión de la propuesta integral para el monitoreo hidrológico en páramos; b) una propuesta para el análisis y monitoreo de conflictos ambientales en la alta montaña; c) la propuesta del Proyecto Páraguas para el estudio de la regulación hídrica en los páramos y el impacto del uso humano; y d) los avances en el monitoreo en el complejo de alta montaña de Los Nevados de la biodiversidad, biomasa y carbono, dinámica glaciar y fitocolonización de áreas en sucesión primaria, dinámica hídrica y gestión ambiental.

### 2.2. Mesas de Trabajo

Se realizaron mesas de trabajo durante la jornada de la tarde de cada día del taller. El primer día se conformaron dos mesas abordando la escala nacional (mesas 1 y 2); y el segundo día nuevamente se conformaron dos mesas abordando la escala de trabajo regional y de sitios (mesas 3 y 4). Cada mesa de trabajo contó con una serie de preguntas orientadoras que ayudaron a guiar las discusiones, que



se desarrollaron durante dos horas aproximadamente. Luego, un relator presentó las conclusiones de cada mesa en plenaria al final de cada día.

### 2.1.1 Escala Nacional (jueves 11 de abril)

- **Mesa de Trabajo 1.** Variables esenciales para el monitoreo de los ecosistemas de alta montaña a escala nacional. ¿Con qué información sobre diversidad-servicios ecosistémicos-uso de la tierra contamos en las plataformas nacionales (IDEAM, IAvH, otros)? ¿Qué indicadores/variables podemos (re)calcular para los ecosistemas altoandinos? ¿Qué mapas temáticos es posible generar? ¿Podemos generar reportes temporales de tendencias para algunos indicadores/variables?
- **Mesa de Trabajo 2.** Consolidación de una plataforma nacional de información de ecosistemas de alta montaña. ¿Para qué y para quién es la plataforma? ¿Es posible estructurar el proceso en dos pasos, comenzando por un portal web de información disponible (protocolos, actores, sitios de trabajo), para luego generar un geovisor o sistema de reporte de indicadores/tendencias? ¿Qué instituciones pueden gestionar el sistema?

### 2.1.2 Escala Regional / Sitios (viernes 12 de abril)

- **Mesa de Trabajo 3.** Paquete mínimo de monitoreo a escala regional / sitios de trabajo. Integración de la información e identificación de vacíos. ¿Qué variables mínimas es clave monitorear a nivel de parcelas y paisajes? ¿Es posible integrar los sistemas de monitoreo existentes?
- **Mesa de Trabajo 4.** Monitoreo a escala regional / sitios en el contexto de la gobernanza ambiental. ¿Para qué y para quién es el monitoreo en los sitios? ¿Quiénes son los actores claves a escala de sitios? ¿Cuál es el papel de los institutos de investigación del SINA? ¿Qué conflictos socio-ambientales requieren de información producto del monitoreo? ¿Qué esquemas de gobernanza son claves? ¿Quiénes son los principales usuarios de la información? ¿Qué estructura organizativa es viable a escala de sitios? ¿Es factible consolidar una red nacional de sitios de monitoreo?

## 3 Presentaciones Temáticas

A continuación, se presenta un resumen de cada una de las presentaciones temáticas realizadas durante el taller.

### 3.1 Día 1. Escala Nacional

#### 3.1.1 Propuesta de una Estrategia Integrada de Monitoreo de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia. Luis D. Llambí (IDEAM-IAvH-CONDESAN)

La propuesta de monitoreo integrado de ecosistemas Altoandinos de Colombia parte del consenso existente de que la pérdida de la biodiversidad tiene efectos muy significativos sobre los servicios que prestan los ecosistemas y sobre el bienestar humano. Sin embargo, es común que los sistemas de monitoreo evalúen la biodiversidad y los procesos como la regulación hídrica o la acumulación de carbono de forma independiente. Así surge la necesidad de contar con sistemas de monitoreo



integrado con un enfoque de manejo adaptativo y que permitan analizar y documentar el estado y tendencias de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, evaluar impacto de cambios en contexto político-económico (p. ej. políticas de delimitación de los páramos y postconflicto), y que aporten insumos para la planificación y gestión ambiental y territorial, así como para el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático y de restauración ecológica. Así, los objetivos del sistema de monitoreo propuesto son:

- 1) Evaluar el estado actual y tendencias de cambio de variables e indicadores vinculados con la integridad ecológica, biodiversidad, funcionamiento y servicios ecosistémicos de los ecosistemas Altoandinos de Colombia.
- 2) Relacionar estos cambios con los principales factores de presión que operan a diferentes escalas espacio-temporales incluyendo el cambio climático y las dinámicas del uso de la tierra.
- 3) Generar información para evaluar la efectividad de las principales estrategias y políticas de conservación, gestión y restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y orientar los procesos de toma de decisión

En la propuesta de monitoreo integrado se priorizan los ecosistemas altoandinos de Colombia (i.e. aquellos identificados en el Mapa de Ecosistemas de Colombia 2017, en la zona de alta montaña sobre los 2800 m) ya que: a) incluyen ecosistemas estratégicos para el país (páramos, humedales, glaciares, bosques Andinos); b) constituyen un punto caliente global de biodiversidad; c) proveen servicios ecosistémicos clave incluyendo la provisión y regulación de la oferta hídrica para una creciente población rural y urbana; d) se encuentran en la región de mayor concentración de población en el país, con una larga historia de ocupación y uso del territorio; e) y se consideran altamente expuesto y vulnerables frente al cambio climático. A su vez, existen una gran cantidad de experiencias y protocolos de monitoreo en la zona Altoandina de Colombia, incluyendo procesos y esquemas de seguimiento a: la biomasa y carbono, biodiversidad de especies y funcional (incluyendo especies claves como los frailejones o el oso andino), clima, dinámica hídrica y glaciares y cambios en el uso de la tierra. Tomando como base los esquemas y protocolos de monitoreo existentes, se propone que estos se articulen en un sistema integrado.

El modelo conceptual propuesto se basa en un enfoque de integración de múltiples escalas espaciales de análisis, para los cuales se proponen *preguntas orientadoras*, los principales *factores o motores generadores de cambio* y las principales *variables respuesta* objeto de monitoreo. A **Escala Nacional**, se plantea priorizar el análisis de los cambios en los motores políticos, socio-culturales y económicos de transformación y la dinámica de las principales actividades antrópicas (p. ej. agricultura, ganadería, forestación, etc.). A su vez, se propone realizar cruces, para la región Altoandina, entre indicadores disponibles vinculados con el cambio climático y la oferta hídrica, cobertura de ecosistemas, erosión y degradación de suelos, stocks de biomasa/carbono, biodiversidad y calidad de vida de la población. A **Escala Regional y de Paisajes**, se propone enfatizar el análisis de los efectos sobre la diversidad y el funcionamiento ecosistémico de *gradientes* de transformación antrópica – regeneración, estudiando estos cambios a lo largo de gradientes de elevación, desde los bosques Altoandinos, hasta los páramos y glaciares (utilizando indicadores integrados a escala de paisajes/cuencas). A su vez, se



propone caracterizar el régimen histórico y actual de uso y los sistemas socio-ambientales de manejo. Finalmente, a escala de **Ecosistemas / Parcelas** se propone estimar de forma integrada variables relacionadas con la diversidad taxonómica/funcional y el balance hídrico y de carbono a nivel ecosistémico (p. ej. acumulación de fitomasa, stocks de agua y carbono en suelos). Se plantea el uso de un sistema anidado de parcelas permanentes con diferentes dimensiones, aprovechando al máximo las ya existentes, adaptadas a los ecosistemas objeto de estudio (bosques, páramos, superpáramos), así como el contar con parcelas de seguimiento en áreas con diferente grado de conservación/restauración (ecosistemas primarios de referencia, áreas en sucesión, agroecosistemas). Para la estimación de variables, se propone utilizar como base los protocolos existentes y en desarrollo por instituciones académicas e institutos de investigación, incluyendo el Instituto Humboldt, el IDEAM y el IGAC (p. ej. Inventario Forestal Nacional; Cuantificación de biomasa y carbono en ecosistemas de alta montaña; Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos).

Los productos esperados del sistema propuesto podrían incluir: a) informes periódicos del estado y tendencias de los ecosistemas altoandinos de Colombia; b) simposios y encuentros de redes de trabajo en torno a la dinámica de ecosistemas Altoandinos del país; c) plataforma informática integrada incluyendo bases de datos y metadatos y sistemas de análisis y consulta de la información; d) catálogo digital de estrategias de política y gestión, actores y usuarios de la información, protocolos disponibles, y sitios clave de trabajo.

Finalmente, desde el punto de vista institucional se propone que el Sistema de Monitoreo Integrado cuente con un Comité Directivo y un Comité Técnico a nivel nacional, con una importante participación de instituciones del SINA, académicas y ONGs del sector, así como una plataforma de diálogo interinstitucional en que participen usuarios y actores clave de la sociedad civil. A su vez, el sistema debe contemplar mecanismos de enlace e interoperabilidad con otras redes internacionales de monitoreo activas en la región (p. ej. GLORIA-Andes, GNOMO, Red de Bosques Andinos) y con el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). A su vez, es clave que el sistema nacional permita integrar y articular el trabajo de nodos regionales/sitios de monitoreo en las diferentes cordilleras y complejos de alta montaña del país, que pudieran incluir áreas con información y experiencia institucional previa (p. ej. bosques Andinos de Antioquia, complejos de Los Nevados, Chigaza, El Cocuy, Tota, entre otros) y áreas prioritarias en virtud de su dinamismo o la presencia de conflictos ambientales (Santurban, Pisba, etc.).

A partir de la formulación de la propuesta, se identificó a su vez una ruta de trabajo de modo de promover la implementación progresiva de la estrategia partiendo de procesos existentes. Un primer punto clave es seleccionar variables esenciales para el monitoreo del estado y tendencias de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a escala nacional y consolidar un visor o plataforma de información de ecosistemas de alta montaña en Colombia. A su vez, un portal de información podría contribuir a visibilizar las iniciativas en marcha de monitoreo de biodiversidad, agua, carbono, uso del suelo y gobernanza a escala nacional y regional/local y los actores y redes involucrados. Esto permitiría a todos los interesados compartir información sobre sus sitios de monitoreo, protocolos metodológicos, resultados de investigación y otros datos relevantes.



Un segundo paso clave es la recopilación de información a escala de sitio y hacer un ejercicio de integración de información y variables en aquellas áreas donde se cuenta con mayor trayectoria de investigación/monitoreo (por ej. PNN Los Nevados). Esto permitirá, además de entender la información existente y la potencialidad de hacer análisis integrados, identificar los vacíos de información y generar una propuesta de protocolos de monitoreo mínimo a escala de sitio, así como módulos complementarios específicos para especies o temas de interés local y regional. De este modo, se propone fortalecer sitios de monitoreo existentes y promover el trabajo en red alrededor de observatorios regionales. Finalmente, es fundamental continuar promoviendo la difusión y discusión de la estrategia, no solo con las instituciones y grupos de investigación vinculados en el monitoreo en ecosistemas de alta montaña, sino también con tomadores de decisión a diferentes escalas y vinculados a diferentes sectores productivos, líderes y organizaciones locales y de la sociedad civil.

### 3.1.2 El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales del IDEAM

#### Magda Sierra y Natalia Córdoba (IDEAM)

Para el diseño efectivo de esquemas de monitoreo ambiental un aspecto clave es partir de una definición clara de los diferentes conceptos relacionados con las **estadísticas ambientales**, entendidas como un conjunto de datos que han sido agregados, sintetizados, estructurados y descritos de acuerdo a métodos, estándares y procedimientos estadísticos. Dos componentes fundamentales de las estadísticas ambientales son: a) las **variables**: fenómeno que se estudia, cuyo valor en el tiempo y/o en el espacio, varía; y b) los **indicadores**, que son una combinación de estadísticas significativas, que sintetiza aspectos de uno o más fenómenos ambientales que resultan importantes para el monitoreo en el tiempo. El desarrollo de indicadores ambientales es un proceso que contempla etapas de preparación (incluyendo la revisión de marcos conceptuales y metodológicos), diseño y elaboración, lanzamiento, institucionalización y actualización periódica. Algunos de los marcos conceptuales ordenadores de los indicadores ambientales incluyen el Marco para el Desarrollo de Estadísticas Ambientales (MDEA), el Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas (SCAE) y los modelos de Presión-Estado-Respuesta (PER).

El IDEAM genera y difunde una serie de variables e indicadores ambientales a nivel nacional en temas de clima y cambio climático, calidad y cantidad de agua, calidad del aire, degradación de suelos, cobertura de bosques, ecosistemas y glaciares, entre otros (ver <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>). Para su publicación, cada indicador debe cumplir con la Norma Técnica de Calidad de Dato Estadístico (DANE), por lo que cada variable e indicador cuenta su hoja metodológica de medición, además de protocolos generales que se han venido consolidando para el monitoreo, por ejemplo, de la dinámica hídrica, la salinización, o los procesos de erosión. Los indicadores desarrollados y monitoreados por el IDEAM alimentan a su vez el Informe del Estado del Medio Ambiente, así como reportes nacionales temáticos (p. ej. Estudio Nacional del Agua, 2014; Estudio Nacional de Degradación de Suelos por Erosión, 2015; Boletines de Alerta Temprana de Deforestación). En general, estas variables e indicadores se reportan a escala de Departamentos, Jurisdicciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), o Zona/Sub-zona



hidrográfica. Así, un reto importante es generar estrategias para la generación de reportes específicamente dirigidos a la región y ecosistemas de alta montaña.

### 3.1.3 Avances en la Implementación del Inventario Forestal Nacional.

#### Claudia Olarte (IDEAM).

El conocimiento del estado y dinámica de los bosques de Colombia ha sido un tema clave de la política ambiental desde la promulgación de la Reforma del Código Fiscal sobre la explotación de los bosques nacionales de 1919 (Ley 119) y la promulgación de la 2da Ley para la creación de zonas de reserva forestal en 1959. Sin embargo, no es sino hasta el 2009 que se concreta el diseño del Inventario Forestal Nacional, que comienza a implementarse en el 2015 (se contempla la realización de remuestreos quinquenales). Para el diseño se partió de un análisis detallado de los enfoques utilizados por la FAO y otros países de la región para sus inventarios forestales (p. ej. Ecuador, Brasil). Para el 2017 Colombia contaba con 59.311.350 ha de bosques, de los cuales el 17.8% están ubicados en la región Andina. Sin embargo, las tasas de deforestación han venido aumentando en los últimos años, con una pérdida de 219.973 ha para el 2017 (lo que representa un incremento del 23% respecto al 2016). Todo esto enfatiza la importancia de documentar la ubicación y extensión, composición, diversidad y estructura de los bosques del país y los servicios ecosistémicos que estos prestan, lo que es fundamental para la formulación de políticas de manejo y uso sostenible de estos recursos.

Así, el objetivo del IFN es levantar información para conocer el estado y dinámica de los bosques a nivel nacional. Está basado en un marco geoestadístico, utilizando un diseño sistemático que divide el país en celdas de 24 x 24 km donde se localizan aleatoriamente las localidades de muestreo (1924 celdas), conformadas por conglomerados de parcelas circulares de 15 m de radio (ver protocolo en IDEAM, 2017b). La metodología propone a su vez establecer 50 parcelas permanentes de 1 ha (un 3% de la muestra). El IFN integra en cada conglomerado un análisis de la biodiversidad y la acumulación de biomasa/carbono en vegetación y suelos a partir de un muestreo de composición florística, riqueza y abundancia de plantas (datos dasométricos  $DAP \geq 2.5$  cm, altura, condición sanitaria, tipo y forma de fuste), de atributos edáficos incluyendo carbono en suelo y de detritos de madera. A su vez el IFN cuenta con un manual de control de calidad muy detallado (Barbosa et al. 2014).

Hasta la fecha se ha levantado información en 97 localidades Andinas, incluyendo 7 parcelas permanentes y 17 conglomerados sobre la cota de los 2800 m. Entre los retos planteados para el IFN en los próximos años están la optimización del diseño y los recursos para poder completar la línea base, la generación de publicaciones de los resultados y avances, la integración de los datos capturados en la plataforma móvil con la base de datos del IDEAM y el fortalecer los procesos de capacitación interinstitucional.



### 3.1.4. Agenda de Investigación en la Alta Montaña de Colombia e Identificación de Oportunidades para su Implementación en el Marco de la Normativa Actual

Andrés Avella y Paula Ungar – Instituto Humboldt

El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt fue creado en el espacio entre la ciencia y la política para proveer información y conocimiento que alimente las políticas públicas. Dentro de los objetivos misionales del Instituto están la promoción, coordinación y ejecución de agendas de investigación científica en temas relevantes para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Actualmente la conservación de la biodiversidad del páramo y de la alta montaña en Colombia, enfrenta conflictos socioambientales que requieren procesos de gestión apropiados y agenciados por los actores sociales, que los lleven a hacia un estado que maximiza el bienestar de la población y la seguridad ambiental del territorio.

Con el propósito de identificar los principales temas de investigación para los ecosistemas de alta montaña en Colombia, que permitan generar el conocimiento relevante e incidente en la gestión integral y la sostenibilidad de estos socio-ecosistemas, se realizó la revisión de diez (10) documentos de prioridades de investigación en la alta montaña a escala nacional, regional (América Latina) y mundial. Fueron identificados 14 temas relacionados con el conocimiento de las dimensiones biofísica y sociocultural y 12 temas relacionados con investigación aplicada en las áreas de restauración ecológica, adaptación al cambio climático y gestión del riesgo. Adicionalmente se identificó la necesidad de desarrollar enfoques metodológicos interdisciplinarios y una adecuada gestión del conocimiento.

Dentro de los temas con mayor relevancia se encuentran: 1) Diversidad funcional en escenarios de transformación (degradación, cambio cobertura, restauración) con énfasis en la interacción hidrología - biodiversidad y carbono; 2) Entender los orígenes y los impactos del cambio de uso de la tierra; 3) Prácticas adaptativas y desarrollo de usos alternativos: enfoques participativos, modelamiento de sistemas complejos; 4) Entender el origen y funcionamiento de las instituciones, sobre todo relacionado con la manera en que se toman las decisiones y como éstas afectan al socio-ecosistema; 5) Efectos de regímenes alternativos de manejo, identificando casos de estudio en territorios en donde se tengan modelos de una gestión integral alternativa; 6) Balances y modelos hidrológicos en donde se haga énfasis en el papel de la biodiversidad con un enfoque multiescalar; y 7) Realizar una revisión crítica y detallada de las experiencias de restauración ecológica haciendo énfasis en potencialidades, cuellos de botella y condiciones institucionales habilitantes.

Por otra parte, se revisó el marco normativo actual de los páramos y la alta montaña en Colombia (Resolución 0886 de 2018 y la Ley 1930 de 2018) y se identificaron áreas temáticas que requieren el aporte de la investigación y la generación de conocimiento. Las áreas identificadas están relacionadas con: metodologías para el diálogo de saberes y la construcción colectiva de conocimiento, la línea base e indicadores para el monitoreo, el alto y bajo impacto de las actividades agropecuarias, los insumos para la zonificación de páramos delimitados, la investigación y asistencia técnica, el arraigo y dependencia y la educación y formación. Finalmente, para cada una de estas áreas prioritarias, se



relacionaron los temas de investigación identificados a partir de la revisión de literatura especializada. Este ejercicio aporta reflexiones y orientaciones para la gestión integral de la Alta montaña en Colombia a partir del fortalecimiento del conocimiento y del acompañamiento de los institutos de investigación del SINA.

### 3.1.5. Monitoreo hidrológico en páramo.

#### Nelson Omar Vargas y Martha García Herrán (IDEAM)

Identificada la necesidad de contar con información y conocimiento sobre la hidrología en los ecosistemas de páramo y los servicios ambientales que prestan en relación con sus reconocidas características de regulación, provisión y calidad de agua, el Instituto Humboldt como coordinador del Proyecto Páramo Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte, financiado por la Unión Europea, adelanta el desarrollo de acciones para fortalecer la gestión y el monitoreo del páramo andino. En este contexto y con el concurso del IDEAM, se desarrolló un Protocolo que orienta y da lineamientos estratégicos y programáticos para abordar el monitoreo hidrológico en los páramos de Colombia, particularmente escaso en estos ecosistemas a pesar su importancia. Con la aplicación del protocolo se espera incrementar el monitoreo, la generación de información y conocimiento sobre los procesos hidrológicos en los páramos, sobre la regulación hídrica, la cantidad y la calidad del agua que proveen estos ecosistemas y las afectaciones de estos servicios debido al uso del suelo y sus formas de manejo. Para este propósito se identifican variables a monitorear que permiten evaluar y hacer seguimiento de la dinámica espacial y temporal y su cuantificación teniendo como base los flujos y procesos característicos del comportamiento del agua en sus componentes atmosférico, superficial y subterráneo.

El Protocolo se desarrolla en el marco de las líneas estratégicas del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, basado en protocolos y estándares nacionales e internacionales, orientado en particular a la institucionalidad pública y propone se integre con estrategias y programas de monitoreo existentes (nacional, regional, local). Se espera abordar el monitoreo con diferentes niveles de aproximación, con una estructura que sea funcional e interoperable entre lo nacional, regional y local, articulado a sistemas de información para que los datos estén disponibles para diferentes propósitos. Metodológicamente se plantea la combinación de herramientas y técnicas (sensores remotos, técnicas isotópicas e hidroquímica, bioindicación) modelación y monitoreo convencional (red estaciones) para poder tener cubrimiento de grandes áreas. Finalmente se plantea una hoja de ruta general para avanzar en la implementación de este protocolo, inicialmente con su aplicación en un Complejo de Páramo como proyecto piloto para probar la viabilidad de la propuesta.

## 3.2 Escala Regional de Sitios de Trabajo. Viernes 12 de abril

### 3.2.1. El observatorio socio-ecológico de alta montaña Poleka Kasue y la investigación integrada de clima, vegetación e hidrología en el Parque Nacional Natural Los Nevados. Daniel Ruiz-Carrascal y María E. Gutiérrez (EIA).



Un calentamiento más rápido de la tropósfera alta tropical que el promedio global está teniendo múltiples impactos negativos sobre la integridad ecológica de los ecosistemas Altoandinos de páramo. La meta de nuestro proyecto de investigación multiescalar de largo plazo es profundizar nuestra comprensión del funcionamiento e importancia de estos ambientes y evaluar la mejor combinación de estrategias de adaptación para su conservación. Las actividades se desarrollan en el Parque Natural Los Nevados, un área protegida clave ubicada en el complejo volcánico Ruiz-Tolima, en los Andes Centrales de Colombia. Específicamente, nuestra investigación se desarrolla en las cabeceras de la cuenca de alta montaña del Río Claro, en el flanco oeste del macizo volcánico. Nuestro sistema socio-ecológico de monitoreo de montaña integra siete componentes de análisis: (i) cambios de largo plazo en dinámicas clave de circulación atmosférica (p. ej. procesos convectivos); (ii) diagnóstico del balance hídrico y cambios potenciales en los regímenes hidrológicos; (iii) evaluación de los niveles de biodiversidad y su vulnerabilidad; (iv) el papel de los disturbios antrópicos; (v) secuestro y acumulación de carbono en suelos, turberas y microhabitats acuáticos; (vi) factores socio-económicos (p. ej. evaluación de servicios ecosistémicos, percepciones comunitarias, prácticas de uso de la tierra y visiones de los actores clave); y (vii) cambios de largo plazo en las condiciones climáticas (reconstrucciones del clima en el pasado, análisis del período instrumental y modelización de escenarios futuros). Presentamos aquí una breve descripción de estos diferentes temas de trabajo.

La historia de visitas de campo cada cuatro meses para el monitoreo in situ de variables ambientales y climáticas en el sitio de trabajo comprende casi doce años. La investigación se soporta en el análisis de datos primarios colectados en dos estaciones climáticas, más de 8.000 fotografías georeferenciadas, parámetros biológicos de cerca de 100 parcelas experimentales de vegetación y 28 dataloggers (U23-001 HOBO) de temperatura y humedad relativa. Estos loggers fueron instalados a lo largo de un gradiente de elevación de ~4,000 m, siguiendo el curso principal del Río Claro, y está aportando evidencias de la inusual dinámica de calentamiento de la troposfera alta. Nuestra iniciativa, el Observatorio de Montaña Poleka Kasue, es parte de los proyectos piloto regionales de la Iniciativa de la Red Global de Observatorios de Montaña (GNOMO) desde el 2015. Hasta la fecha, un balance global arroja 11 proyectos de investigación, 5 en proceso de ser enviados, 6 artículos de investigación publicados, 6 capítulos en libros, 32 presentaciones en eventos científicos, 1 tesis doctoral en proceso y 2 tesis defendidas, 1 tesis de Maestría defendida y 10 tesis de pregrado aprobadas. Entre los productos de difusión se incluye un catálogo virtual de flora de alta montaña (<https://catalogofloraaltamontana.eia.edu.co/>) y un libro titulado: "Bosques Andinos: flora de la media y alta montaña en la Cuenca del Río Claro, Caldas", ISBN 978-958-56679-6-9. Nuestro más reciente post en los medios 'This unique Andean ecosystem is warming almost as fast as the Arctic', está disponible en el Blog del Earth Institute – Columbia University: <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/11/15/paramos-ecosystem-climate-change/>.

Actualmente estamos trabajando en dos proyectos de investigación. En el primero, estamos realizando paleo-reconstrucciones de la variabilidad de la temperatura y humedad en la cuenca alta del Río Claro. Se están estudiando dos escalas temporales diferentes: variabilidad a largo- plazo/escala gruesa y a corto-plazo/escala fina. Estamos infiriendo variaciones en la elevación del nivel de congelamiento mapeando geofomas que pudieran albergar registros del momento y magnitud de los avances glaciares de los últimos 30 mil años. Además, estamos combinando paleo-reconstrucciones recientemente disponibles de SSTs del pacífico oriental tropical y cambios en el nivel del mar, con



datos del presente del SST del Indo-Pacífico y el océano Atlántico tropical, así como re-análisis, “*high-skill GCM*” y datos *in situ* de temperatura del aire. Para evaluar la variabilidad climática de corto plazo (+1-3 siglos), estamos estudiando la necromasa en pie de la roseta endémica *Espeletia hartwegiana*. Hojas muertas de tallos de diferente altura están siendo colectadas y clasificadas para obtener cronosecuencias. La densidad estomática en estas hojas será cuantificada en cohortes sucesivas de hojas secas de *Espeletia* y correlacionada con las condiciones climáticas observadas, para explorar posibles interrelaciones.

En el Segundo proyecto, estamos estudiando la ecología de comunidades de páramo en 40 parcelas experimentales, incluyendo rasgos funcionales (relacionados con procesos hidrológicos) de las especies de plantas dominantes, y la respuesta de la vegetación del páramo a las condiciones climáticas. Varias variables climáticas (temperatura, humedad, radiación solar incidente, etc.), edáficas (infiltración, humedad, propiedades hidrofísicas) y de la vegetación (intercepción) están siendo medidas en cinco de estas parcelas (una en cada comunidad vegetal). En el futuro inmediato queremos expandir nuestra red instrumental con dataloggers adicionales de T/HR, diez cámaras de calentamiento experimental (“*open top chambers*”), por lo menos tres estaciones de monitoreo hidrológico y sensores de profundidad de la columna de agua, que serían colocados en los lagos glaciares, así como instrumentación para medir precipitación sólida. También nos proponemos lanzar varios globos meteorológicos para hacer seguimiento a múltiples variables en la atmósfera libre. En el mediano plazo, soñamos con abrir un observatorio y centro de visitantes en el área de estudio, para ofrecer alojamiento a investigadores nacionales e internacionales, estudiantes de pre y postgrado, guías de montaña y periodistas ambientales. También planeamos que este centro funcione como una plataforma para la educación ambiental del público sobre el valor y la importancia de los páramos.

### 3.2.2. Monitoreo glaciar y la red de estaciones meteorológicas de alta montaña.

#### Jorge Luis Ceballos (IDEAM)

El sistema de observación y análisis de información de la dinámica de los actuales glaciares colombianos comenzó en firme desde 2006 mediante la aplicación de metodologías directas e indirectas reconocidas en el ámbito mundial. Indirectamente se calcula periódicamente (cada 3 a 5 años en lo posible), el área glaciar nacional mediante el uso de imágenes satelitales o fotografías aéreas digitales. Debido a lo reducido del área glaciar y su rápido cambio negativo en el tiempo, ha sido necesario recurrir a productos satelitales de alta resolución espacial y temporal para proveer a tiempo y con calidad la información. Sin embargo, dadas las características climáticas del país, se ha dificultado este cálculo por la nubosidad o por los costos de adquisición. Recientemente la Fuerza Aérea Colombiana -FAC- ha puesto a disposición a las instituciones gubernamentales del área ambiental, equipos aerofotogramétricos de alta tecnología que reducen considerablemente los costos y se facilita el cálculo de área por su alta resolución espacial (0.5m.). Se aplicó esta tecnología en 2017 para la Sierra Nevada de Santa Marta con excelentes resultados. Se espera entonces poder recurrir a esta técnica de igual forma para los demás glaciares o continuar con imágenes de satélite tipo, Spot, RapidEye, Sentinel (no conveniente por la resolución espacial) o PlanetScope. La evolución del área glaciar en Colombia, que hace parte de la batería de indicadores ambientales del IDEAM, está disponible en cartografía digital y abarca desde la cobertura existente a mediados del siglo XIX



(Fin de la Pequeña Edad de Hielo) hasta 2016/17. De 3 a 5% de área se reducen los glaciares en el país por año.

Para el monitoreo directo se tienen tres niveles de medición: 1) Retroceso del frente inferior glaciar: ha sido una herencia de los primeros investigadores en glaciares en la década de los años 1980 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y consiste en medir el retroceso longitudinal del borde del hielo mediante levantamientos topográficos o identificación de puntos en terreno. Los glaciares colombianos retroceden entre 15 a 20 metros longitudinales por año. 2) Balance de masa glaciológico: es el monitoreo directo más usado en el mundo y representa el “estado de salud de un glaciar”; consiste en calcular periódicamente las pérdidas o ganancias de masa de un glaciar. El método directo radica en instalar estacas o balizas distribuidas sobre la superficie del glaciar y medir periódicamente los cambios de espesor teniendo en cuenta las densidades del hielo y la nieve. Para Colombia se han calculado por primera vez estos balances de masa mensualmente desde 2006 para el Nevado Santa Isabel, sector Conejeras y para la Sierra Nevada de El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco, de forma bimestral, desde 2008. Los resultados han puesto de manifiesto el desequilibrio de la dinámica glaciar respecto a las condiciones actuales del clima local, regional y global. Los resultados de los balances de masa han permitido que Colombia sea incluida desde 2009 en la red internacional *World Glacier Monitoring Service* entidad Suiza que recopila y divulga estos datos de alrededor de 250 glaciares en el mundo. 3) El Balance de energía: es quizás el nivel más complejo debido a que se necesita por lo menos una estación meteorológica sobre el glaciar que capture datos de radiación solar (incidente y reflejada), temperatura, precipitación sólida, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Mantener una estación perfectamente estable sobre el glaciar ha sido un reto, así como su buen funcionamiento, debido a las condiciones propias de esas altitudes. El cálculo del balance energético permite conocer las variables que rigen y controlan el derretimiento glaciar, que una vez más se ha comprobado se resumen en el albedo.

Complementar el monitoreo glaciar con una red de estaciones hidrometeorológicas ha sido también un desafío. La cuenca alta del río Claro (PNN Los Nevados) y la cuenca alta del río Cardenillo (PNN El Cocuy) han sido objeto de una instrumentación distribuida altitudinalmente (cada  $\pm 200\text{m}$ ). A su vez, se han instalado estaciones para comparar la dinámica hídrica en diferentes ecosistemas (estaciones hidrométricas en drenajes del glaciar, en el páramo sin glaciar y en el bosque sin páramo). Una década de datos de 15 estaciones hidrometeorológicas en estos dos sitios indican ligeros aumentos en la temperatura y la comprobación de la importancia del páramo en regular el agua superficial, pero también la importancia de la mayor cantidad de provisión del agua en el bosque altoandino.

La relativa falta de monitoreo en alta montaña ha sido así mismo una oportunidad para innovar. Esto ha llevado al muestreo de agua para análisis isotópicos, parcelas de fitocolonización en áreas recientemente abandonadas por el hielo, cámaras tipo *timelapse* para seguimiento glaciar y uso de drones para exploración y fotogrametría a baja altitud.



### 3.2.3. Monitoreo de la biomasa y el carbono en páramos y bosques altoandinos

**Juan Carlos Benavides, Edgar Blanco, Violeta Martínez – (Pontificia Universidad Javeriana, IDEAM)**

El Programa de Monitoreo del Ciclo del Carbono en Ecosistemas de Alta Montaña es un esfuerzo conjunto del Grupo de Bosques de la Subdirección de Ecosistemas del IDEAM, el Laboratorio de Estudios en Alta Montaña Tropical de la Pontificia Universidad Javeriana y la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), con el apoyo Parques Nacionales Naturales. Un antecedente clave para la consolidación de esta iniciativa de monitoreo fue el Proyecto INAP, que partió de la necesidad de identificar los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en la alta montaña. El protocolo de monitoreo, formulado desde el 2006, es un instrumento metodológico que describe las actividades necesarias para el monitoreo y seguimiento al ciclo del Carbono en Ecosistemas de Alta Montaña, e incluye la caracterización, recolección, monitoreo, modelación y análisis de las variables biofísicas y socioeconómicas que determinan su funcionamiento permitiendo identificar la vulnerabilidad de los mismos ante los efectos del cambio climático. El programa tiene como sitios piloto de trabajo los P.N.N. Chingaza y Los Nevados. En Chingaza se cuenta con cinco transectos permanentes entre los 3152 m y los 3600 m de elevación, dos en bosques y tres en páramos; mientras que en Los Nevados, son siete transectos entre los 3152 m y los 4382 m, con dos en bosques, cuatro en páramos y uno en la zona periglacial. En ambas localidades se cuenta con transectos en áreas intervenidas y no intervenidas. Los transectos de 100 m de longitud, incluyen parcelas permanentes de 20x25 m y subparcelas de 5x5 m (ej. para la estimación de la productividad vegetal a través de cosechas secuenciales).

Para la vegetación, se hace seguimiento de la producción de hojarasca, necromasa, la tasa de descomposición, la biomasa aérea, cobertura y productividad. En el caso del suelo se realizan análisis de textura, densidad aparente, el contenido de carbono y el flujo de carbono. La biomasa se estima a partir de un inventario florístico y mediciones de talla de las plantas, utilizando relaciones alométricas. A su vez, se realizan mediciones de producción de metano en humedales altoandinos. A su vez, partiendo de esta experiencia acumulada, el Laboratorio de Estudios de Alta Montaña Tropical de la Universidad Javeriana, ha venido realizando análisis del Intercambio Neto de Carbono y de sus compartimientos y flujos, en bosques y páramos, incluyendo también áreas de humedales altoandinos en Nevados, Chingaza y Cocuy, así como seguimiento del nivel de agua en lagunas. Estos estudios han permitido por ejemplo, demostrar la gran importancia que tienen los suelos en la acumulación de C en los páramos y bosques altoandinos, y el efecto marcado que tienen los cambios en la temperatura en su dinámica. A su vez, este trabajo ha servido de base para el desarrollo de proyectos de restauración (p. ej. en la Laguna de Calostros), para la toma de decisión en torno a la construcción de nuevos embalses y en la generación de espacios de diálogo entre las comunidades campesinas y las autoridades de los páramos (p. ej. en Cocuy).



### 3.2.4. Protocolo de Monitoreo en el Complejo de páramo Los Nevados – Proyecto Páramos Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte. Unión Europea Mónica Trujillo Instituto Humboldt

El Proyecto Páramos tiene como objetivo fortalecer la capacidad de las comunidades e instituciones involucradas en la gestión de los páramos para aportar a la conservación de la biodiversidad y el recurso hídrico. Este proyecto se está ejecutando desde 2015 en los nodos de páramo de Colombia, Ecuador y Perú: Santurbán, Rabanal, Los Nevados, Las Hermosas, el corredor transfronterizo Ángel – Chiles – Quitasol (Colombia – Ecuador), Chimborazo (Ecuador) y Piura (Perú). El coordinador general del Proyecto es el Instituto Humboldt y en cada páramo, se opera a través de las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) y actores locales y regionales públicos y privados en espacios de coordinación interinstitucional.

En el páramo Los Nevados, de acuerdo a los actores del Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) del Eje Cafetero y con el liderazgo de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), se han venido ejecutando los siguientes procesos, entre otros, que hacen parte de un Protocolo de Monitoreo:

- Restauración ecológica del páramo en el PNN Nevados – 257 ha en Pereira (Municipio de Pereira).
- Esquema de Pago por Servicios Ambientales con 6 familias que han avanzado acuerdos de conservación en aproximadamente 1000 ha con Municipio de Pereira en PNN Los Nevados – Vereda el Bosque.
- Reconversión productiva de ganadería de alta montaña: 82 ha en Santa Rosa de Cabal y 27 ha en Murillo.
- Plan Ordenamiento turismo Salento: Acuerdo para reglamentación Alcaldía Salento – gobernanza y manejo de conflictos: PNN Los Nevados y DMI Río Quindío.
- Evaluación de efectividad del manejo de 5 RNSC e incentivos para implementar Plan de Manejo (1857 ha en Caldas, Quindío y Tolima)

El protocolo de Monitoreo del Páramo Los Nevados pretende ser una herramienta que evalúe la efectividad de las acciones implementadas en campo. De este modo el monitoreo se plantea como una herramienta que pueda ser utilizada por cualquier autoridad ambiental (CRQ, Corpocaldas, Cortolima y/o PNN) que implemente las acciones de reconversión, restauración, ordenamiento turístico y PSA en páramo. El modelo conceptual fue construido por WCS (miembro del SIRAP Eje Cafetero) a partir de estándares abiertos para la práctica de la conservación (CMP, 2013) y el análisis de cadena de resultados. Para estructurarlo se realizó un análisis de amenazas a la conservación, se priorizaron lugares con las autoridades ambientales y las organizaciones locales y se plantearon las estrategias para actuar frente a estas. Se visitaron los procesos en campo, trabajando con las entidades que adelantan los procesos. Se analizó el efecto de la amenaza y el resultado esperado. Con estos insumos, se construyó este protocolo a partir de una batería de criterios e indicadores. Adicionalmente, Carder ha adelantado alianzas con la Universidad de Santa Rosa de Cabal para acompañar la toma de datos a través de grupos de investigación empezando, en una primera fase, con el proceso de restauración ecológica. Este protocolo, tiene el propósito de ser el primer insumo



del Plan de monitoreo del Páramo Los Nevados, en el marco del Plan de manejo planteado por la Ley 1930 de 2018.

### 3.2.5. Conflictos ambientales en la alta montaña: elementos para su análisis y monitoreo Paula Ungar, Omar Ruiz-Nieto y Diana Morales – Instituto Humboldt

Un conflicto ambiental es una situación en la que al menos dos grupos sociales, inmersos en relaciones de poder, se enfrentan por el acceso, uso y apropiación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, ya sea en el presente, o en torno a escenarios deseados divergentes (Gudynas, 2007; Merlinsky, 2013; Peña Reyes, 2008; Rodríguez, 2006). La intensidad e intratabilidad de los conflictos ambientales puede variar en función de los desequilibrios de poder y de la inequidad en el acceso al conocimiento (Martínez-Alier, 2009). Este enfrentamiento involucra generalmente diferentes escalas y es imposible entenderlo sin considerar su trayectoria histórica.

Pese a tener intrínseco un enfrentamiento entre distintas posiciones, los conflictos también son posibilidades para la transición hacia la sostenibilidad, dado que promueven la redistribución del poder y la inclusión de sistemas de valores previamente excluidos de la toma de decisiones, por ejemplo los valores que diferentes grupos sociales asignan a la naturaleza. Es por esto que en la literatura se tiende a hablar de la transformación de los conflictos, en la medida en que, más que terminarlos se considera que deben transitar hacia procesos de cambio constructivo (Lederach, 2003; Quintero & Hernández, 2015; Rodríguez, Sarti, & Aguilar, 2015).

En Colombia los conflictos ambientales han venido multiplicándose en los últimos años. El país ocupa el segundo lugar en América Latina de acuerdo con EJOLT (Ejolt. Countries | EJAtlas, S.f). En este contexto, para los tomadores de decisiones es crucial contar con herramientas que les permitan incidir en la transformación de los conflictos ambientales hacia situaciones de mayor sostenibilidad, equidad y bienestar. La creación reciente de los Centros Regionales de Diálogo Ambiental (MADS, Res.2035 de 2018) da indicios sobre la prioridad que el actual gobierno otorga a esta necesidad de transformación.

¿Qué herramientas pueden ser útiles para incidir en la transformación de los conflictos ambientales? Un primer paso es la identificación de variables que configuran el conflicto, algunas de las cuales podrían ser: intereses involucrados (p. ej.: extractivos versus conservación), recurso en disputa (p. ej.: agua, suelos), niveles en la escala de gestión (p. ej.: local versus nacional). Un segundo paso es la construcción de una tipología de conflicto teniendo en cuenta las variables identificadas, en la medida en que cada tipo de conflicto puede requerir de lineamientos, enfoques y herramientas metodológicas particulares.

Las variables identificadas podrían ser objeto de monitoreo para entender la trayectoria de los conflictos y los posibles efectos de la intervención de los tomadores de decisiones. Para el monitoreo de los intereses de los actores, puede ser útil (aunque es importante considerar las limitaciones de esta aproximación), tener en cuenta su manifestación cartográfica. Por ejemplo, los intereses de gobernanza de comunidades locales en conflicto con intereses extractivos del orden global pueden manifestarse cartográficamente al superponer las solicitudes de constitución de zonas de reserva campesina o de creación o ampliación de resguardos y las solicitudes de contratos de concesión



mineros o licencias ambientales. Otras variables clave son aquellas asociadas a la dimensión biofísica de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. La distribución de especies, las tendencias de cambio en la disponibilidad del agua, el cambio de usos del suelo, son variables necesarias para entender la emergencia y evolución de los conflictos ambientales.

Para el caso de Colombia las actividades ilegales son con frecuencia centrales en los conflictos ambientales, por lo que registrar y hacer seguimiento a estos intereses constituye probablemente uno de los desafíos más grandes para el monitoreo de las relaciones entre sociedad y naturaleza en el país. Todo lo anterior evidencia la complejidad y necesidad de avanzar en la construcción de herramientas para la comprensión, análisis y monitoreo de los conflictos ambientales en el país con el fin de aportar a su transformación para fortalecimiento de los procesos de gobernanza y sostenibilidad.

### 3.2.6. PARAGUAS: ¿Cómo almacenan agua los páramos? El papel de las plantas y las personas.

**Martin Baruffol, Mauricio Diazgranados, Juan Camilo Afanador, Christopher Barry, Andrew Bradley, Wouter Buytaert, Erick Castro, Susan Conlon, Maria Paula Escobar, Adriana Espinosa-Ramirez, Tania Ganitsky, Charles George, David Large, Antonia Ligouri, Dominic Moran, Boris Ochoa-Tocachi, Jeffrey Prieto, Susana Rodriguez-Buritica, Ed Rowe, Kararzyna Sawicka, Conrado Tobón, Mike Wilson, France Gerard.**

Los páramos son cruciales para el sustento y bienestar de millones de personas en Colombia y en países vecinos del norte de los Andes (Venezuela, Ecuador y Perú), en la medida que estos ecosistemas son la principal fuente de agua en estas regiones y además albergan una fuente única de diversidad genética poco explorada. Sin embargo, gran parte de ellos son actualmente utilizados para cultivos, ganadería y minería. En Colombia, la presión combinada del uso de la tierra y el cambio climático ha conllevado a la degradación de muchas áreas de páramo y su potencial desaparición es motivo de preocupación para comunidades locales, tomadores de decisiones regionales y nacionales y académicos.

Los diferentes actores coinciden en que cualquier explotación futura requiere un enfoque sostenible y que la gestión de estos ecosistemas debería mejorar la capacidad de resiliencia de páramo al cambio en el uso de la tierra y al cambio climático. Sin embargo, todavía hay grandes vacíos con respecto a la comprensión del funcionamiento de los páramos; sin este conocimiento, hay riesgo de que las intervenciones potenciales con fines de sostenibilidad y resiliencia no sean efectivas o incluso puedan ser perjudiciales.

Los páramos se describen como esponjas que capturan y almacenan el agua de la atmósfera. Sin embargo, pocos estudios cuantitativos han investigado los mecanismos detrás de este proceso, en particular del papel relativo de la vegetación y del suelo en estos ecosistemas. Los páramos son además sistemas socio-ecológicos, moldeados por las poblaciones humanas que los han habitado durante varios siglos y que dependen primordialmente de estos ecosistemas para su sustento.

Nuestro grupo de investigación es independiente de todos los actores involucrados en el manejo de los páramos; es internacional puesto que reúne académicos del Reino Unido y de Colombia y es interdisciplinario al estar conformado por científicos físicos, científicos sociales y expertos en artes



dramáticas. El estudio se focaliza en el complejo de Páramos Guantiva - La Rusia (1,190 km<sup>2</sup>) y busca establecer cómo la diversidad de hábitats y de la vegetación dentro de los páramos contribuye a la regulación hidrológica a través del almacenamiento directo en la biomasa, necromasa y materia orgánica del suelo; y cómo este almacenamiento puede ser dependiente de la extensión y las condiciones de las unidades de respuestas hidrológicas (URHs) dominantes.

El proyecto realizará una comparación de la respuesta hidrológica en seis pares de cuencas en estado de conservación contrastante (conservada vs intervenida) con respecto a su respuesta hidrológica. Analizaremos las diferencias en composición y proporción de grupos funcionales de comunidades de la vegetación y de las características fisicoquímicas del suelo entre de las diferentes URHs. Los datos particulares de las URHS se escalarán al nivel cuenca a partir del mapeo y estimación de biomasa mediante imágenes derivadas de vuelos con drones.

Además, realizaremos un análisis de imágenes satelitales para mapear las coberturas de la tierra con énfasis en las turberas y la capacidad de sus suelos para expandirse o contraerse dependiendo de la cantidad de agua a escala del paisaje. Esta aproximación adicional permitirá mejorar los modelos derivados del análisis de cuencas pareadas, para que representen mejor la hidrología del ecosistema.

Para entender el papel de los habitantes del páramo se caracterizará igualmente a la comunidad de actores y los usos del suelo en cada una de las cuencas seleccionadas y buscaremos entender las interacciones de agricultores, campesinos y ganaderos con el ecosistema de páramo a través de sus prácticas agrícolas y su propio conocimiento del páramo y su funcionamiento, así como sus propias formas de entender y asumir la protección y conservación del páramo para su beneficio pero también para el de los usuarios del recurso aguas abajo.

Todos estos conocimientos y perspectivas de los diversos actores, junto a los investigadores del proyecto, otros técnicos y gestores, se pondrán en diálogo a través de procesos de desarrollo de narraciones –storytelling– en formato de video, para descubrir conjuntamente cómo entiende cada actor los efectos de sus actividades, cómo el páramo afecta sus modos de vida y cómo es su relación con la regulación del agua desde los páramos. El objetivo es generar diálogos de saberes y de experiencias de vida entre los actores y así promover la comprensión de los diversos puntos de vista, a veces en conflicto, de las comunidades, los técnicos y los gestores involucrados en la conservación el páramo. La aproximación a la conservación acude con frecuencia al mecanismo del pago por servicios ecosistémicos pero omite, también con frecuencia, un análisis de los costos culturales. Para refinar la elaboración de estrategias alternativas de manejo, se realizará adicionalmente una valoración económica del recurso y de los conocimientos y prácticas tradicionales que pueden o no protegerlo, a partir de la información colectada, para generar insumos para la elaboración de estrategias alternativas de manejo.

Igualmente, es nuestra intención involucrar tales conocimientos y saberes en la generación de elementos para la toma de decisiones sobre la conservación de estos ecosistemas. En particular, esperamos elaborar estrategias de manejo diferentes a los mecanismos de pagos por servicios ambientales, a través de la valoración económica del agua y otros beneficios asociados al páramo. Esta valoración hará uso de técnicas monetarias y no-monetarias, enmarcando los resultados de los



componentes restantes del proyecto en una narrativa sobre usos alternativos del suelo que sea relevante tanto para la formulación de política pública, como para la planeación del territorio.

A medida que aprendamos más sobre el funcionamiento del recurso hídrico del páramo, desde las diferentes perspectivas (de la vegetación, de los suelos, de la hidrología y de la comunidad), nuestra investigación contribuirá a la búsqueda de soluciones sostenibles e integradoras tanto para el páramo, para sus habitantes y sus beneficiarios.

## 4. Mesas de Trabajo

### 4.1. Mesa de Trabajo 1. Variables esenciales para el monitoreo integrado de los ecosistemas de alta montaña a escala nacional.

Las discusiones en esta mesa se centraron en la definición de las variables esenciales para el monitoreo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a escala nacional, partiendo del reconocimiento de la información que está disponible a esta escala para Colombia. Algunas consideraciones generales que es importante tomar en cuenta para la selección de estas variables incluyen:

- Las variables debe poder ser medibles aplicables a múltiples escalas (puedan ser medidas también a nivel regional/local).
- Deben permitir contar con una visión integradora o global del estado de los ecosistemas (variables o indicadores síntesis).
- Debe ser viable generar series multi-temporales, para poder generar análisis y reportes de tendencias de cambio.
- Es importante considerar su valor para orientar la toma de decisión.
- Es clave que existan acuerdos a nivel internacional y nacional sobre los métodos y protocolos de medición de las variables, lo que permite generar análisis comparativos.

Para facilitar la discusión, las variables fueron divididas en dos grandes grupos, físicas/abióticas y bióticas.

#### 4.2.2. Variables físicas/abióticas

Las variables o aspectos esenciales a monitorear mencionados por los participantes incluyeron:

##### Glaciares

- Área glaciar

##### Atmósfera:

- Precipitación (esencial) / precipitación efectiva (derivable) / precipitación horizontal
- Temperatura (esencial)
- Humedad del aire (esencial) / Punto de rocío, presión de vapor (derivables)
- Brillo solar
- Radiación solar / global, onda corta/ onda larga / UV
- Evaporación / evapotranspiración potencial y tasas de evaporación (derivables)



- Vientos
- Presión atmosférica
- Nubosidad (derivable)

#### Ciclo hidrológico:

- Nivel (esencial)
- Caudal (esencial)
- Interceptación
- Flujos subterráneos
- Escorrentía (derivable)
- Rendimiento hídrico (derivable)
- Calidad de agua (Acueductos)

#### Suelos: (medibles a nivel de sitios y extrapolables a otras escalas)

- Nivel freático
- Contenido de carbono
- Densidad aparente
- Temperatura del suelo
- Contenido de humedad
- Evapotranspiración
- Edafofauna
- Punto de marchites
- Capacidad de campo
- Humedad aprovechable
- Punto de saturación
- Infiltración
- pH
- Contenido de nutrientes (fósforo, nitrógeno, bases cambiables)
- Conductividad eléctrica

#### Calidad de suelos:

- Erosión
- Porosidad
- Compactación
- Salinización

#### **4.1.2. Variables bióticas/diversidad/uso del suelo:**

En el caso de las variables esenciales para el monitoreo de la biodiversidad se ha propuesto dividir las en cinco clases: 1) Composición genética; 2) Poblaciones de especies; 3) Rasgos funcionales; 4) Estructura ecosistémica; 5) Funcionalidad ecosistémica. A esto habría que sumar los cambios a escala



de paisaje en la cobertura de los ecosistemas producto del uso del suelo y el cambio climático. Entre las variables claves a nivel de poblaciones de especies están su distribución espacial y su dinámica, lo que también aplica a las variables de estructura ecosistémica, que incluyen la extensión de ecosistemas y su conectividad.

Entre las variables claves propuestas están:

- Cobertura de ecosistemas

A escala nacional se puede aprovechar el mapa de ecosistemas. Sin embargo, en el caso de la alta montaña, dada la predominancia de coberturas no boscosas (es difícil distinguir diferentes coberturas como humedales, pajonales y distinguirlas de diferentes usos como cultivos, pasturas, etc.) es fundamental contar con análisis más detallados a escala 1:25.000 en cada uno de los complejos de páramo/alta montaña del país. Se cuenta con información a esta escala a partir del proceso de delimitación de los páramos. Sin embargo, existe información para 24 de los 36 complejos y en muchos casos no se incluyó las áreas dentro de Parques Naturales Nacionales (39%). Esto pudiera hacerse como un proceso en dos fases: a) una primera fase de análisis nacional realizando un corte a 2800 m de la información disponible del mapa de ecosistemas y otras fuentes (p. ej. el mapa de ecosistemas de Andrés Etter, mapas de ecosistemas de las Corporaciones Regionales Autónomas, mapas de ecosistemas de los PNN); b) una segunda fase en que se desarrollen mapas más detallados a escala 1:25.000 de los diferentes complejos de alta montaña.

Para ecosistemas específicos como los humedales de alta montaña, se puede utilizar información del Ideam y el IAvH. A su vez, el Joint Research Center (Comisión Europea), viene liderando la construcción de un mapa de cambio en humedales del mundo. Este tipo de análisis de cambios en la extensión de los humedales pueden ser muy relevantes en el caso de la alta montaña.

- Información demográfica y uso de la tierra

Se puede utilizar el Censo Nacional de Población (DANE, 2018) para extraer información sobre población y usos en las zonas de alta montaña del país (densidad poblacional, calidad de vida, actividades productivas, etc). A su vez, existe información muy detallada para analizar el uso de la tierra a partir del Censo Nacional Agropecuario (2015), disponible a escala veredal y de predio. Se ha realizado un primer ejercicio de cruzar esta información con las coberturas de los complejos de páramo (IAvH, Programa de Ciencias Sociales). La ficha está por publicarse en el Reporte de Estado y Tendencias de la Biodiversidad.

- Distribución potencial de especies

Se puede utilizar el enfoque de Biomodelos para realizar análisis de la distribución de especies clave de fauna en las zonas de alta montaña. Existe información bastante completa para aves y para anfibios de alta montaña (unas 140-200 spp.). A partir del análisis de la información disponible de registros en museos y herbarios, etc. se pueden construir mapas de Regiones Bióticas (esta fue una de las bases para el desarrollo del mapa de ecosistemas). También se pueden realizar análisis de biodiversidad beta (recambio de especies) entre complejos y para grupos bien conocidos, análisis de diversidad funcional y filogenética (p. ej. aves, plantas, ver ejercicios del Fondo de Adaptación), y análisis de



vacíos de información. Para el estudio de la diversidad funcional, endemismos y especies amenazadas se puede aprovechar la base de datos construida a partir del Proyecto del Fondo de Adaptación para páramos y estudios como los de Marian Cabrera en los páramos del macizo Colombiano. Este tipo de análisis pudiera permitir generar para la alta montaña:

- Mapas de vacíos de información de especies
- Mapas de endemismos
- Mapas de especies amenazadas

La consolidación del programa de monitoreo de afecciones fitosanitarias en frailejones (Universidad Javeriana, Jardín Botánico de Bogotá) también pudiera permitir realizar mapas de distribución nacional de frailejones y de distribución de la afectación. En este caso existe mucho potencial para el uso de estrategias de ciencia ciudadana (aprovechando ejemplos como el de monitoreo de aves). Otras variables en las que pudiera desarrollarse este tipo de enfoques es en el monitoreo fenológico y generación de bancos de semillas para especies de plantas de alta montaña. También es clave el trabajo para el monitoreo de especies invasoras (p ej. retamo espinoso, trucha).

- Carbono en biomasa y suelos

Es posible realizar estimaciones de biomasa para los ecosistemas de alta montaña a partir de diferentes fuentes, incluyendo las parcelas del Inventario Forestal Nacional, parcelas permanentes (p. ej. Red de Bosques Andinos), estudios de biomasa y carbono a lo largo de gradientes de elevación (p. ej. estudios del Ideam y Universidad Javeriana en Los Nevados y Chingaza). Aquí es clave el desarrollo de métodos estándar alométricos para la estimación de biomasa de la vegetación herbácea.

A su vez, es importante considerar las estimaciones disponibles de carbono en suelos. Temas claves en este sentido incluyen la definición de la profundidad del suelo para las estimaciones y la medición correcta de la densidad aparente del suelo (ver protocolos de Rueda et al., 2015; IDEAM-IGAC, 2018). Sin embargo, es necesario realizar ejercicios de extrapolación de la información del nivel local/regional a escala nacional, para lo cual, sería necesario llenar vacíos de información para muchos complejos de alta montaña del país. El proyecto Bosques y Páramos (Chemonics) tiene planteado realizar ejercicios de estimación nacional para la alta montaña.

- Estimaciones de productividad primaria

El uso de información disponible de sensores remotos, incluyendo series multi-temporales, puede permitir construir mapas nacionales de productividad vegetal a partir de índices como el NDVI (o verdor, clorofila, etc). El análisis de series temporales también puede permitir una aproximación al estudio de la fenología en ecosistemas de alta montaña.

- Análisis de calidad de agua

Aquí se puede trabajar integrando indicadores bióticos (macroinvertebrados de agua dulce) con indicadores físico-químicos (conductividad, oxígeno disuelto, etc.). Este tipo de análisis están disponibles para algunas cuencas de alta montaña a partir de información generada por las empresas de agua potable y las CAR.



- Efectos del cambio climático

Se pueden generar mapas de cambio en la cobertura de ecosistemas a partir de modelos de la distribución actual y en escenarios de cambio climático. Este mismo tipo de ejercicios se pueden realizar para especies (ver ejemplos para los Andes Tropicales en Cuesta et al. 2012, Tovar et al. 2013). También es interesante realizar ejercicios de predicción de tendencias futuras de deforestación a partir de los motores conocidos de cambio (p. ej. ejercicios del IAvH). Este tipo de análisis son aplicables al caso de los Bosques Altoandinos.

Por otro lado, el uso de los datos colectados en parcelas permanentes (Gloria-Andes, Bosques) nos puede permitir realizar análisis de termofilización de la flora (ej. Duque et al. 2015).

- Mapas de actores y sitios de monitoreo.

A partir de la información disponible se puede generar un portal de información con estos mapas de actores, sitios clave de monitoreo de largo plazo, protocolos de monitoreo disponibles, etc. Un ejemplo de este enfoque es el que se está generando en el IAvH para ecosistemas estratégicos (páramos, humedales) con la iniciativa BIO-TABLEROS (que incluye variables a nivel de paisajes, ecosistemas y especies).

#### 4.2. Mesa de Trabajo 2. Consolidación de la plataforma nacional de información

La discusión en esta mesa de trabajo partió de la necesidad de definir un marco lógico general y un modelo de gestión de la información para la consolidación de una plataforma nacional de información para los ecosistemas de alta montaña de Colombia. Partiendo del modelo conceptual propuesto para la EMA (ver Ideam et al. 2018), se puede establecer el marco lógico y una hoja de ruta para la generación y procesamiento de la información. A su vez el documento de la estrategia propone los objetivos y una serie de preguntas orientadoras a escala nacional, que pueden servir de base para el diseño del marco lógico.

Un aspecto clave en este contexto es realizar un estudio / análisis de costos, viabilidad institucional y financiera, con el fin de identificar diferentes escenarios de gestión (p. ej. evaluar el modelo de generar un Observatorio Nacional de Ecosistemas de Alta Montaña). Esto ayudaría a definir con una base más sólida, las responsabilidades y nivel de participación de los institutos de investigación, el MADS y otras instituciones del SINA, y el marco jurídico rector del proceso de consolidación de la plataforma. Aquí es importante considerar que la Ley de Páramos (1930) plantea claramente la necesidad del monitoreo de los ecosistemas de alta montaña y la necesidad de coordinación interinstitucional de los esfuerzos en este sentido.

Otro aspecto clave discutido es establecer el posicionamiento de la plataforma en el contexto del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), para evaluar la viabilidad de alojarla directamente en el SIAC y evitar la duplicación de esfuerzos.

La definición de la hoja de ruta puede comprender dos pasos fundamentales:

- Desarrollo de un portal de información de actores, sitios de trabajo y protocolos de monitoreo a nivel nacional.



Para este primer paso, se puede aprovechar la información generada durante el desarrollo de la propuesta de la EMA (ver Ideam et al. 2018) sobre sitios de trabajo, iniciativas de monitoreo existentes (catálogo disponible) y protocolos de monitoreo (repositorio digital de documentos disponible). A su vez, es importante realizar un análisis más detallado de actores, incluyendo no solo aquellos involucrados en el monitoreo, sino también los usuarios potenciales de la información.

- Sistema de información de ecosistemas de alta montaña en Colombia.

Este segundo paso se constituye en un esfuerzo más ambicioso, ya que requiere establecer el modelo de gestión de la información, definiendo las fuentes disponibles, las estrategias de modelamiento y procesamiento de información para el cálculo de variables e indicadores, y las estrategias de reporte (incluyendo la producción de reportes de estado y tendencias). Entre los ecosistemas claves a incluir en estos reportes de estado y tendencias estarían los glaciares, páramos, humedales y bosques altoandinos. La generación de estos reportes pudiera hacerse a través del modelo de Mesas Permanentes que permitan articular a varias instituciones del SINA.

En cuanto a los usuarios de la información para la toma de decisión, se planteó entre los fundamentales al MADS y sus dependencias, otros ministerios, actores públicos y privados de diferentes sectores económicos (agropecuario, minero, hidroeléctrico, empresas de agua potable, etc.), Parques Nacionales Naturales, la Academia, el DANE y DNP, así como las ONGs y organizaciones de base vinculadas al manejo de estos ecosistemas.

#### 4.3. Mesa de Trabajo 3. Paquete mínimo de monitoreo a escala regional / sitio

Los participantes en esta mesa de trabajo coincidieron en que el paquete mínimo de variables objeto de monitoreo a escala regional / de sitios de trabajo, debería contemplar algunas de las mismas variables identificadas para la escala nacional, realizando los ajustes pertinentes (ej. la diversidad alfa a nivel de parcela puede a su vez permitir estimar la diversidad beta y gamma a nivel de paisajes y regiones). Muchas de las variables medidas a escala de los sitios de trabajo pueden escalarse a nivel nacional a través de un ejercicio de integración de la información, evaluando dos aspectos claves: a) la representatividad de los sitios para los que se cuenta con información detallada sobre biodiversidad, estructura y procesos ecosistémicos (identificando vacíos de información); b) las implicaciones de la heterogeneidad ambiental en los paisajes de alta montaña para el diseño de los muestreos, la definición de parcelas réplicas y la extrapolación de la información (aquí es clave el uso de esquemas geoestadístico y de modelos).

Los principales componentes identificados para el diseño del paquete mínimo de monitoreo a escala de sitios serían:

##### Variables bióticas (parcelas permanentes):

- Biomasa/necromasa aérea y subterránea
- Composición y abundancia de especies de plantas
- Fauna del suelo
- Fauna-vertebrados (bioacústica y cámaras trampa, arreglos en transectas en el paisaje)



### Glaciares:

- Balance de masa glaciar
- Frente glaciar
- Medición del manto de nieve sobre el glaciar

### Atmósfera (estaciones meteorológicas):

- Precipitación / precipitación efectiva (derivable)
- Temperatura del aire
- Humedad del aire / Punto de rocío, presión de vapor (derivables)
- Brillo solar
- Radiación solar / global, onda corta/ onda larga / UV
- Evaporación / evapotranspiración / tasas de evaporación (derivables)
- Vientos (velocidad y dirección)
- Presión atmosférica
- Nubosidad (derivable)

### Ciclo hidrológico (estaciones de monitoreo hidrológico, parcelas permanentes):

- Nivel
- Caudal
- Interceptación (paquete complementario)
- Calidad de agua (conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto, temperatura, pH)
- Paquete complementario: flujos subterráneos, ecorrentía, rendimiento hídrico (derivable), bio-indicadores de calidad de agua

### Suelos (parcelas permanentes):

- Nivel freático (dependiendo de variabilidad temporal)
- Contenido de carbono en suelo
- Densidad del suelo
- pH, conductividad eléctrica
- Temperatura del suelo a diferentes profundidades
- Contenido de humedad a diferentes profundidades (así como mediciones menos periódicas de punto de marchites permanente, capacidad de campo, punto de saturación).
- Paquete complementario: Evapotranspiración, infiltración, contenido de nutrientes (fósforo, bases cambiables), edafofauna, procesos geomorfológicos.

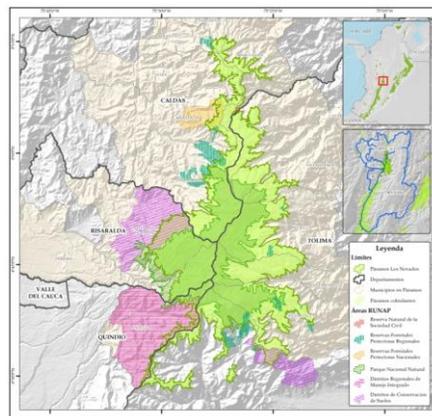
## **4.4. Mesa de Trabajo 4. Monitoreo a escala regional en el contexto de la gobernanza ambiental**

La discusión se enfocó en la consolidación de un primer sitio de monitoreo integral en el complejo de Los Nevados de la Cordillera Central (ver mapa). En particular, se identificó el área de las Cuencas del Río Claro y Río Otún, como un sitio interesante, dada la concentración de múltiples iniciativas de monitoreo desarrolladas por el IDEAM, IAvH, Observatorio de Montaña Poleka Kasue, la Universidad

Javeriana, entre otros actores. Esto ofrece la oportunidad de integrar efectivamente las diferentes plataformas de monitoreo activas en esta región (p. ej. monitoreo glaciar-hidroológico, ecohidrología, diversidad de especies y funcional de la vegetación en parcelas permanentes, monitoreo de biomasa vegetal y carbono, análisis de cobertura y uso de la tierra, etc.).

Entre los actores clave identificados para el sitio están: las autoridades del PNN Los Nevados, Carder, Corporacaldas, Cortolima, SIRAP Eje Cafetero, Municipios asociados, Acueductos (principales y veredales o comunitarios), Gobernaciones de Risaralda y Caldas, Universidad de Santa Rosa de Cabal, UTP, EIA, UNAL (Sede Medellín y Manizales), Universidad de Los Andes, Universidad del Quindío, Universidad de Caldas, Universidad del Tolima, PUJ, Gremios (Fedecafe, Cenicafe, Fedegan), CIAT, RAPE's, Distritos de manejo integrado de conservación de suelos y las zonas de reserva campesina.

Se planteó que en la consolidación de este sitio de trabajo los institutos de investigación están llamados a orientar, asesorar, apoyar y dar lineamientos para los procesos de integración de las estrategias de monitoreo (incluyendo la generación de reportes integrados de estado y tendencias a nivel de sitios). A su vez, pueden contribuir en la transferencia de conocimiento, fortalecimiento de capacidades, socialización y difusión de la información.



**Figura 1.** Complejo de Páramos de Los Nevados, incluyendo los límites de las RUNAP presentes en el área. Fuente: IAVH, Proyecto Páramo (Unión Europea)

En cuanto a los conflictos ambientales importantes en la zona se identificó:

- La ocupación por ganado en áreas de páramo para producción extensiva.
- Focos de Incendios cobertura vegetal como practica preparatoria para producción agropecuarias (ganado lechero, papa).
- Turismo no sostenible. No hay medición de capacidad de carga. Exceso de intervención y apertura de senderos para Moto cross y Trekking.
- Proyecto de Geotermia y proyectos de líneas de transmisión o viales.

En cuanto a los modelos de gobernanza que pudieran ser claves, se planteó la necesidad de consolidar alianzas de las instituciones de investigación activas en la zona para el monitoreo (Universidades, Institutos de Investigación, CAR, Proyectos nacionales e Internacionales). A su vez, es fundamental establecer una plataforma de diálogo intersectorial con los principales usuarios



**CONDESAN**  
Comisión para el Desarrollo Sostenible  
de la Ecorregión Andina



potenciales de la información, incluyendo las asociaciones de guías de montaña, las organizaciones comunitarias de base, los acueductos regionales, centros educativos, etc. Esta plataforma pudiera promover estrategias de investigación participativa involucrando a los actores locales en la generación, análisis y difusión de la información.

Se propuso que cada uno de los sitios de trabajo pudieran funcionar como Nodos en una Red Nacional de Monitoreo Integrado. En este sentido es interesante analizar la experiencia desarrollada en la Red de Investigación y Monitoreo de Bosques Secos en el país. Aquí es importante considerar el traslape de diferentes figuras de ordenación y gestión del territorio, para poder integrar a los responsables de las diferentes autoridades responsables (p. ej. PNN, Reservas de la Sociedad Civil, Reservas Forestales, Distritos Regionales de Manejo Integrado, etc.).



## 5. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

El taller reunió un nutrido grupo de expertos en el monitoreo y seguimiento de la dinámica ecológica y social de los ecosistemas de Colombia, con una importante participación del IDEAM, el Instituto Humboldt y el MADS, así como instituciones académicas con amplia trayectoria de trabajo en la Alta Montaña de Colombia, especialmente en el Complejo de Los Nevados de la Cordillera Central. Esto evidencia el interés sostenido de las instituciones del SINA y la academia en la consolidación de enfoques integrales para el monitoreo ambiental en la alta montaña. A continuación presentamos las principales conclusiones del taller tanto para la escala nacional como para la escala regional de sitios de trabajo.

### 5.1. Monitoreo de los Ecosistemas Altoandinos a Escala Nacional

- La presentación de la propuesta de la Estrategia Integrada de Monitoreo de Ecosistemas Altoandinos (EMA), formulada a través de un amplio proceso de consulta durante el 2018, enfatizó el avance realizado en la formulación clara de objetivos, preguntas orientadoras, un modelo conceptual multiescalar, y la identificación de productos esperados, que permitirá orientar la consolidación de la estrategia a nivel nacional y de sitios de trabajo. Entre los próximos pasos clave en la ruta para la consolidación de la EMA se plantearon: a) darle mayor difusión a la propuesta (ya se ha publicado un primer artículo en la Revista *Biodiversidad en la Práctica*, Llambí et al. 2019); b) identificar variables esenciales de monitoreo y la construcción de una plataforma nacional de información; y c) discutir un paquete mínimo de variables esenciales a nivel regional/sitios y las estrategias conceptuales/institucionales para integrar la información a nivel de sitios.
- Se discutió la necesidad y oportunidad planteada por la Ley de Páramos 1930 del 2018 de contar con esquemas de monitoreo y planes de manejo de los complejos de páramo del país. La Ley 1930 también plantea la necesidad de aportar información que oriente los procesos de conservación, reconversión productiva sostenible y restauración ecológica en los páramos. En este contexto, la EMA viene a constituir un marco general que debería orientar e integrar estos esquemas de monitoreo regionales.
- La creación reciente de los Centros Regionales de Diálogo Ambiental (MADS, Res.2035 de 2018) también pudiera contribuir a generar espacios para la discusión, análisis y retroalimentación de los insumos aportados por el monitoreo integral, en que el seguimiento de la dinámica de los conflictos ambientales en los territorios de alta montaña del país debería ser una prioridad. Desde este punto de vista, el seguimiento de variables vinculadas con la dinámica de los conflictos socioambientales a nivel nacional y regional pudiera incluir aspectos como los intereses involucrados y la dinámica de los recursos naturales en disputa.
- Se evidenció el avance realizado a nivel nacional en varias iniciativas clave para el monitoreo de ecosistemas, incluyendo el proceso de formulación y reporte de variables e indicadores ambientales realizado por el IDEAM (para clima y cambio climático, calidad y cantidad de agua, calidad del aire, degradación de suelos, cobertura de bosques, ecosistemas y glaciares); el Inventario Forestal Nacional (que incluye hasta la fecha 17 conglomerados sobre la cota de los 2800 m); el diseño de un protocolo detallado para el monitoreo hidrológico en páramos con un enfoque ecosistémico (que



propone la integración de múltiples escalas espaciales de análisis, métodos de medición de variables hidrológicas y análisis-modelización); y el protocolo para el monitoreo del ciclo del carbono en la alta montaña, que plantea un esquema de seguimiento a lo largo de gradientes de elevación (desde el bosque altoandino a los páramos) y de transformación (comparando zonas intervenidas y no intervenidas), y contempla metodologías para el estudio de la biomasa y el carbono en la vegetación y los suelos, así como procesos de transferencia (producción primaria y de hojarasca, descomposición, etc.).

- La revisión documental a nivel nacional e internacional realizada para la formulación de la *Agenda de Investigación de Alta Montaña* del Instituto Humboldt, identifica varios temas críticos en que la EMA puede realizar aportes muy importantes, incluyendo: el análisis de los cambios en la diversidad funcional en escenarios de transformación antrópica; las interacciones entre la biodiversidad, la dinámica hidrológica y la acumulación de carbono; el estudio de la efectividad de las estrategias de adaptación, reconversión productiva y restauración ecológica; y el efecto de las estrategias de gobernanza y el marco institucional sobre el manejo de los socio-ecosistemas de alta montaña.
- Es importante tomar en cuenta las oportunidades que ofrecen para la consolidación de la EMA, la implementación de varios proyectos en la zona de alta montaña de Colombia (incluyendo el proyecto AICCA, Páramos UE, PARAGUAS, Bosques y Páramos, etc.). Este es el caso del proyecto PARAGUAS (esfuerzo conjunto de investigadores de varias instituciones académicas del Reino Unido y Colombia), que aborda la temática clave del papel de los páramos en la regulación hídrica. En este contexto, la EMA puede aportar lineamientos y enfoques para que estos proyectos aporten efectivamente a construir una visión más integral de la dinámica de los ecosistemas de alta montaña del país.
- En la primera mesa de trabajo se discutieron las variables esenciales para el monitoreo a nivel nacional. Los participantes coincidieron en que a esta escala es fundamental dar seguimiento a la cobertura de los ecosistemas aprovechando la información disponible a partir del mapa de ecosistemas de Colombia a escala 1:100.000 e información más detallada a escala 1:25.000 como la levantada para muchos complejos de páramos en el proyecto de delimitación. Sin embargo, a esta escala detallada se hace necesario llenar los vacíos geográficos de información. A su vez, para poder interpretar los cambios de uso de la tierra, es fundamental complementar la información de sensores remotos con información derivada directamente de los actores y los territorios, aprovechando fuentes como el Censo Nacional de Población (DANE, 2018) y el Censo Nacional Agropecuario del 2015.
- Otros aspectos claves para monitorear a escala nacional planteados incluyeron la distribución potencial de especies, mapas de endemismos y de especies amenazadas, especialmente para grupos bien estudiados (p. ej. aves, anfibios, plantas superiores), trabajar en la estimación de la biomasa y carbono en ecosistemas altoandinos, así como el consolidar la información para la alta montaña de variables abióticas clave como la precipitación y temperatura, oferta hídrica (caudales), calidad del agua (a partir de parámetros físico-químicos y de estudios con bioindicadores), densidad aparente y carbono del suelo. También se planteó la posibilidad de realizar cortes para la alta montaña de indicadores como las tasas de erosión y salinización de los suelos (que han sido analizados a escala de todo el territorio continental de Colombia). A su vez, entre los procesos en



los que se puede hacer un seguimiento de la dinámica temporal se mencionaron la productividad primaria (a partir de información de sensores remotos) y el uso de modelos para proyectar los cambios en la cobertura de ecosistemas en escenarios de cambio climático.

- En la segunda mesa de trabajo se discutió los pasos necesarios para la consolidación de un sistema nacional de información de ecosistemas de alta montaña. Los participantes enfatizaron la necesidad de definir un marco lógico y un modelo de gestión de información, partiendo de los objetivos y modelo conceptual de la EMA. También se enfatizó la necesidad de realizar un estudio y análisis de costos y viabilidad institucional y financiera, para poder definir el mejor arreglo institucional para consolidar el sistema de información y dónde alojarlo. Finalmente, los participantes estuvieron de acuerdo en una hoja de ruta con dos pasos fundamentales: a) desarrollo de un portal de información de actores, sitios de trabajo y protocolos de monitoreo; b) la consolidación del sistema de información de ecosistemas de alta montaña y su vinculación con el SIAC.

## 5.2. Monitoreo a nivel Regional de Sitios de Trabajo

- En el caso de Complejo de Los Nevados en el Macizo Volcánico Ruiz-Tolima, las ponencias presentadas evidenciaron la existencia de múltiples iniciativas de monitoreo e investigación de largo plazo, especialmente en la Cuenca del Río Claro. Estas iniciativas cubren un amplio rango de elevaciones desde los bosques altoandinos hasta la zona nival y combinan el uso de análisis a escala del paisaje (coberturas de ecosistemas), de estaciones hidrometeorológicas y de parcelas permanentes. A su vez, combinan estudios paleoecológicos con una escala temporal de milenios, con el uso de enfoques diacrónicos para el seguimiento de la dinámica de cambio en las últimas décadas (p. ej. para el monitoreo del balance de masa glaciar).
- En la temática de vegetación, las iniciativas de monitoreo activas en Los Nevados incluyen 12 parcelas permanentes para el seguimiento de la composición y abundancia de plantas, musgos y líquenes en áreas de retroceso glaciar (sector La Conejera del Volcán Santa Isabel), así como 36 parcelas para el seguimiento de la estructura y diversidad funcional y aspectos ecohidrológicos de la vegetación, a lo largo de un gradiente de elevación en el páramo. Esto constituye una oportunidad interesante para analizar de forma integrada esta información y promover esfuerzos conjuntos de seguimiento en el futuro.
- El IDEAM mantiene en La Cuenca del Río Claro, estaciones hidrometeorológicas y de isotopía hidrológica en tres microcuencas con coberturas contrastantes (glaciar, páramo sin glaciar, bosque altoandino sin páramo), que han contribuido a mostrar la alta capacidad de regulación hídrica de los glaciares y páramos, pero el alto aporte en términos de caudal total de los bosques altoandinos. El Glaciar Conejeras del Nevado Santa Isabel es también objeto de monitoreo detallado de su extensión y su masa glaciar (con una red de balizas). A su vez, el observatorio Poleka Kasué mantiene en la zona 28 dataloggers de temperatura y humedad relativa del aire distribuidos a lo largo de un amplio gradiente de elevación desde el páramo hasta la zona periglacial. En el tema de carbono y biomasa se cuenta con siete parcelas entre los 3.152 y los 4.382 m de elevación en ecosistemas de bosque altoandino y páramos. En estas parcelas se hace seguimiento de la biomasa aérea, cobertura vegetal, hojarasca, necromasa, así como la textura, densidad aparente y contenido de carbono del



suelo. Adicionalmente se monitorean los procesos de producción primaria y flujo de CO<sub>2</sub> desde el suelo.

- En el marco del Proyecto Páramos financiado por la Unión Europea y Coordinado por el Instituto Humboldt se vienen también desarrollando actividades de monitoreo en varias localidades del Complejo de Los Nevados (bajo el liderazgo de CARDER), vinculadas más directamente con el seguimiento del impacto de actividades de restauración ecológica, reconversión productiva, ordenación del territorio y esquemas de pago por servicios ambientales. El esquema de monitoreo fue diseñado siguiendo los lineamientos de los estándares abiertos para la práctica de la conservación y constituye un enfoque conceptual interesante para vincular el monitoreo al manejo adaptativo y la toma de decisión.
- De modo que, la diversidad de iniciativas existentes en el complejo Los Nevados constituye una oportunidad única para el análisis integrado de los resultados disponibles hasta la fecha. Este análisis pudiera tomar la forma de un documento síntesis del estado y tendencia de los ecosistemas en la región que analice también la importancia que ha tenido y puede tener el monitoreo para la gestión del territorio y la toma de decisión. El formato de este documento pudiera servir de modelo para ejercicios de síntesis similares en otros complejos de alta montaña del país. A su vez, los actores involucrados en estas iniciativas manifestaron su interés de trabajar en lograr una mayor articulación de los diversos esquemas de monitoreo, para optimizar los esfuerzos y evaluar la posibilidad de integrar algunas de las parcelas de seguimiento (p. ej. para poder medir simultáneamente la diversidad de especies y funcional de la vegetación y la biomasa y carbono acumulado). La integración de los diversos protocolos y enfoques sería además un insumo clave para consolidar un Plan de Monitoreo del Páramo de Los Nevados, en el marco del Plan de Manejo planteado por la Ley 1930 del 2018.
- En las mesas de trabajo dedicadas a la escala regional (tercera y cuarta) se discutieron las variables de un paquete mínimo de monitoreo en los sitios y los posibles arreglos institucionales a esta escala. Para permitir la integración del trabajo a escala de sitios, con la escala nacional, los participantes en el taller enfatizaron la importancia de dar seguimiento a los mismos temas generales planteados para el nivel país, adaptando las metodologías para trabajar a nivel de paisajes, parcelas permanentes y estaciones hidrometeorológicas. Esto permitiría realizar ejercicios de escalamiento de la información desde lo local hasta lo nacional.
- Entre las variables bióticas mencionadas a nivel de parcelas permanentes estarían la biomasa/necromasa aérea, la composición y abundancia de plantas y la fauna del suelo. Esto pudiera complementarse con estudios en transectas de bioacústica o cámaras trampa para vertebrados. Idealmente, en estas mismas parcelas permanentes su deberían medir variables edáficas como la densidad aparente el contenido de carbono en suelos, pH, temperatura y humedad del suelo, capacidad de campo y puntos de marchitez permanente, entre otras.
- Estas mediciones a escala de parcela se complementan con el monitoreo a escala de paisaje de las coberturas de ecosistemas y el seguimiento en estaciones hidrometeorológicas de variables atmosféricas (p. ej. temperatura del aire, precipitación, humedad del aire, radiación solar, vientos) e hidrológicas (p. ej. nivel y caudal, calidad del agua a partir de parámetros físico-químicos y



bioindicadores). Los participantes enfatizaron también la importancia de analizar una serie de variables derivables de las mediciones del paquete mínimo, como las tasas de evaporación/evapotranspiración y el rendimiento hídrico de las micro-cuencas o cuencas; y de implementar, en sitios seleccionados, un paquete complementario con mediciones más detalladas, incluyendo aspectos como: biomasa/necromasa subterránea, procesos de descomposición y producción de hojarasca, interceptación de precipitación por la vegetación, flujos subterráneos, etc.

- Finalmente, en cuanto a los arreglos institucionales, se planteó la posibilidad de organizar los sitios o regiones de trabajo en una red nacional de observatorios de alta montaña, pero entiendo que cada sitio/región debe tener la libertad de generar sus propios arreglos y esquemas de funcionamiento en función de la institucionalidad y escenario socio-ambiental local. En este contexto, se enfatizó que los Institutos de investigación del SINA están llamados a jugar un papel de orientación, asesoramiento y apoyo, promoviendo la generación de productos como los reportes integrados de estado y tendencias de los ecosistemas en los sitios, a partir de un modelo común acordado a nivel nacional. También se enfatizó la necesidad de promover alianzas con instituciones de investigación y gestión activas en cada región (Universidades, Institutos, CAR, proyectos activos) y de establecer plataformas de diálogo intersectorial con los usuarios de la información, incluyendo guías de montañas, organizaciones de base, acueductos regionales, centros educativos, etc.