

LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO METODOLÓGICO DE EJERCICIOS DE MONITOREO INTEGRADO EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA (ÉNFASIS EN BIODIVERSIDAD).

Equipo de Gestión de Ecosistemas Estratégicos
ANA BELÉN HURTADO-M
NATALIA NORDEN



Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Diciembre de 2020
Bogotá D.C., Colombia

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	3
1. ¿CÓMO EVALUAR?	5
2. ¿QUÉ EVALUAR?	7
2.1 <i>Objetos de monitoreo</i>	7
2.2 <i>Variables sugeridas</i>	8
2.3. <i>Unidades de muestreo</i>	10
3. ¿CON QUIÉN EVALUAR?	13
4. RECOMENDACIONES FINALES	14
5. REFERENCIAS	15

Lista de figuras

FIGURA 1. ESQUEMA GENERAL DE UN NÚCLEO DE MUESTREO CONSIDERANDO TRES GRADIENTES. UN GRADIENTE DE ELEVACIÓN, UN GRADIENTE DE SUCESIÓN, RECUPERACIÓN O RESTAURACIÓN Y UN GRADIENTE DE INTENSIDAD EN EL USO DEL SUELO. LAS ESTRELLAS INDICAN QUE EL MISMO ESQUEMA QUE SE MUESTRA PUEDE REPLICARSE A LO LARGO DEL GRADIENTE ALTITUDINAL.	6
FIGURA 2. EJEMPLO DE UN GRADIENTE PARTICULAR DEL DISEÑO GENERAL SOBRE EL CUAL PUEDE HACERSE MAYOR ÉNFASIS DEPENDIENDO DE LAS MOTIVACIONES LOCALES.	7
FIGURA 3. SISTEMA ANIDADADO DE PARCELAS PERMANENTES DE DIFERENTES DIMENSIONES PROPUESTO PARA EL MUESTREO PERMANENTE DE LA VEGETACIÓN EN LA ALTA MONTAÑA COLOMBIANA.	13

Lista de tablas

TABLA 1. VARIABLES MÍNIMAS SUGERIDAS PARA EL MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD EN LA ALTA MONTAÑA COLOMBIANA. SE INCLUYEN VARIABLES DE COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA, QUE PUEDEN SER MEDIDAS IN SITU (IDENTIFICADAS CON LA LETRA A) VARIABLES QUE SE CALCULAN A PARTIR DE LOS DATOS DE CAMPO (LETRA C), VARIABLES EX SITU, QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE INFORMACIÓN DE SENSORES REMOTOS (LETRA B) Y TAMBIÉN PRODUCTOS AGREGADOS A NIVEL NACIONAL (LETRA D).	9
--	---

Introducción

La alta montaña de Colombia incluye los ecosistemas ubicados sobre la cota de los 2800 metros de altitud sobre el nivel del mar (Llambí *et al.*, 2019) y, según el Mapa de Ecosistemas de Colombia en la alta montaña del país se encuentran diversos agroecosistemas, mosaicos de bosques andinos que incluyen vegetación secundaria, páramos y herbazales, turberas y zonas de humedales y glaciares (IDEAM 2017). Estas áreas representan un escenario dinámico y complejo que, en algunas regiones del país, se encuentran en lugares con una alta concentración poblacional y que además cuentan con una larga historia de ocupación humana. De esta manera, los ecosistemas de la alta montaña no solo tienen importancia ecológica sino también social, al ser el territorio en el que habitan millones de personas en Colombia (Sarmiento *et al.*, 2017; Llambí *et al.*, 2019)

La alta montaña funciona como un sistema que está conectado ecológicamente, en donde los procesos y el funcionamiento de los ecosistemas está relacionado a través del gradiente altitudinal, de manera que lo que ocurre en las partes altas de las montañas repercute en las partes bajas. Adicionalmente, los ecosistemas de las montañas son muy sensibles a los cambios ambientales y a los efectos del cambio climático, por lo que se considera que funcionan como amplificadores de las señales del calentamiento global (Mountain Research Initiative 2015). Por todo lo anterior, resulta prioritario evaluar el impacto de los usos del suelo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que los ecosistemas de la alta montaña brindan, y aportar insumos para la planificación territorial a través de un sistema de monitoreo. Este sistema de monitoreo permitirá pasar de la evaluación del estado a la proyección de tendencias a partir de la recolección sistemática y repetida de datos de los componentes de la biodiversidad en diferentes escalas (Noss 1990).

Los páramos, como parte esencial de la alta montaña de Colombia, cuentan con reconocimiento especial de su importancia ambiental, lo que ha derivado en una legislación ambiental que tiene como objetivo regular las actividades productivas permitidas en estos ecosistemas. Los instrumentos legislativos vigentes en el país son la Ley 1930 de 2018, que plantea lineamientos generales para la conservación y gestión de los páramos y la Resolución 0886 de 2018, que establece lineamientos para la zonificación de los páramos y la reconversión y sustitución de actividades agropecuarias en este ecosistema. Este marco normativo no ha estado exento de debate, y uno de los desafíos más importantes que conlleva es la necesidad de distinguir entre actividades productivas de bajo y alto impacto, distinción de la cual dependen el bienestar y desarrollo de los habitantes de los páramos en Colombia. Esta legislación, además, plantea la necesidad de realizar un monitoreo que permita hacerle seguimiento a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y su relación con la gestión que se realice en estos ecosistemas. Sin embargo, este monitoreo no debe realizarse de manera aislada en los páramos, sino que debe contemplar el gradiente altitudinal que incluye la transición páramo-bosque e incluso los bosques alto andinos, al considerar que la zona de alta montaña funciona como un sistema que está conectado ecológicamente. En ese sentido, se ha desarrollado la “Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia” (EMA) construida por el IDEAM, el Instituto Humboldt y Condesan (Llambí *et al.*, 2019), que tiene como objetivo evaluar el estado actual y tendencias de cambio de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los ecosistemas

altoandinos de Colombia. y relacionar estos cambios con los principales factores moduladores de los procesos de transformación que operan a diferentes escalas espaciotemporales.

El monitoreo que se propone en la alta montaña supone un gran reto nacional reconociendo que los sistemas de monitoreo ambiental se pueden enmarcar en dos grandes estrategias: 1) los sistemas de “**monitoreo por mandato o de tendencias**”, y 2) los sistemas de “**monitoreo dirigidos o guiados por preguntas**”. Los primeros son generalmente sistemas gubernamentales a gran escala (regional y nacional) que responden a la necesidad política y social de generar reportes del estado de la biodiversidad, como lo demanda la Ley 1930 de 2018. Los segundos se refieren a sistemas de monitoreo focalizados, que son desarrollados a escala local o de paisaje, y que buscan responder preguntas explícitas sobre relaciones causa-efecto para entender el funcionamiento de los ecosistemas y su respuesta a las diversas estrategias de manejo, con el fin de proponer acciones de mejora para dichas acciones (Llambí *et al.*, 2019). Aunque en Colombia el monitoreo de biodiversidad (al menos en los páramos) se hace por mandato, es importante que también esté orientado por preguntas relacionadas con los factores sobre los cuáles se pueda ejercer algún tipo de control (Lindenmayer & Likens 2018). A pesar de la dificultad de contar con un sistema que integre los dos enfoques, la gran ventaja de lograrlo es que tendrá una gran versatilidad para responder preguntas en múltiples escalas que son de interés para múltiples actores.

Sólo cuando el proceso está orientado por objetivos, preguntas e hipótesis claras, se puede garantizar que el monitoreo cumpla dos funciones importantes: 1) la generación de alertas tempranas al detectar cambios en la biodiversidad y sus posibles causas, y 2) la evaluación del éxito de las acciones aplicadas y la posibilidad de predecir las consecuencias de intervenciones futuras (Vos *et al.*, 2000, Yoccoz *et al.*, 2001). Sin embargo, para que cualquier estrategia de monitoreo tenga éxito en el largo plazo, es importante contar con sistemas que generen espacios para la **participación ciudadana** tanto en el monitoreo como en el manejo adaptativo de los ecosistemas. Para esto es fundamental que el sistema de monitoreo propuesto no considere solamente las necesidades de las autoridades ambientales sino también de los habitantes del territorio, y que aporte enfoques e información novedosa para la educación ambiental y la valoración de los ecosistemas.

En este contexto, la Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (EMA) se postula como un paso fundamental para la generación de insumos para la gestión adaptativa de estos ecosistemas en el país, pues propone que el monitoreo debe ser de largo plazo, considerando múltiples escalas espaciales que están vinculadas e integrando variables ambientales y bióticas. Sin embargo, la implementación de la EMA en el país debe ser un proceso que se construya de forma progresiva, a partir de las experiencias existentes, y que se adapte en función de las necesidades de múltiples actores sociales y políticos, desde la escala local hasta la nacional. Por eso, la estandarización de sistemas de monitoreo locales permitirá que la información obtenida sea comparable entre sitios de estudio y se pueda escalar a nivel regional y nacional.

El **objetivo de este documento** es presentar los lineamientos para el diseño metodológico de ejercicios de monitoreo de la biodiversidad en los ecosistemas de alta montaña en Colombia, que

respondan a las necesidades locales y que permitan una estandarización para que la información obtenida se pueda escalar a nivel regional y nacional.

El diseño metodológico que se presenta en este documento aborda tres preguntas básicas: ¿cómo evaluar?, ¿qué evaluar? y ¿con quién evaluar?. Las respuestas a estas preguntas deben estar adaptadas a las condiciones y necesidades locales del lugar en el que se realice la implementación.

1. ¿Cómo evaluar?

A continuación se presentan los lineamientos para llevar a cabo un monitoreo de la biodiversidad en la alta montaña a una escala local. El diseño de muestreo que se propone sigue los principios básicos que se plantean en la EMA según los cuales el seguimiento de la biodiversidad no debe limitarse únicamente a las áreas prioritarias para la conservación, sino que debe realizarse a lo largo de **gradientes de transformación y sucesión** (Llambí *et al.*, 2019). Es igualmente importante monitorear el estado y tendencias de la biodiversidad en las áreas prioritarias para la restauración ecológica, o en las áreas en donde se hayan realizado procesos de restauración (León 2019), así como en las zonas en tránsito a la reconversión y sustitución, particularmente en los páramos.

De esta manera el diseño metodológico del monitoreo, o el **cómo evaluar**, está orientado a comparar la biodiversidad que existe en las coberturas naturales de los ecosistemas de alta montaña con la biodiversidad que se encuentra en otras coberturas que prevalecen en las áreas (ej. sistemas productivos, zonas de reconversión o sustitución, ejercicios de restauración). Esto, con el fin de entender el efecto de los múltiples usos del suelo sobre variables e indicadores basados en la biodiversidad. Con esto en mente, es importante considerar tres gradientes: 1) un gradiente de elevación, propio de la alta montaña, 2) un gradiente de sucesión, recuperación o restauración, y 3) un gradiente de intensidad en el uso del suelo (Figura 1).

Si hay un interés particular por la respuesta de la biodiversidad a un gradiente de elevación en la alta montaña, se sugiere que el muestreo se realice en bosques altoandinos, en la transición bosque-páramo y en los páramos. Esta aproximación permite estudiar múltiples ecosistemas, caracterizados por un entorno abiótico que varía a lo largo del gradiente de elevación, y que a su vez, afecta tanto la composición biótica y la estructura de los ecosistemas, como las actividades productivas presentes en el área.

Por otra parte, considerar el gradiente de sucesión, recuperación o restauración da la posibilidad de contrastar la biodiversidad asociada a las distintas fases de recuperación (natural o asistida) en las que pueden encontrarse las coberturas naturales. Estos contrastes pueden ser un insumo clave para evaluar la efectividad de las estrategias de restauración que hayan sido planteadas en el territorio (Figura 2).

Por último, el gradiente de intensidad en el uso del suelo permitirá evaluar la respuesta de la biodiversidad a los gradientes de transformación, y así sugerir algunos umbrales a partir de los cuales se pueden desarrollar actividades productivas en los ecosistemas de la alta montaña.

De esta manera, si se quiere tener una evaluación integral de la respuesta de la biodiversidad a los múltiples usos del suelo que la afectan, se propone la identificación de un área en donde

idealmente se puedan evaluar de manera simultánea los tres gradientes. Esta área será llamada un **núcleo de muestreo**. Es importante que en este núcleo se siga el mismo esquema para la planeación, implementación y evaluación en todas las áreas que lo conforman, y se busque un **esfuerzo de muestreo** en cada uno de los gradientes que sea representativo de la proporción que cada uno ocupa en el territorio.

Esta estandarización permite que, a partir de los núcleos de muestreo seleccionados, sea posible obtener conclusiones generalizables para otras zonas del territorio. Idealmente, la selección de los núcleos contemplará la inclusión de los múltiples sistemas productivos, de manera que la respuesta de la biodiversidad a los gradientes evaluados puede generalizarse incluso hacia sitios que no hayan sido muestreados.

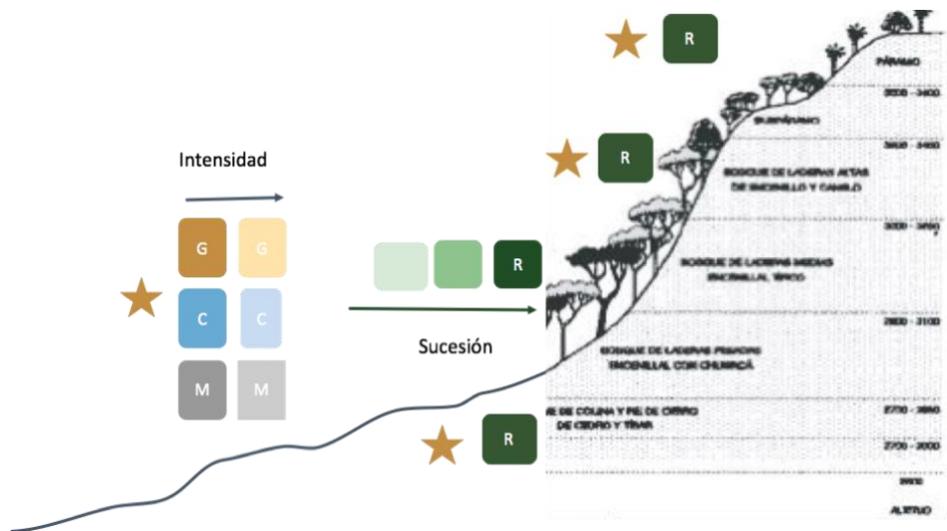


Figura 1. Esquema general de un **núcleo de muestreo** considerando tres gradientes. Un gradiente de elevación, un gradiente de sucesión, recuperación o restauración y un gradiente de intensidad en el uso del suelo. Las estrellas indican que el mismo esquema que se muestra puede replicarse a lo largo del gradiente altitudinal.

Considerando que los objetivos de los ejercicios de monitoreo deben plantearse con la participación incidente de las comunidades locales, esta propuesta metodológica tiene la versatilidad de adaptarse a las diferentes motivaciones o necesidades locales que sean identificadas en el territorio, en donde no siempre es posible o necesario realizar la evaluación de todos los componentes del **núcleo**. Por ejemplo, si dentro de los intereses locales se encuentra que la evaluación a la gestión adelantada con procesos de reconversión o restauración es prioritaria, se podrá iniciar el muestreo haciendo énfasis en este gradiente particular del diseño general (Figura 2) sin necesidad de evaluar los demás gradientes propuestos.

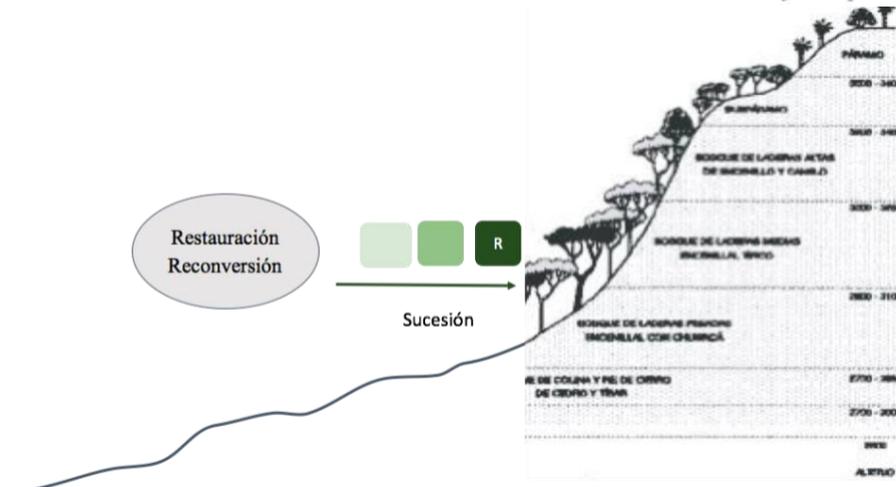


Figura 2. Ejemplo de un gradiente particular del diseño general sobre el cual puede hacerse mayor énfasis dependiendo de las motivaciones locales.

2. ¿Qué evaluar?

2.1 Objetos de monitoreo

Los ejercicios de monitoreo incluyen la generación de una línea base del estado de la biodiversidad, y tienen como objetivo último detectar las tendencias de los indicadores de biodiversidad a través de mediciones repetidas en el tiempo. El reporte de estado y tendencias de la biodiversidad puede considerar los diferentes niveles jerárquicos de organización de la vida: genes, especies, poblaciones, comunidades e interacciones, junto con sus atributos de composición, estructura y funcionalidad de los ecosistemas. Así mismo, los ejercicios de monitoreo permiten obtener información sobre el impacto sobre la biodiversidad de las acciones de conservación o recuperación que se realicen en el territorio.

De esta manera, el siguiente paso en el diseño de la metodología de ejercicios de monitoreo de la biodiversidad es la selección de los **objetos de monitoreo**, que debe hacerse de forma explícita a nivel local para que sea repetible en otras localidades y escalas. Aunque existen múltiples dimensiones de la biodiversidad la selección de los objetos de monitoreo debe responder a los intereses y necesidades locales de información. A continuación, siguiendo a Sánchez y colaboradores (2019), se describen seis criterios que pueden ser considerados para la elección de los posibles objetos de monitoreo:

1. Funcionalidad ecológica

Los objetos de monitoreo se eligen porque su función en el ecosistema se considera importante, ya sea por su relación con algunos grupos o especies (por ejemplo polinizadores, dispersores, grandes predadores o plantas que proveen alimento en períodos críticos para muchas especies), o por su función en la provisión de servicios ecosistémicos prioritarios como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono.

2. Relación con los seres humanos

Los objetos de monitoreo se eligen porque tiene relaciones positivas o negativas importantes con la sociedad. Dentro de los ejemplos de relaciones positivas están las especies útiles, con valores culturales o espirituales, o carismáticas. Dentro de las relaciones negativas están aquellas que generan conflictos, por ejemplo las relaciones con animales silvestres que depredan animales domésticos o con animales que se alimentan de los cultivos o incluso las relación negativa con las especies de plantas o animales invasores, que desplazan especies nativas.

3. Prioridad de conservación y manejo

Los objetos de monitoreo se eligen por pertenecer a categorías que han sido priorizadas para acciones de conservación y manejo, ya sea por instrumentos legales o por acuerdos voluntarios a diferentes escalas. Este grupo incluye, por ejemplo, las especies amenazadas, endémicas, migratorias e invasoras.

4. Potencial de información

Los objetos de monitoreo se eligen porque se conoce con anticipación que el estado de sus poblaciones o comunidades es indicativo del estado de salud del ecosistema. Por ejemplo, las especies sombrilla son aquellas que tienen restricciones de hábitat tan altas, que al conservarlas de forma efectiva se puede asumir que también se conservan muchas otras especies.

5. Practicidad

Los objetos de monitoreo se eligen porque se sabe que son relativamente fáciles de muestrear de forma económica. Por ejemplo, se pueden seleccionar especies que sean fáciles de distinguir, sin necesidad de equipos sofisticados. Es importante realizar un balance en este criterio pues, a modo de ilustración, monitorear especies raras de manera efectiva suele ser costoso en tiempo y dinero, mientras que especies demasiado comunes pueden no ser sensibles a los cambios esperados por la implementación de las acciones de manejo.

6. Escalabilidad

Es fundamental que se tenga presente que la información obtenida a nivel local pueda integrarse a nivel regional y nacional. En ese sentido, si la elección de objetos de monitoreo ocurre de forma aislada en la escala local, será muy difícil que se generen alertas sobre las tendencias negativas de los indicadores del estado de la biodiversidad globalmente y así mismo, controles pertinentes a nivel regional o nacional.

2.2 Variables sugeridas

El siguiente paso en el diseño de la metodología de ejercicios de monitoreo de la biodiversidad es la selección de las **variables** que serán monitoreadas sobre los objetos seleccionados. En términos generales se sugiere que las variables que se seleccionen sean cuantitativas, estandarizadas y repetibles en el tiempo.

Aunque la selección de variables debe considerar, entre otras, las facilidades logísticas y presupuestales que se tengan en cada territorio, es fundamental que las variables seleccionadas puedan traducirse en indicadores concretos que permitan responder a los objetivos que se plantean en el ejercicio de monitoreo. Dichos objetivos deben plantearse con la participación de la comunidad local, de manera que es importante generar escenarios para el diálogo de saberes,

que aseguren la participación incidente de las comunidades locales para el proceso de formulación de los objetivos del monitoreo. Esto, a su vez, asegura que el levantamiento de la información y el análisis y apropiación del conocimiento generado a través del monitoreo en alta montaña sea incidente para los habitantes (Rodríguez 2019).

La heterogeneidad de los territorios de la alta montaña colombiana implica que cada lugar tendrá objetivos particulares y necesidades de información puntuales. Sin embargo, de acuerdo con la EMA, y con el objetivo de estandarizar el monitoreo en una escala nacional, se sugiere la identificación e implementación de una batería mínima de variables que sean comunes a todos los territorios. Esto no excluye la medición de otras variables que respondan a preguntas propias de cada territorio. Adicionalmente y de manera progresiva se pueden incluir módulos opcionales con protocolos específicos para monitorear aquellos procesos que son únicos en algunas regiones (Llambí *et al.*, 2019).

Con el fin de identificar la batería de variables mínima que debe implementarse en el monitoreo de la biodiversidad de la alta montaña del país se han realizado ejercicios de revisión bibliográfica y consulta con funcionarios de las corporaciones autónomas regionales, el sistema de áreas protegidas y otros expertos académicos (Sánchez *et al.*, 2019; Rodríguez 2019), que han derivado en la validación de algunas de las variables propuestas en la EMA y en el planteamiento de algunas nuevas variables.

Teniendo como base los resultados obtenidos por Sánchez y colaboradores (2019), en la Tabla 1 se presentan las variables priorizadas para el monitoreo de la biodiversidad en la alta montaña, a través de talleres con nueve Corporaciones Autónomas Regionales. Aunque el presente documento se concentra en el monitoreo en una escala local, se incluyen algunas variables en la escala regional y nacional para ejemplificar una manera en la que la información obtenida en la escala local puede agregarse para generar información en escalas más amplias, como la regional e incluso la nacional.

Tabla 1. Variables mínimas sugeridas para el monitoreo de la biodiversidad en la alta montaña colombiana. Se incluyen variables de composición y estructura, que pueden ser medidas *in situ* (identificadas con la letra A) variables que se calculan a partir de los datos de campo (letra C), variables *ex situ*, que se obtienen a partir de información de sensores remotos (letra B) y también productos agregados a nivel nacional (letra D).

Escala espacial	Composición	Estructura
Ecosistema/ parcela	Composición de especies (A1) Diversidad alfa (C1) Cantidad de estratos de vegetación (A4)	Presencia de especies focales (A2) Densidad de especies focales (A3) Proporción de estratos de vegetación (A5)
Paisajes/ gradientes	Diversidad beta (C2) Cobertura por hábitat (B1)	Ocupación de especies focales (C4) Conectividad de coberturas naturales (B3)

Escala espacial	Composición	Estructura
Regional	Diversidad gamma (C3) Cobertura por categoría de zonificación en el territorio (B2)	Distribución de especies focales (C5) Diversidad paisajística en un área delimitada (B4)
Nacional	Listas de especies por ecosistemas de la alta montaña (D1)	Mapas de distribución de especies (D2) Mapas de zonificación (D3)

Es importante que, dentro de los atributos de la biodiversidad, se realice un esfuerzo por monitorear variables de función, como es el caso de aquellas asociadas a afectaciones sanitarias del frailejón, procesos de polinización y dispersión, conflictos entre fauna silvestre y doméstica, y al papel que juega la biodiversidad en los ciclos del agua y el carbono. Sin embargo por ser procesos mucho más complejos de medir, estos no se proponen como parte de las variables mínimas a medir (Llambí *et al.*, 2019). La misma sugerencia aplica para estudios a niveles más detallados de la biodiversidad como el nivel poblacional y genético.

Una buena integración de la información local a nivel nacional, implica tener protocolos integrados para la recolección, análisis y reporte de los datos e información. En ese sentido, es importante evitar tener un abanico demasiado amplio de estrategias orientadas a monitorear distintas especies o amenazas de manera desarticulada. Sugerimos entonces que exista un espacio de planeación central donde se identifiquen las temáticas y áreas prioritarias a las cuales dirigir los esfuerzos de monitoreo (Sánchez *et al.*, 2019).

2.3. Unidades de muestreo

Las unidades de muestreo dependen tanto de los objetos de monitoreo como de las variables seleccionadas. De manera que una vez se haya seleccionado un objeto, la medición de las variables debe realizarse siguiendo las metodologías más apropiadas para cada grupo (ver Villareal *et al.*, 2006). Considerando la heterogeneidad de la alta montaña y las particularidades de los páramos, la recomendación general es que una vez se haya seleccionado un objeto de monitoreo, y si no existe un protocolo específico para su seguimiento, se consulte a expertos en el tema para la adaptación de los protocolos existentes y el diseño de muestreo, buscando siempre que se maximice la probabilidad de detectar a la especie si está presente, al tiempo que mantienen los métodos lo más sencillos y económicos posibles (Sánchez *et al.*, 2019).

En términos generales, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones para la evaluación de las variables en las unidades de muestreo seleccionadas:

- Medir y reportar el esfuerzo de muestreo que se utiliza para generar listas de especies: la forma apropiada de hacerlo varía según el grupo que se esté muestreando y la técnica que se esté utilizando, pero algunos ejemplos incluyen registrar el número de personas que participaron, número de unidades de muestreo (parcelas, transectos), número de dispositivos dispuestos en campo (cámaras trampa, trampas de insectos), áreas muestreadas o tiempo de muestreo, entre otros.

- El esfuerzo de muestreo para generar una lista de especies debe ser suficiente para tener una muestra representativa del grupo objetivo a la resolución espacial y temporal esperada. Se sugiere el uso de herramientas analíticas como las curvas de acumulación de especies para evaluar si los esfuerzos de muestreo son suficientes (Villareal *et al.*, 2006). No es necesario asegurar que se detectaron todas las especies del grupo presentes en el área, pero sí que se detectó la mayoría de las especies comunes y una proporción significativa de las especies raras.
- El esfuerzo de muestreo utilizado para generar las listas debe ser semejante entre diferentes lugares y tiempos muestreados, especialmente si dentro de los objetivos del programa de monitoreo está el comparar la composición de especies en lugares y tiempos diferentes. Si los esfuerzos que llevaron a la construcción de cada lista son muy distintos, las diferencias detectadas no se podrán asignar a factores ecológicos o de manejo.
- Para registrar solamente la presencia de especies es necesario que los registros estén estructurados de forma adecuada. Como mínimo, los registros de presencia deben ir acompañados de la coordenada geográfica y la fecha en que se realizó el registro para poder ser utilizados en la generación de modelos de distribución. Para poder ser usados en la generación de modelos de ocupación, los registros de presencia deben ir acompañados de registros de ausencia de las especies en unidades espaciales y temporales constantes (Sánchez *et al.*, 2019).
- Datos de densidad de las especies sólo se recomiendan como variable priorizada para especies de flora, ya que calcular la densidad o abundancia de especies móviles implica metodologías de muestreo más complejas y costosas. Una de las herramientas más utilizadas para el monitoreo de plantas es la implementación de parcelas permanentes de vegetación (Vallejo-Joyas *et al.*, 2005). Según las prioridades de monitoreo en el territorio existen muchas alternativas para el muestreo de la vegetación *in situ*, algunas estandarizadas para propósitos muy específicos como medir el impacto del cambio climático en la alta montaña (Pauli *et al.*, 2017) o el seguimiento a procesos de restauración en páramo (León 2019).
- Por último, la clave para que las estrategias de monitoreo de biodiversidad tengan la capacidad de detectar efectos significativos en las variables de interés depende en gran medida de las decisiones que se tomen en la etapa del muestreo. Es entonces importante que la asignación de réplicas espaciales y temporales de las unidades de muestreo, así como la determinación de los esfuerzos mínimos de muestreo, se realicen con criterios estadísticos y ecológicos más que logísticos y de conveniencia (Sánchez *et al.*, 2019).

2.3.1 Unidades de muestreo permanentes para la vegetación

Dado que la estructura de los hábitats terrestres depende en gran parte de la estructura de la vegetación, y que a su vez las plantas son la base de la cadena trófica y por ende afectan enormemente los recursos disponibles para las demás especies, a continuación se presenta una

revisión sucinta de las unidades de muestreo propuestas para el muestreo permanente de la vegetación. Además, dado que la EMA plantea que el monitoreo en la alta montaña debe integrar la biodiversidad con los demás elementos y procesos que ocurren en la alta montaña, como la regulación hídrica o la captura del carbono, se sugiere considerar la implementación de un muestreo permanente de la vegetación. En ese sentido, se propone que en los núcleos de muestreo descritos en la sección “¿cómo evaluar?” se establezca un **sistema anidado de parcelas permanentes de vegetación** en donde se estimen de forma integrada variables relacionadas con la diversidad taxonómica y funcional de la vegetación y otras variables como el balance hídrico y de carbono a nivel ecosistémico (Avella & Ungar 2018).

El tamaño de las parcelas se adaptará a las características de los diferentes ecosistemas que componen la alta montaña (bosques, páramos, agroecosistemas), y se sugiere que se aprovechen al máximo las unidades de muestreo usadas en las iniciativas de monitoreo existentes en los territorios (Llambí *et al.*, 2019). De esta manera, en los bosques altoandinos se podrán realizar parcelas de mayor tamaño para la medición de árboles y dentro de las cuales se establecerán, de manera anidada, parcelas más pequeñas para arbustos y herbáceas (Figura 3). El anidamiento de las parcelas de diferentes tamaños permitirá la comparación de la riqueza, diversidad o la biomasa de diferentes formas de crecimiento como árboles, arbustos y herbáceas, que dependen fuertemente del área de muestreo, en diferentes posiciones a lo largo del gradiente de elevación (Llambí *et al.*, 2019). Las unidades de muestreo deben contar con réplicas dentro de los núcleos de muestreo, es decir que en cada núcleo de muestreo deben establecerse réplicas del sistema anidado de parcelas permanentes descrito en la Figura 3. El número de réplicas responderá al **esfuerzo de muestreo** necesario para realizar una descripción completa de los ecosistemas en cada punto del gradiente de elevación.

Como se mencionó, las parcelas que se establezcan deben considerar las particularidades de los ecosistemas que conforman la alta montaña. En los páramos las parcelas de vegetación deben tener un área entre 1 m² y 5m², que es la ideal para el muestreo de las formas de vida herbáceas que predominan en este ecosistema. Por otra parte, en los bosques altoandinos dominan los árboles y arbustos y por ende las parcelas deben ser de mayor tamaño. Sin embargo es importante tener en cuenta que existe un compromiso entre el tamaño de las parcelas y el esfuerzo de muestreo, una consideración especialmente importante para las parcelas que se establezcan en los bosques altoandinos (Figura 3). Por ejemplo en la EMA y muchas otras iniciativas académicas las parcelas de 1 hectárea han sido ampliamente utilizadas, sin embargo el esfuerzo requerido para el establecimiento de cada parcela limita que se realicen múltiples réplicas, lo que les confiere una desventaja a la hora de representar la heterogeneidad del paisaje. En ese sentido es posible que se realice un mayor número de parcelas, pero de menor tamaño, lo que permite cubrir la misma área total muestreada (1 ha) pero repartidas en diversos fragmentos de bosque.

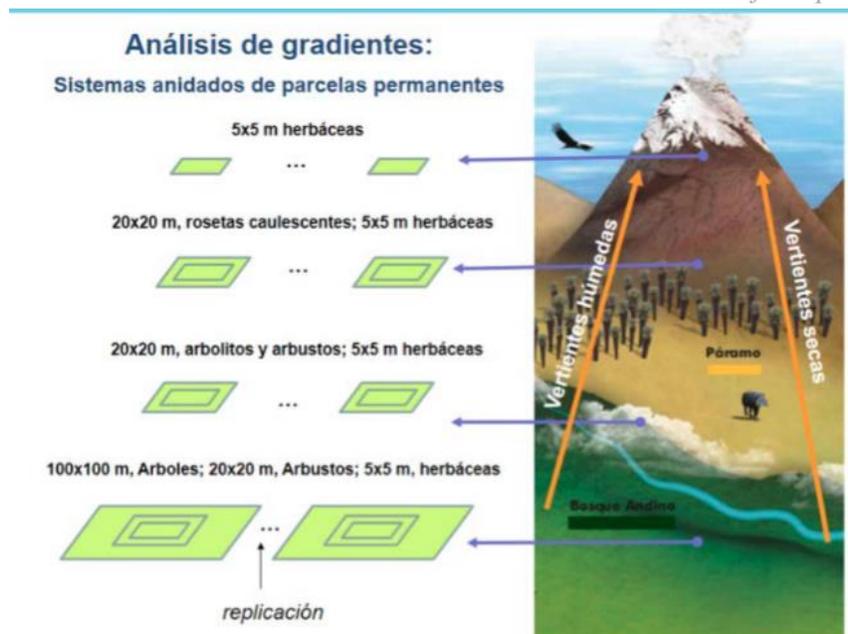


Figura 3. Sistema anidado de parcelas permanentes de diferentes dimensiones propuesto para el muestreo permanente de la vegetación en la alta montaña colombiana.

3. ¿Con quién evaluar?

Las estrategias de monitoreo de la biodiversidad deben ser procesos participativos en donde la comunidad esté integrada en todos los pasos que se siguen para la generación de insumos que faciliten la toma de decisiones sobre el territorio. En contextos de conservación y manejo de recursos naturales, donde se deben abordar cuestiones socioecológicas complejas, el énfasis y la naturaleza de la participación afecta significativamente la forma en que se diseñan los proyectos y los resultados que se consiguen con los mismos. Por lo tanto, la participación de todos los actores del territorio debe estar enmarcada en procesos de validación de perspectivas diversas (Shirk *et al.*, 2012).

En la alta montaña colombiana es fundamental incluir a los habitantes del territorio, considerando que en esta zona existe una alta concentración poblacional y que además cuenta con una larga historia de ocupación humana (Llambí *et al.*, 2019). Por otro lado, el mandato de la legislación colombiana es el de vincular a los habitantes tradicionales de los páramos en los procesos de monitoreo. Para cumplir con esta obligación, no es suficiente con que algunos de ellos asistan o colecten datos, la formulación de los objetivos, la selección de objetos de monitoreo y la propuesta de las variables deben realizarse a través de diálogo de saberes, en donde los habitantes tradicionales de la alta montaña sean sujetos activos en el proceso de construcción de conocimiento sobre sus territorios (Rodríguez 2019; Osejo *et al.*, 2020). Para lograr esa meta, la Resolución 886 propone la creación de "**comunidades de conocimiento**", que son grupos de trabajo compuestos por comunidades, instituciones, organizaciones y gremios en donde se define el diálogo de saberes como el esquema de construcción de conocimiento apropiado (Osejo *et al.*, 2020).

Sin embargo, el ejercicio de reconocimiento de los distintos saberes (campesinos, científicos y técnicos) implica reconocer que estos están inscritos en relaciones desiguales de poder, si se consideran sus experiencias, limitaciones y posibilidades. Es por esto que en un contexto de evidentes asimetrías, el desafío fundamental para que las “comunidades de conocimiento” puedan ocurrir, consiste en eliminar, o al menos minimizar, los desbalances de poder entre técnicos y científicos, y pobladores locales (Osejo *et al.*, 2020).

4. Recomendaciones finales

1. La selección de las áreas en las que se pueden establecer los núcleos de muestreo propuestos responde a varios factores. El primero está sujeto a los intereses particulares que existan en el territorio, es decir a las áreas priorizadas por las autoridades ambientales y la comunidad para responder a las preguntas planteadas en los Planes de Manejo de las áreas. El segundo factor se relaciona con la articulación de los intereses particulares del territorio con los intereses en una escala más amplia, o regional. Por ejemplo, en aquellos complejos de páramo en donde el área delimitada comprenda la jurisdicción de dos o más autoridades ambientales, el diseño, implementación y evaluación de las estrategias de monitoreo de biodiversidad debe estar a cargo de las Comisiones Conjuntas, y es importante que haya coherencia entre las estrategias dentro y fuera de áreas protegidas. Para conseguir que el país tenga una visión holística de los ecosistemas de alta montaña (Llambí *et al.*, 2019) y teniendo en cuenta que la Ley 1930 de 2018 especifica que las acciones de manejo se pueden extender fuera de la zona delimitada, se sugiere que los programas se extiendan a aquellas áreas que tengan sentido desde una perspectiva socioecológica.

2. Las estrategias de monitoreo de biodiversidad en la alta montaña deben estar integradas con las estrategias para el monitoreo de los demás componentes biofísicos, como los factores hidrometeorológicos y climáticos, así como con el sistema de evaluación y seguimiento de la ejecución del plan de manejo, particularmente en los páramos. Adicionalmente, deben construirse sobre la base de las iniciativas de investigación y monitoreo existentes en los territorios.

Considerando específicamente los páramos, la legislación actual de Colombia manifiesta que los sistemas de seguimiento para evaluar, supervisar, monitorear el estado y tendencias de las zonas de páramos y las correspondientes actividades de manejo se deben construir a nivel de complejo, sin embargo sugerimos que deben estar anidadas de forma lógica en la “Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia” construida por el IDEAM, el Instituto Humboldt y Condesan (Llambí *et al.*, 2019); y a un nivel mayor, en el Programa Nacional de Monitoreo de Ecosistemas de Colombia cuya construcción lidera actualmente el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

3. El diseño de cada programa de monitoreo debe incluir el diseño de su cadena de gestión de información. Este debe contar con políticas claras acerca de cómo se deben registrar, transcribir, revisar, almacenar y transmitir los datos y metadatos recolectados; así como planes para el análisis y divulgación de la información resultante a nivel local, regional y nacional (Sánchez *et al.*, 2019).

5. Referencias

- Avella A. & Ungar, P. 2018. Agenda de investigación en ecosistemas de alta montaña. Informe Técnico Interno, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2007. Mapa de Ecosistemas de Colombia (escala 1:100.000). Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Llambí, L.D., Becerra, M.T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M. and Díaz, L.J., 2019. Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica* 4(1):150-172.
- León, O. 2019. Protocolo de monitoreo de restauración en páramos. Informe Técnico Interno, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lindenmayer, D. B. y G. E. Likens. 2018. *Effective ecological monitoring*. Second edition. CSIRO Publishing. 224 pp.
- Mountain Research Initiative, EDW Working Group., Pepin, N., Bradley, R. *et al.* 2015. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change* 5, 424–430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>.
- Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4(4): 355-364.
- Osejo Varona, A., Ungar, P., Escobar, D., Mendez, M. C., Pachón, F., & Valencia, L. 2020. Desafíos y posibilidades de la actual política de páramos: diálogos en torno a Guerrero y Sumapaz. *Biodiversidad En La Práctica*, 5(1). Recuperado a partir de <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/740>
- Pauli, H., Gottfried, M., Lamprecht, A., Niessner, S., Rumpf, S., Winkler, M., Steinbauer, K., Grabherr, G. coordinating authors and editors. 2015. *The GLORIA field manual—standard Multi-Summit approach, supplementary methods and extra approaches*. 5.a ed. GLORIA-Coordination, Austrian Academy of Sciences. Viena: University of Natural Resources and Life Sciences. 1-137 pp.
- Rodríguez, C.E. 2019. Identificar y clasificar las variables de monitoreo de los ecosistemas altoandinos según relevancia y disponibilidad para su manejo en el contexto nacional, teniendo como referencia el documento conceptual definido previamente por las instituciones que intervienen en el proceso, y a partir del ejercicio realizado en la cuenca alta del río claro y del estado del arte nacional. Informe final Contrato No. 336-2019 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- Sánchez, L.M., Montenegro, S.A., Pachón, L.F. 2019. Lineamientos para el monitoreo de biodiversidad en los páramos de Colombia. Informe Técnico Interno, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B.V., Krasny, M.E. and Bonney, R., 2012. Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecology and society* 17(2).
- Sarmiento C, Osejo A, Ungar P, Zapata J. 2017. Páramos habitados: desafíos para la gobernanza ambiental de la alta montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica* 2(1): 122-145.



Trabajando por la biodiversidad

- Vallejo-Joyas, M., Londoño-Vega, A., López-Camacho, R., Galeano, G., Álvarez, E., Devia, W. 2005. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo. Volumen 1. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 310 pp.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A. Segunda edición. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 pp.
- Vos, P., E. Meelis y W. J. Ter Keurs. 2000. A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 317-344.
- Yoccoz, N. G., J. D. Nichols y T. Boulinier. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16 (8): 446-453.