

GLORIA YANETH FLÓREZ YEPES
ÁNGELA MARÍA ALZATE ÁLVAREZ
RICARDO ÁLVAREZ LEÓN

CONSOLIDACIÓN Y FORTALECIMIENTO
DE HERRAMIENTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE

HUMEDALES

A L T O A N D I N O S



Universidad®
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN



CONSOLIDACIÓN Y FORTALECIMIENTO DE HERRAMIENTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE HUMEDALES ALTOANDINOS

Autores

Gloria Yaneth Flórez Y. · Ángela María Alzate Á. · Ricardo Álvarez L.

ISBN: 978-958-8022-93-2

Noviembre de 2018

Copyright©

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

Editor: Cárol Castaño Trujillo

Corrección de estilo: Centro Editorial UCM

Diseño: Unidad de Marca UCM

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma por medios electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros, sin la previa autorización por escrito del Centro Editorial Universidad Católica de Manizales y de los autores. Los conceptos expresados de este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Universidad Católica de Manizales y da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, los Decretos 460 del 16 de marzo de 1995, el 2150 de 1995, el 358 de 2000 y la Ley 1379 de 2010.

©**Centro Editorial Universidad Católica de Manizales**

Carrera 23 No. 60-63

<http://www.ucm.edu.co/centro-editorial/>

centroeditorialucm@ucm.edu.co

Manizales - Caldas

Hecho en Manizales, Caldas · Colombia

CATALOGACIÓN EN LA FUENTE

Flórez Yepes, Gloria Yaneth

Consolidación y fortalecimiento de herramientas para la sostenibilidad de humedales altoandinos / Gloria Yaneth Flórez Yepes, Ángela María Alzate Álvarez, Ricardo Álvarez León. Manizales: Centro Editorial Universidad Católica de Manizales, 2018.

127 páginas: ilustrado

Incluye bibliografía

ISBN 978-958-8022-93-2

1. Humedales 2. Parque Nacional Natural los Nevados

CDD 577.684

BIBLIOTECA UCM

Contenido

Prólogo	11
Capítulo 1. Herramientas de sostenibilidad utilizadas para entender la relación hombre-naturaleza	16
1.1 Generalidades de la relación hombre-naturaleza	16
1.2 Dinámica de sistemas como herramienta para la sostenibilidad	25
1.2.1 Generalidades sobre dinámica de sistemas	25
1.2.2 Pensamiento sistémico y dinámica de sistemas	26
1.2.3 Modelado de sistemas dinámicos	26
1.2.4 Sistemas socio-ecológicos	27
1.2.5 Sistemas complejos adaptativos	28
1.2.6 Diagramas de lazo causal	31
1.2.7 Diagramas de niveles y flujos	31
1.3 Participación social como herramienta de sostenibilidad para conocer la relación hombre-naturaleza	33
1.4 Aplicación de herramientas de participación social en el sector El Ocho y Páramo de Letras	38
1.4.1 Zonificación participativa de los humedales	38
1.4.2 Identificación participativa del potencial turístico y florístico asociados a los humedales	41
1.5 Conclusiones	44
Referencias	45
Capítulo 2. Índices e indicadores de evaluación de los ecosistemas de humedales	52
2.1 Indicadores hidrológicos, físico químicos, biológicos y meteorológicos para el estudio de los humedales	53
2.2 Antropización como indicador en la dinámica de los humedales altoandinos	55
2.3 Metodología para la determinación de indicadores en humedales	56
2.3.1 Definición de los sitios	56
2.3.2 Planificación del trabajo de campo	58

2.3.3 <i>Determinación de variables</i>	59
2.3.4 <i>Medición de las variables</i>	60
2.3.5 <i>Análisis de resultados</i>	61
2.3.6 <i>Pasos para la determinación de un índice</i>	61
2.4 Caso de estudio en la determinación de indicadores e índices, complejo de humedales Parque Nacional Natural Los Nevados	63
2.4.1 <i>Matriz de priorización de variables trabajadas</i>	67
2.4.2 <i>Indicadores relacionados con el recurso suelo asociado a los humedales</i>	72
2.4.3 <i>Calidad del suelo</i>	73
2.4.4 <i>Textura del suelo</i>	74
2.4.5 <i>La densidad aparente</i>	75
2.4.6 <i>Granulometría</i>	76
2.4.7 <i>Análisis de fertilidad</i>	79
2.4.8 <i>Análisis del nitrógeno</i>	80
2.4.9 <i>Indicadores relacionados con el recurso agua asociado a los humedales</i>	80
2.4.10 <i>Medición de parámetros fisicoquímicos del agua en los humedales</i>	80
2.4.11 <i>Indicadores meteorológicos asociados a los humedales</i>	84
2.4.12 <i>Indicadores de vegetación asociados a los humedales</i>	86
2.4.13 <i>Cálculo del índice de estado de conservación para la zona de estudio</i>	88
2.5 Conclusiones	91
Referencias	92
Capítulo 3. Metodologías para la valoración de servicios ecosistémicos	97
3.1 Valoración de servicios ecosistémicos	98
3.2 Generalidades de servicios ecosistémicos prestados por los humedales	101
3.2.1 <i>Funciones, bienes y servicios</i>	101
3.2.2 <i>Servicios ecosistémicos de los humedales para la fauna silvestre</i>	102
3.2.3 <i>Servicios ecosistémicos de los humedales para la flora silvestre</i>	105
3.2.4 <i>Servicios de regulación hídrica en humedales</i>	108

3.3 Caso de estudio realizado para la valoración de los servicios ecosistémicos	111
3.3.1 Metodología	111
3.3.2 Resultados	114
3.3.3 Jerarquización de los servicios ecosistémicos encontrados en la parte alta de la cuenca del río Chinchiná	116
3.3.3.1 Nivel de importancia y frecuencia de uso zona Letras	116
3.3.3.2 Nivel de importancia y frecuencia de uso zona La Favorita	118
3.3.3.3 Nivel de significancia y frecuencia de uso zona Aspar-Laguna negra	120
3.3.4 Valoración socioeconómica	122
3.4 Conclusiones	124
Referencias	125

Figuras

Figura 1. Concepto de medio ambiente	21
Figura 2. Factores del medio ambiente	21
Figura 3. Esquema del desarrollo sostenible	23
Figura 4. Instrumentos de la gestión ambiental	24
Figura 5. Fases y dimensiones de los ciclos adaptativos	29
Figura 6. Diagrama de subsistemas	30
Figura 7. Diagrama de niveles y flujos de aspectos económicos	32
Figura 8. Ubicación por predio de los usos del suelo	40
Figura 9. Mapa La Virginia. Zonificación ambiental participativa sobre uso y estado actual del territorio	40
Figura 10. Toma de muestras de suelo para medir de densidad aparente	73
Figura 11. Turbiedad del agua en los humedales en la zona de estudio	82
Figura 12. Registro fotográfico de la recolección de muestras en campo: oxígeno disuelto, turbidez y pH humedal Río Blanco	83
Figura 13. Registro fotográfico de la recolección de muestras en campo: oxígeno disuelto, turbidez y pH El Nueve	83
Figura 14. Precipitaciones históricas de la cuenca del río Chinchiná 1997-1998 vs 2015, incidencia del Fenómeno del Niño	86
Figura 15. Índices de Dominancia y Biodiversidad de Simpson	105
Figura 16. Pajonal (<i>Calamagrostis effusa</i>)	108
Figura 17. Guardarocío (<i>Hypericum goyanesii</i>)	108
Figura 18. Plantago (<i>Plantago rigida</i>)	108
Figura 19. Mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i>)	108
Figura 20. Mapa de servicios eco-sistémicos zona Aspar-Patio Bonito	114
Figuras 21, 22 y 23. Proyección de “Mi humedal”. Zona Aspar-Patio Bonito	115
Figura 24. Síntesis de los grupos por nivel de importancia, zona de Letras	116
Figura 25. Frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos en la zona de Letras	118
Figura 26. Nivel de importancia de los servicios ecosistémicos por grupo en la zona de La Favorita	119
Figura 27. Nivel de importancia de los servicios ecosistémicos por grupo en la zona Aspar- La Laguna	121
Figura 28. Frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos, zona Aspar-La Laguna	122

Tablas

Tabla 1. Instrumento para la determinación del potencial turístico	43
Tabla 2. Rangos utilizados según Pinilla (2010)	63
Tabla 3. Zonas de muestreo	64
Tabla 4. Listado de variables	65
Tabla 5. Matriz de priorización de indicadores climáticos	67
Tabla 6. Matriz de priorización indicadores de suelo	68
Tabla 7. Matriz de priorización indicadores de vegetación	69
Tabla 8. Matriz de priorización indicadores de agua	70
Tabla 9. Matriz de priorización indicadores antrópicos	71
Tabla 10. Indicadores analizados y su relación con las funciones del suelo en la zona de estudio	72
Tabla 11. Resultados textura del suelo	74
Tabla 12. Resultados de la densidad aparente por cada sitio seleccionado	75
Tabla 13. Resultados granulometría	76
Tabla 14. Valores de pH del agua	81
Tabla 15. Resultados de oxígeno disuelto en cada uno de los puntos muestreados	83
Tabla 16. Precipitaciones multianuales de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio	84
Tabla 17. Resultados del índice de riqueza (biodiversidad) por cada uno de los sitios de muestreo	87
Tabla 18. Índice de fragmentación por cada uno de los sitios estudiados	88
Tabla 19 Índice de estado de conservación	96
Tabla 20 Valoración económica total de los humedales	99
Tabla 21. Relación entre cada uno de los sitios de estudio y el sistema productivo aledaño	106
Tabla 22. Número de especies encontradas por cada punto de muestreo	106
Tabla 23. Matriz utilizada para determinar nivel de importancia y frecuencia de uso de servicios ecosistémicos	112
Tabla 24. Valoración socioeconómica, zona Aspar-La Laguna	123
Tabla 25. Valoración socioeconómica zona La Favorita	124



*Río Azufrales
Fotografía por Julio César Parra Mendieta*

Prólogo

Los humedales han tenido atención especial en el concierto mundial, según la Visión de la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia:

El país garantiza la sostenibilidad de sus recursos hídricos mediante el uso sostenible y la conservación de los humedales, como ecosistemas estratégicos dentro del ciclo hidrológico, que soportan las actividades económicas, sociales, ambientales y culturales, con la participación coordinada, articulada y responsable del gobierno, los sectores no gubernamentales, las comunidades indígenas y negras, el sector privado y la academia. (Ministerio del Medio Ambiente, 2002, p. 10)

De acuerdo con la Fundación Humedales (2018), Colombia posee nueve sitios Ramsar con una superficie de 922.976 hectáreas, los cuales son: 1) Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena), 2) Sistema Lacustre Chingaza (Cundinamarca), 3) Complejo de Humedales, Estrella Fluvial del Inírida (Inírida), 4) Complejo Laguna del Otún (Risaralda), 5) Ampliación Laguna del Otún (Risaralda), 6) Laguna de la Cocha (Nariño), 7) Complejo de Humedales Laguna del Sonso (Valle del Cauca), 8) Ciénaga de Ayapel (Córdoba), 9) Lagos de Tarapoto (Amazonas). Actualmente, el Ministerio del Medio Ambiente viene avanzando en el proceso de designación de dos nuevos humedales Ramsar en el país, entre los que se encuentran los complejos de humedales del Bajo Atrato (Chocó), y del río Bitá (Vichada).

Algunos humedales presentan unas características especiales de ubicación; dentro de ellos los alto-andinos, los cuales se encuentran íntimamente asociados a los páramos, tal como sucede con el área del presente estudio: sector El Ocho y Páramo de Letras (Departamento de Caldas).

Desde el 2011 se ha venido desarrollando el proyecto para la construcción de lineamientos de uso y conservación de humedales altoandinos del departamento de Caldas, el cual ha tomado como zona experimental el complejo de humedales El Ocho y Páramo de Letras. En la primera etapa culminada en el primer semestre del año 2012, se definieron los resultados relacionados con la percepción social y con la definición de la relación que tiene la comunidad con el ecosistema; resultados que sirvieron para que en el desarrollo de una segunda etapa se pudieran construir los lineamientos de uso y conservación de humedales, aplicados a la zona de estudio.

La segunda etapa correspondió al desarrollo de la investigación durante el período 2012 y 2013, donde se realizó un análisis de los servicios ambientales o eco-sistémicos asociados al turismo y a la riqueza florística desde: los saberes tradicionales, la zonificación ambiental participativa, una propuesta de pago por servicios ambientales y unos lineamientos de uso y conservación de humedales para la misma zona de estudio.

Posteriormente, en el año 2014, se llevó a cabo el proyecto denominado "Modelamiento de un sistema productivo para estudiar el deterioro de los humedales altoandinos ubicados en el sector El Ocho Letras, usando dinámica de sistemas". Allí, se determinaron las variables antrópicas que inciden en el deterioro de los humedales, se realizó un análisis de Sociología Ecológica para identificar la relación entre los aspectos antrópicos y ecosistémicos, y finalmente, un modelo de dinámica de sistemas que relacionó el nivel de deterioro de los humedales y la actividad productiva del sector.

En el año 2015, se desarrolló el proyecto identificación de indicadores de agua y suelo para la generación de un índice del estado de conservación de humedales altoandinos, donde se evaluaron diferentes parámetros influyentes en la sostenibilidad de este ecosistema.

Durante los años 2016 y 2017, se desarrolló un proyecto para la identificación de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, culturales y recreación, asociados a los humedales ubicados en la misma zona de estudio de los proyectos anteriores; a través de herramientas de jerarquización y una aproximación a la valoración social.

Este libro es fruto del trabajo de un grupo de investigadores de varias disciplinas que, durante varios años, se propusieron explorar uno de los ecosistemas más importantes y productivos de los Andes, pero, al mismo tiempo, menos conocidos. En el texto, el lector interesado o neófito encontrará aspectos relacionados con las diferentes metodologías para el análisis del ecosistema desde una visión participativa, pero también, se muestran algunas experiencias de análisis integral del ecosistema considerando los diferentes indicadores ambientales. Finalmente, se hace un análisis de los procesos de valoración del ecosistema puntualizando los casos de estudio desarrollados en las investigaciones y se identifican los vacíos en los estudios de estos ecosistemas regionales.

En cada uno de los capítulos del libro se plantea un aspecto general de la temática utilizando información secundaria, para posteriormente puntualizar sobre un estudio de caso; estos últimos se realizaron en un sector específico que corresponde a la parte alta de la cuenca del río

Chinchiná, es decir, en todo el libro no se plantea una sola investigación, sino que, de acuerdo con la temática del capítulo, se relaciona el método específico utilizado.

Este libro llega después de una prudente espera para divulgar en forma conjunta los resultados del proyecto para la construcción de lineamientos de uso y conservación de humedales altoandinos del departamento de Caldas. Se ha contado con el concurso de diferentes instituciones y personas: Universidad Católica de Manizales, Aguas de Manizales y Corpocaldas, a las cuales se agradece muy sinceramente.

Referencias

- Fundación Humedales (2018). Humedales Ramsar en Colombia. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2018/01/25/humedales-ramsar-colombia/>
- Ministerio del Medio Ambiente (2002). *Política Nacional de humedales interiores de Colombia*. Bogotá: autor. Recuperado de: <https://goo.gl/5me4V9>



*Vegetación asociada a los humedales altoandinos
Fotografía por Julio César Parra Mendieta*

C A P Í T U L O

1

Capítulo 1. Herramientas de sostenibilidad utilizadas para entender la relación hombre-naturaleza

En este capítulo se presentarán algunas generalidades sobre la manera en que se ha dado la relación hombre-naturaleza a través de la historia; se comprenderá cómo la dinámica de sistemas puede ser reconocida como una herramienta de sostenibilidad; se explorará la participación social a partir de diferentes metodologías; y finalmente, se describirán las herramientas de participación social aplicadas en el sector El Ocho y Páramo de Letras. Este último ha sido trabajado por el Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales (GIDTA), adscrito al programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Manizales, con la participación de estudiantes del Semillero en Ecosistemas Estratégicos.

1.1 Generalidades de la relación hombre-naturaleza

La relación hombre-naturaleza ha tenido diferentes transformaciones a lo largo del tiempo. En el paleolítico, el ser humano utilizaba lo que encontraba a su paso para subsistir. Usaba el fuego y la piedra, y practicaba la caza, por tanto, los residuos que generaba eran mínimos, toda vez que los elementos eran orgánicos, los cuales se degradaban con gran facilidad. Los seres humanos se movían de un lado a otro en busca de alimentos, así que los daños (sin considerarse como tal) aparentemente eran poco relevantes.

No obstante, según Ángel-Maya (2003)

Durante el paleolítico, cuando era cazador, el hombre inventó armas cada vez más potentes y acorralaba con fuego a sus presas. En seiscientos millones de años que llevaba la vida, no se había visto un espectáculo igual. Visto en retrospectiva, el hombre paleolítico nos parece un estúpido primitivo. Sin embargo, era un innovador asombroso. Con él empezaron los problemas ambientales. (p. 20)

En el neolítico, el ser humano descubrió la agricultura, la ganadería y algunas herramientas para labrar la tierra, lo que lo convirtió en sedentario, ya que encontraba su alimento en un mismo lugar; adicionalmente, se generó un consumo energético y de agua para las diferentes actividades y como consecuencia se producía una pérdida de suelo.

Olaria (1983) define el neolítico como la etapa inicial de la economía de la producción, la cual precedió una economía de subsistencia,

permitiendo que el hombre tuviera un excedente de alimentos. “Este cambio económico conllevaría al sedentarismo y al crecimiento demográfico” (p. 23).

En la Edad Media (entre el siglo V y XV), la población aumentó, al igual que la necesidad de comercializar productos agrícolas hacia lugares lejanos. Debido al incremento poblacional, el daño al medio ambiente se aceleró considerablemente, la producción de residuos se salió de control generando pandemias y muertes, se deforestaron los bosques, se practicó la minería y se presentaron guerras por el poder y la soberanía de los territorios.

La Edad Moderna (entre el siglo XVI y XVIII) fue determinante, ya que la revolución industrial trajo consigo la sustitución de la mano de obra por maquinaria, y aunque se mejoró la calidad de vida por el descubrimiento de medicinas, el deterioro del medio ambiente es evidente debido al sobre aprovechamiento del patrimonio natural y la contaminación atmosférica por las industrias.

Machín, Fernández, González, Martínez y Bárcenas (2014) afirman que

Con la revolución industrial surge la tecnología como expresión del desarrollo social, orientada esta hacia el aprovechamiento de los recursos materiales y portadores energéticos tomados de la naturaleza a los cuales transforma en función de los intereses de quienes la utilizan, mientras devuelve al medio ambiente sustancias o materiales desechables y energía degradada. (p. 18)

Finalmente, en la Edad Contemporánea (siglo XIX al siglo XXI) el aumento poblacional continúa de forma exponencial y el desarrollo tecnológico es más marcado al igual que problemas ambientales como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la infertilidad de los suelos, el calentamiento global y el cambio climático, entre otros. A raíz de dichos problemas que prendieron las alarmas a nivel mundial, surgió la necesidad de disminuir el consumo y hablar de bioética global.

La bioética global se constituye como una perspectiva integral, compleja, holística, biocéntrica y transdisciplinaria, para comprender e intervenir desde otras perspectivas emergentes los problemas a la humanidad y a la Tierra, como el principio quechua del buen vivir, cuya esencia radica en la restauración del mundo y del equilibrio entre el hombre y la naturaleza, considerada como la Madre que habrá de conservarse mas no de explotarse. (Cabral y Salazar, 2016, p. 168)

A partir de los años 70, la necesidad de dicho equilibrio entre el hombre y la naturaleza tomó más fuerza. Fue hasta 1972 que 113 Estados del mundo, organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales se reunieron en Estocolmo, para emprender la primera *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano*. Se planteó una declaración de 26 principios y 109 recomendaciones relacionados con aspectos como: las medidas de manejo de residuos nucleares, la planificación ambiental, la educación ambiental, el desarrollo económico, la protección del medio ambiente, el respeto por la capacidad de carga de la tierra, entre otros (Organización de Naciones Unidas (ONU), 1973). Allí se proclamó el Día Internacional del Medio Humano o del ambiente (5 de junio), se retomó la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre - CITES¹ y se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En Colombia se evidenciaron resultados como el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente (Decreto-Ley 2811 de 1974) y la Ley Sanitaria Nacional (Ley 9 de 1979).

Como continuación a lo planteado en la Cumbre de Estocolmo, en 1983 se conformó la *Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* o Comisión Brundtland², representada por miembros de Noruega, Sudán, Italia, Arabia Saudita, Zimbabwe, Costa de Marfil, Alemania, Hungría, China, Colombia, India, Brasil, Japón, Guyana, Estados Unidos, Argelia, Indonesia, Nigeria, Rusia, Yugoslavia y Canadá. Dicha comisión elaboró en 1987, el informe "*Nuestro futuro común*", estructurado en tres partes y dos anexos: I. Preocupaciones comunes: un futuro amenazado, hacia el desarrollo duradero, el papel de la economía internacional; II. Tareas comunes: población y recursos humanos, seguridad alimentaria, especies y ecosistemas, energía, la industria, el desafío urbano; III. Esfuerzos comunes: administrar los espacios comunes, paz-seguridad-desarrollo y medio ambiente, hacia la acción común; anexo 1. Resumen de los principios jurídicos propuestos para la protección del medio ambiente y el desarrollo duradero; anexo 2. La comisión y su labor (ONU, 1987).

Adicionalmente, en la *Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo*, se habló del concepto de *desarrollo sostenible*, conocido como la capacidad de las generaciones presentes de aprovechar los recursos naturales existentes, sin afectar el goce de los mismos por parte de las

¹El documento fue redactado en 1963, consolidado en 1973 y entró en rigor en 1975. Más información en <https://cites.org/esp/disc/what.php>

²Llamada también Comisión Brundtland en honor a Gro Harlem Brundtland, presidenta de la Comisión y Primera Ministra de Noruega de ese entonces.

generaciones futuras. Esto a través de la confluencia entre los factores ambientales, sociales y ecológicos (ONU, 1987).

Posteriormente, en 1992, se llevó a cabo la Cumbre de Río de Janeiro sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida también como la Cumbre de la tierra. Allí, además de realizar una retrospectiva de 20 años, desde la Cumbre de Estocolmo, se formuló: un plan de acción de 115 programas; la Agenda 21 (ONU, 1992) que tenía como premisa “pensar global, actuar local”, aplicada para los diferentes países, entre ellos Colombia (Sandoval y Liévano 2012); el Convenio de Diversidad Biológica; la Convención Marco de Cambio Climático; y la propuesta del Protocolo de Kioto sobre Gases de Efecto Invernadero-GEI (ONU, 1998). Como respuesta a esta cumbre, Colombia expidió la Ley 99 de 1993 (conocida como la Ley General Ambiental), la cual crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Sistema Nacional Ambiental, reorganiza el sector público y ordena ambientalmente el territorio.

Más tarde, en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo en Sudáfrica en el año 2002, se hizo un balance de los diez años posteriores a la Cumbre de Río de Janeiro, teniendo como resultado la Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible y un Plan de Aplicación de las decisiones tomadas (ONU, 2002). Adicionalmente, se retomaron los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) formulados en el 2000 y a los cuales se les realizó un seguimiento en el año 2015: 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre; 2. Lograr la enseñanza primaria universal; 3. Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer; 4. Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años; 5. Mejorar la salud materna; 6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades; 7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente; 8. Fomentar una alianza mundial para el desarrollo (ONU, 2015).

En el año 2012, se celebró Rio+20, con el fin de conocer la evolución 20 años después de la Cumbre de Río de Janeiro (ONU, 2012). Allí, la Cancillería colombiana elaboró la propuesta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) teniendo como base los ODM del año 2000. Esta propuesta fue tomada como prueba, hasta que, en el año 2015, se planteó la agenda 2030 (ventana de observación 2015-2030) donde se abordan diecisiete ODS, entre ellos están agua limpia y saneamiento, hambre cero, fin de la pobreza, vida de los ecosistemas terrestres y acción por el clima, entre otros (ONU y CEPAL, 2015).

Con estas cumbres se entendió que la relación hombre-naturaleza está completamente desequilibrada, ya que el ser humano ha generado

una presión que reborda la capacidad de carga de la tierra, siendo la demanda más alta que la oferta de recursos naturales. Se optó entonces, por el camino de los convenios, los acuerdos y el acatamiento de responsabilidades y compromisos necesarios para frenar la degradación desenfrenada del medio ambiente. Es evidente la intención de que los lineamientos abordados en los encuentros de las Naciones Unidas sean llevados al plano local, toda vez que la cultura juega un papel muy importante para su ejecución exitosa.

Lo anterior sugiere que no es tan sencillo celebrar cumbres y proponer estrategias para la minimización de impactos ambientales si estos no se ajustan a las características y formas de organización de las comunidades. Es por esto que, en algunos países, la adopción de los planes de acción propuestos para reducir el estrés ecosistémico es más sencilla que en otros, ya que es la cultura la que posiblemente marca en gran medida la diferencia. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL (2001) indica que “sin un cambio cultural que vaya desde el hombre mismo hasta sus comunidades y formas superiores de organización, no se puede lograr que el desarrollo sea diferente de lo que ha sido hasta ahora” (p. 24).

La Cumbre de 1972 definió medio ambiente como el “conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos y de factores sociales, capaces de causar efectos directos o indirectos, a corto o largo plazo, sobre los seres vivos y las actividades humanas” (ONU, 1972).

De igual forma, el medio ambiente se conoce como la correspondencia entre ecosistema y cultura y que está dividido en medio natural, sensorial e inducido (ver Figura 1). Ángel en su libro “La diosa Némesis: desarrollo sostenible o cambio cultural” (2003), plantea que:

El término «cultura» [...] abarca cualquier estrategia adaptativa de la especie humana, a lo largo de su historia. Por cultura se entiende, de acuerdo con la definición de Taylor, el conjunto de instrumentos técnicos, formas de organización económica, social y política y acumulación científica y simbólica que una generación transmite a las siguientes. La base adaptativa del hombre no es solamente la tecnología, sino la totalidad de la estructura cultural y para un análisis ambiental es tan importante estudiar los instrumentos técnicos, como la organización social y la adaptabilidad simbólica de una determinada cultura. (p. 14)



Figura 1. Concepto de medio ambiente

Fuente: información tomada de EPA (2018) y Presidencia de la República (1974)

La biocenosis y el biotopo componen el ecosistema que “convive” con los aspectos culturales del ser humano (Figura 1.). La biocenosis es el conjunto de organismos vivos que pueblan un ecosistema y el biotopo es el territorio con condiciones ambientales (condiciones fisicoquímicas del suelo, agua y atmósfera) adecuadas para que en él se desarrolle determinada comunidad de seres vivos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, s.f.).

Los valores fundados en los hogares, las acciones adaptativas del hombre que influyen en el ecosistema, los fenómenos naturales y las condiciones climáticas que determinan el comportamiento de la población, son algunos aspectos que han generado desequilibrio en la relación hombre-naturaleza (Figura 2).



Figura 2. Factores del medio ambiente

Los recursos naturales, vistos como una organización, se encuentran en el centro (Figura 2.) debido a su relevancia en la interrelación con los factores económico, tecnológico, social y cultural.

El factor económico está relacionado con varios aspectos tales como: la mano de obra, los recursos naturales como la tierra arable, los bosques, los hidrocarburos y el capital monetario, respecto a lo cual se debe entender que, si este es mayor, habrá mayor capacidad productiva. Sin embargo, no es tan sencillo pensar únicamente en el capital monetario, ya que en el caso que los recursos naturales se agoten, no habrá mayor producción. Es así que, a partir de la relación entre el factor económico y los recursos naturales, se comenzó a hablar de la Economía Ambiental y la Economía Ecológica. De la primera se desprenden dos ramas: la economía de la contaminación y la economía de los recursos naturales, las cuales han buscado asignar valores de existencia y opción, tasas de explotación y valor de preservación. La segunda realiza un mayor esfuerzo al relacionar los procesos físicos y biológicos y la evaluación del riesgo del cambio ecológico con la economía (CEPAL, 2001).

El factor tecnológico se refiere a las herramientas con las que cuenta el ser humano para desarrollar un aprendizaje ecológico, y a las tecnologías que permiten alcanzar una producción más limpia; sin embargo, para este factor es necesario contar con capital monetario o con la voluntad del Gobierno para facilitar el acceso a la tecnología en zonas remotas. No es de esperarse que la tecnología signifique desarrollo y únicamente aspectos positivos con lo que respecta al aprovechamiento de los recursos naturales. La CEPAL (2001) plantea que

La rápida evolución de la ciencia y sobre todo de la tecnología abren una serie de interrogantes para el futuro. Se vive en una etapa del desarrollo de la humanidad que ha sido llamada de civilización tecnógena. Esta última pone en peligro la supervivencia de la especie, pues lleva implícita la desestabilización planetaria, conjuntamente con la incomunicación de los seres humanos, la manipulación de las conciencias y, en general, la deshumanización. Todo lo anterior pone en tela de juicio los valores de la ciencia y del progreso científico. (p. 25-26)

El factor social y el cultural están estrechamente relacionados. El social se asocia con el crecimiento demográfico que incide en la disponibilidad de los recursos naturales, con las acciones del ser humano que modifican los ecosistemas, y con los efectos ecológicos que influyen en la sociedad. Y el factor cultural corresponde a los valores fundados en el hogar, el consumismo, la tendencia degenerativa en lo físico, lo intelectual y lo emocional, lo cual ha moldeado el medio

ambiente según las necesidades del ser humano, para así convertirse en un sistema de adaptación (Ángel-Maya, 2013).

El desarrollo sostenible ha sido la interacción entre los factores ecológicos, sociales y económicos que permite que los recursos naturales que disfrutaban las generaciones presentes, puedan ser aprovechados por las generaciones futuras (ONU, 1987) (Figura 3.).

Más allá de la definición que se conoce mundialmente de *desarrollo sostenible*, es imperativo: combatir la pobreza, manejar la demanda de tal forma que no se exceda la capacidad de carga de la tierra, aplicar el principio de cautela o precaución³ para así garantizar el menor daño posible a los ecosistemas, y tomar en cuenta la huella ecológica, la cual será descrita más adelante.

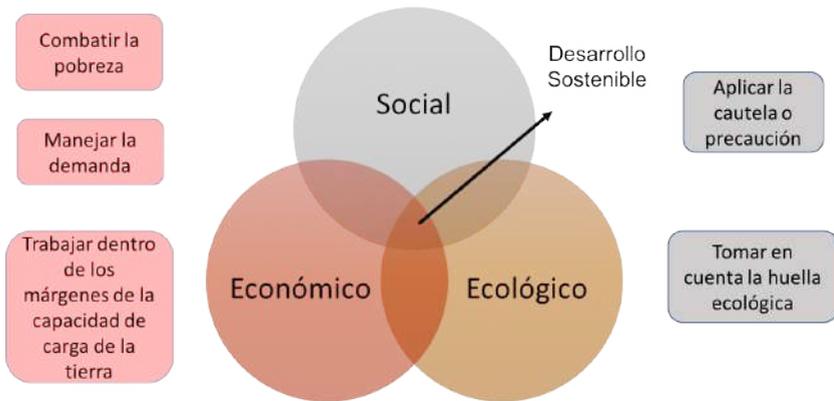


Figura 3. Esquema del desarrollo sostenible
Fuente: información tomada de ONU (1987)

A partir de la figura anterior, se asume que, para combatir la pobreza, el factor económico y social debe tener una relación equilibrada. Se ha visto que entre los ricos y los pobres existe una brecha más amplia, toda vez que el capital monetario se encuentra concentrado en unos pocos y la informalidad se acrecienta debido a la falta de oportunidades de empleo y a la inestabilidad de los sistemas económicos de un gran número de países. Por otro lado, para manejar la demanda de los recursos naturales y trabajar dentro de los márgenes de la capacidad de carga de la tierra, se debe pensar en un equilibrio entre el factor social y el ecológico, ya que es necesario que la población sea consciente

³Este principio fue abordado en la cumbre de Río de Janeiro en 1992, indica que los Estados no necesitan probar los daños ambientales para actuar y evitarlos. Igualmente, los países deben probar que las acciones que van a generar no producen daños ambientales.

que no todos los recursos naturales son renovables, y los que sí lo son, no son infinitos; razón por la cual, es tenido en cuenta el Principio de Precaución.

La huella ecológica conocida a nivel mundial como *The Ecological Footprint* en inglés, es la medición de los impactos que el ser humano ha dejado a su paso por la tierra. De esta manera, se puede estimar y proyectar cuántos “mundos” necesitaría una persona para satisfacer sus necesidades y su estilo de vida.

La huella ha emergido como la principal medida mundial de la demanda de la humanidad sobre la naturaleza. Mide cuánta área de la tierra y del agua requiere una población humana para producir el recurso que consume y absorber sus desechos usando la tecnología prevaleciente. (Global Footprint Network, s.f.)

Al entender que esa interrelación entre los componentes mencionados se presenta en una delimitación geográfica y que en esta se viven diferentes problemáticas provocadas por los diversos actores, surgen los instrumentos económicos, financieros (incentivos y sobretasas ambientales), jurídicos y normativos (leyes, decretos, etc.), y de planificación (planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo), los cuales hacen parte de la gestión ambiental (Figura 4). A esto se suman las licencias ambientales, los estudios de impacto ambiental, las tecnologías limpias, la educación ambiental y la participación ciudadana (Gutiérrez, 2005).

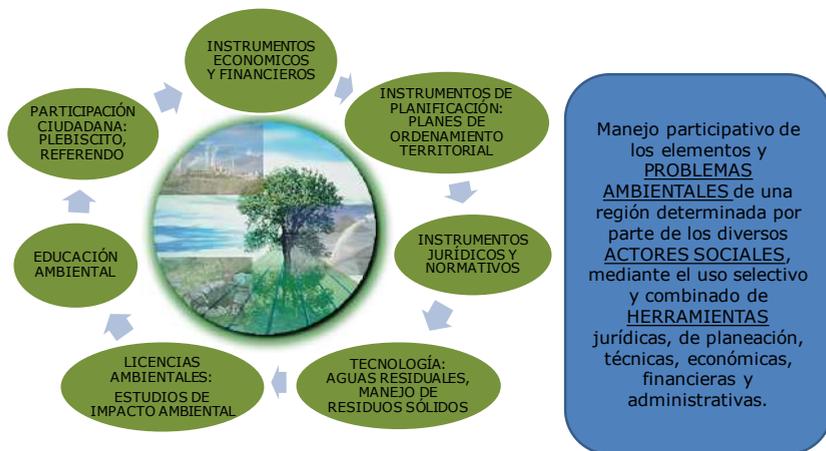


Figura 4. Instrumentos de la gestión ambiental
Fuente: Información tomada de Gutiérrez (2005)

La sostenibilidad ha sido abordada desde diferentes frentes: económico, social, institucional, ambiental; y diferentes escalas: nacional, regional y local. La sostenibilidad ambiental espera que haya un desarrollo sostenible donde confluyen armónicamente el factor social, el económico y el ambiental o ecológico a través del tiempo.

También, existen aproximaciones a la sostenibilidad desde los enfoques antropocéntrico y biocéntrico. En el primero, los ecosistemas son proveedores de recursos naturales y servicios eco-sistémicos y, a su vez, los receptores de los desechos, producto de las actividades antrópicas. Y en el segundo, se considera que los recursos naturales no podrán ser sustituidos por capital elaborado por el hombre y se entiende que la conservación del ecosistema es lo fundamental y prioritario. En ambos enfoques, se espera que las entradas y salidas del sistema se conserven en el tiempo o que las salidas (variables de estado) reflejen un rendimiento del sistema (Gallopín, 2003).

1.2 Dinámica de sistemas como herramienta para la sostenibilidad

Para entender la dinámica de sistemas, es necesario conocer sus generalidades y los conceptos relacionados. En este aparte se encontrarán no solo sus generalidades, sino los enfoques del Pensamiento Sistémico (ST por sus siglas en inglés), la Dinámica de Sistemas (SD por sus siglas en inglés), el Modelado de Sistemas Dinámicos y finalmente, los Sistemas socio-ecológicos en sí, entendidos como Sistemas Dinámicos Adaptativos, con el objetivo de comprender la relación hombre-naturaleza.

1.2.1 Generalidades sobre dinámica de sistemas

El modelado de SD es un soporte para la adecuada toma de decisiones, ya que permite integrar conocimiento científico y crear Sistemas para la toma de decisiones (DSS por las siglas en inglés de Decision Support Systems). Más concretamente, permite entender las consecuencias de ciertas decisiones o modificaciones del sistema, antes de que estas sean tomadas de forma real. El desarrollo de modelos de SD tiene dos falencias muy importantes: generalmente no se realiza una evaluación por parte del usuario final y la cantidad de datos de entrada implica una operación muy compleja (Tedeschi, Nicholson & Rich, 2011).

La SD puede contribuir a mejorar el manejo estratégico mediante el análisis de los siguientes factores: desempeño transigente, desempeño del manejo de recursos, flujo de recursos y cantidad de recursos. Así, la combinación de información histórica con conocimientos y manejo

estratégico permite evaluar la oportunidad de obtener resultados deseados (Tedeschi, Nicholson & Rich, 2011).

1.2.2 Pensamiento sistémico y dinámica de sistemas

El ST y la SD son enfoques distintos. El ST considera las organizaciones como sistemas integrados, complejos, en los cuales un cambio introducido en cierto momento puede expandirse y afectar otras variables, ya sea de manera instantánea o en el tiempo. La SD usa el ST para desarrollar modelos formales que involucran el comportamiento de las variables del sistema y describen la relación entre ellas. El ST es conceptual y no da como resultado ninguna simulación dinámica. El ST solo proporciona una pequeña parte de la comprensión del comportamiento dinámico del sistema. El ST es solo un primer paso en la comprensión de la dinámica del sistema. La mayor parte de la comprensión del sistema está relacionada con la estructuración del modelo basado en SD y las simulaciones basadas en dichos modelos. Algunas de las aplicaciones más comunes de SD son: modelado de características específicas de sistemas reales, y modelado, análisis y mejoramiento de sistemas (Tedeschi, Nicholson & Rich, 2011).

1.2.3 Modelado de sistemas dinámicos

Un sistema puede definirse por sus elementos y la relación entre ellos. Los sistemas son analizados con modelos, los cuales se basan en generalizaciones o suposiciones y están catalogados como modelos matemáticos (hacen las suposiciones más explícitas en formas matemáticas) y modelos mentales (creado por la mente del analista). Estos modelos pueden ser complementarios toda vez que el mental es la base del matemático, el cual, después de desarrollado y usado, puede estimular la mente para proveer mejoras (Tedeschi, Nicholson & Rich, 2011).

El SD es una subdivisión del modelado dinámico. Sterman (2000) expresa que el SD es un método que resalta el aprendizaje y la comprensión de sistemas complejos en el ámbito interdisciplinar, especialmente en áreas de matemáticas, física e ingeniería. Adicionalmente, Richardson (2001) citado por Tedeschi, Nicholson & Rich (2011), indica que el SD es de gran utilidad para la formulación y análisis de políticas, las cuales generan interdependencia, interacción mutua, realimentación de información y causalidad circular.

Finalmente, los sistemas dinámicos pueden ser de naturaleza económica, administrativa, social y ecológica (Tedeschi, Nicholson &

Rich, 2011) siendo estas dos últimas, de forma conjunta, de gran interés para el presente texto.

1.2.4 *Sistemas socio-ecológicos*

Los sistemas socio-ecológicos se componen de dos subsistemas, el social y el ecológico. El primero tiene que ver con la cultura, el comportamiento de los seres humanos, sus ideologías, sus valores y demás aspectos que influyen en las instituciones políticas, económicas y sociales. El segundo está relacionado con los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas, los ciclos hidrológicos y de nutrientes, el clima y demás procesos físicos y químicos de la biósfera. Así mismo, las interacciones de estos subsistemas son de orden global, regional y local, y se presentan tanto de forma vertical como horizontal (Castillo y Velázquez, 2015). Según esto es necesario entender que:

Los sistemas socio-ecológicos acoplados (SES) crecen, se adaptan, se transforman y se derrumban, a diferentes escalas las etapas de adaptación y colapso no son vistas como rutas alternativas, sino como parte de un ciclo que es impulsado por rápidos y lentos, y los grandes eventos que pueden generar un efecto cascada desde arriba de las escalas. (Lambin, 2005, p. 177)

La resiliencia es un concepto común en diferentes áreas al momento de hablar de cualquier sistema, en especial de los sistemas socio-ecológicos, Walker et al. (2006) indican que:

Aunque los componentes sociales y ecológicos sean identificables, no se pueden fácilmente descomponer con fines analíticos o prácticos. Señalan que estudios de caso y modelos indican que las patologías de manejo ocurren cuando los procesos ecológicos claves para los objetivos sociales y económicos pierden resiliencia. La pérdida de resiliencia ecológica pone a prueba la capacidad de adaptación de la dimensión humana del sistema. Presentan cinco patrones de cambios abruptos en los sistemas socio-ecológicos desde una perspectiva heurística: ciclo adaptativo, panarquía, resiliencia, adaptabilidad y transformación. Los dos primeros describen la dinámica de los sistemas entre y a través de escalas, mientras los últimos tres corresponden a propiedades del sistema socio-ecológico que determinan esas dinámicas. (citado en Castillo y Velázquez, 2015, p. 23)

El concepto de resiliencia ha sido abordado en gran medida en la gestión del riesgo, entendido este como $R = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$. Para que la amenaza se presente, debe haber un *objeto expuesto* (por

ejemplo, vidas humanas e infraestructura) y un fenómeno natural (por ejemplo, fuertes precipitaciones) que pueda llegar a generar afectación alguna a través de una inundación, o un deslizamiento, entre otros. Por otro lado, la vulnerabilidad está relacionada con la sensibilidad o la fragilidad de ese “objeto expuesto” frente a esa amenaza. Es allí donde la resiliencia toma lugar, pues mide el grado de recuperación de una comunidad o ecosistema frente a las afectaciones generadas por esa amenaza materializada (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2018).

Adicionalmente, Manyena, O’Bein, O’Keefe & Rose (2011) expresan que “La resiliencia ante desastres puede considerarse como la capacidad intrínseca de un sistema, comunidad o sociedad predispuesta a un choque o estrés para ‘rebotar’ y adaptarse para sobrevivir cambiando sus atributos no esenciales y reconstruyéndose” (p. 200).

1.2.5 Sistemas complejos adaptativos

Castillo y Velázquez (2015) plantearon que los sistemas socio-ecológicos deben ser vistos como sistemas complejos adaptativos, toda vez que son interdependientes y no lineales, lo cual indica que pueden auto-organizarse, adaptarse continuamente y cambiar de forma impredecible. Los mismos autores sugieren que la dinámica de sistemas debe contemplar los ciclos adaptativos y la panarquía. A partir de Holling y Gunderson (2002), Castillo y Velázquez (2015) indican que los ciclos adaptativos poseen cuatro fases: crecimiento (cambios lentos representados por las flechas cortas), conservación, liberación o destrucción creativa, y reorganización (cambios rápidos representados por las flechas largas).

Estas fases, al tiempo, poseen unas dimensiones que contemplan el potencial relacionando las posibilidades de transformación, la conectividad en cuanto a esa relación entre componentes del sistema y la resiliencia, la cual se atribuye a la capacidad de adaptación (Castillo y Velázquez, 2015).



Figura 5. Fases y dimensiones del ciclo adaptativo

Fuente: Pendall, Foster y Collel (2007) y Castillo y Velázquez, 2015.

La fase (γ) es considerada de crecimiento y cuenta con disponibilidad de recursos, estructura de acumulación y alta resiliencia (Walker et al., 2006). En este crecimiento, de acuerdo con la Figura 5, se presentan bajas posibilidades de transformación (potencial), baja interacción con el entorno (conectividad), y alta capacidad de adaptación (resiliencia). La fase (κ) de conservación, presenta tendencia alta a la transformación, un incremento en las conexiones del sistema, pero una baja capacidad de adaptación debido a su rigidez. En la fase (Ω) de liberación aparece la incertidumbre en el sistema, lo cual no permite ver con claridad qué sigue después, desencadenando bajas posibilidades de transformación, alta conexión entre componentes con tendencia a disminuir y baja capacidad de adaptación, pero con tendencia al aumento. Finalmente, en la fase (α) de reorganización, aumenta considerablemente la incertidumbre, lo que favorece ese alto potencial para generar transformaciones a partir de una reflexión interna y conlleva a una baja conectividad y a una alta capacidad de adaptación o resiliencia (Castillo y Velázquez, 2015).

La panarquía es una metáfora que plantea que las relaciones en un sistema se presentan a nivel intra e inter escalas y, a su vez, a pequeña escala o gran escala. En este orden de ideas, los cambios son más notorios y rápidos a pequeña escala, donde los actores pueden sobresalir y generar mayor influencia que a gran escala, donde los cambios requieren interacciones más complejas y períodos largos para obtener resultados (Pendall et al., 2007).

De acuerdo con lo anterior, reconocer la Dinámica de Sistemas (SD) como herramienta para comprender la relación hombre-naturaleza es un gran acierto, más aún cuando se interioriza que los sistemas socio-ecológicos son sistemas complejos adaptativos, los cuales se componen

de relaciones a diferentes escalas y que dependen del entorno para generar conectividad, resiliencia y potencial. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cuando se hace referencia a los sistemas y a las interrelaciones entre sus componentes, se debe incluir la incertidumbre y el caos, asumiendo que a partir de allí es necesario comenzar aún con más fuerza.

Para llevar esta información a un caso concreto, se aborda un modelo planteado en la Vereda Laguna Negra - Páramo de Letras en el año 2015. Teniendo en cuenta los diagramas de subsistemas, se analizaron los siguientes aspectos: económicos y de productividad, de ganado y de degradación del humedal (Figura 6.).



Figura 6. Diagrama de subsistemas

- Aspectos económicos y de productividad: contiene variables relacionadas con la producción de leche, la producción de carne, ingresos por venta de leche e ingresos por venta de ganado.
- Aspectos de ganado: contiene variables relacionadas con las edades de las terneras y las vacas, la generación de nuevos críos machos y hembras, y la generación de ejemplares para venta.
- Aspectos de degradación del humedal: contiene variables relacionadas con el tamaño del área no intervenida de humedal y calidad del agua del humedal. Es afectado por el número de ejemplares de ganado mayores de un año de edad.

De acuerdo con los resultados del estudio, existe una relación estrecha entre los aspectos económicos y de productividad asociados al sistema ganadero y al deterioro de los humedales. El margen es un elemento central y crucial en la realimentación, porque con base en el margen de ganancia, el propietario decide sobre la mejora de la calidad de los pastos y la compra y aplicación de sal y vitaminas. A su vez, estas dos variables influyen: i) la productividad de las vacas, con la consecuente influencia en la producción de leche, y ii) el peso de cada vaca o ternera.

1.2.6 Diagramas de lazo causal

Los diagramas de lazo causal aportan información sobre: la relación entre las variables; el valor positivo o negativo para la influencia de cada variable sobre las demás; y las variables endógenas y exógenas. La información contenida en el diagrama de lazo causal está contenida en el diagrama de niveles y flujos, este último aporta la misma información del diagrama de lazo causal, pero, además, proporciona información sobre cuáles son las variables tipo nivel y sobre cómo se conforman los campos vectoriales (Sterman, 2000).

1.2.7 Diagrama de niveles y flujos

Teniendo en cuenta el caso anterior en la Vereda Laguna Negra, para realizar el mapa de niveles y flujos, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Área de superficie de naturaleza y área de superficie para ganadería. Estas dos áreas se comportan como señal escalón, pues, según moradores de la zona, cuando se ocupa un terreno para ganadería, se hace todo de una vez, no por partes. Por tanto, a estas dos áreas no se las considera como variables de estado, sino como constantes.

Área de papa. De acuerdo con los resultados del estudio, el área sembrada de papa es área de ganadería, que es puesta en etapa de descanso o recuperación mediante cultivo de papa. Por tanto, no se considera el área de siembra de papa como variable de estado, ni como variable intermedia. Sin embargo, es importante considerar que un área sembrada con papa se puede ver más afectada por fertilizantes, y un área con ganado, puede en mayor medida compactar el suelo.

Retomando los aspectos económicos mencionados anteriormente en el diagrama de subsistemas (Figura 6.), se muestran a continuación en un diagrama de niveles y flujos utilizando el software Vensim (Figura 7).

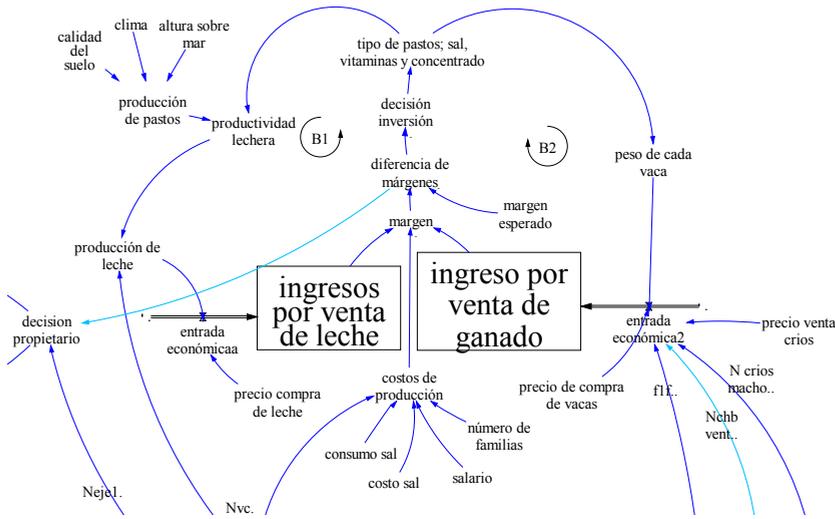


Figura 7. Diagrama de niveles y flujos de aspectos económicos.

En este diagrama de flujo se pueden evidenciar las entradas y salidas de los ingresos por venta de leche y por venta de ganado y las incidencias entre variables, lo cual es de gran utilidad para analizar aspectos identificados como de gran relevancia en la dinámica de los ecosistemas.

Para concluir este aparte, se retoma que un sistema socio-ecológico es un "sistema integrado de ecosistemas y sociedad humana con retroalimentaciones recíprocas e interdependencias. El concepto hace énfasis en la perspectiva humana en la naturaleza. Es el sistema en que interactúan los componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, entre otros" (MADS, 2012, p. 118).

La dinámica de sistemas viene siendo entonces, una herramienta interesante de sostenibilidad ambiental, una vez haya sido entendida a partir de todo lo mencionado anteriormente. Es importante comprender que no todo es perfecto y que en la naturaleza se presentan ciclos en los cuales existe el caos y luego la estabilidad debido a factores internos y externos que no siempre pueden ser controlados.

En razón a que en este sistema interactúan tanto los ecosistemas como la sociedad humana, en el siguiente aparte se analizarán las diferentes herramientas utilizadas para obtener una participación activa por parte de las comunidades frente a los servicios ecosistémicos que se presentan.

1.3 Participación social como herramienta de sostenibilidad para conocer la relación hombre-naturaleza

Existen diferentes técnicas y herramientas utilizadas en diversos proyectos socio-ambientales, las cuales facilitan el acercamiento entre los expertos y la comunidad base, siendo esta última muy importante para que un proceso se desarrolle de la mejor manera. Es el caso de los diálogos de saberes, los mapas parlantes, las entrevistas semiestructuradas, la bola de nieve, entre otras, las cuales son utilizadas en la Investigación Acción Participativa (IAP). Para Colmenares (2012), en la IAP:

[...] los actores sociales se convierten en investigadores activos, participando en la identificación de las necesidades o los potenciales problemas por investigar, en la recolección de información, en la toma de decisiones, en los procesos de reflexión y acción. En cuanto a los procedimientos, se comparten discusiones focalizadas, observaciones participantes, foros, talleres, mesas de discusión, entre otros. (p. 106)

Según lo anterior, el conocimiento basado en la acción permite a los protagonistas de los procesos, a partir de la realidad cotidiana compleja y dialéctica, generar propuestas innovadoras y que transformen lo encontrado en primera instancia en determinado contexto (Colmenares, 2012).

Geilfus (1997) propone la Escalera de Participación, a partir de la cual, los actores de algún proceso tienen varios estadios: 1) Pasividad: las personas solo participan cuando se les informa y no inciden en el proyecto ni en su implementación; 2) Suministro de información: las personas responden preguntas de una encuesta e ignoran qué trato se le dará a la información; 3) Participación por consulta: agentes externos consultan a la comunidad y escuchan su punto de vista; sin embargo, no permiten que esta sea parte de las decisiones finales; 4) Participación por incentivos: las personas participan suministrando espacios para ensayos y otros recursos, con el objetivo de recibir a cambio incentivos y beneficios; no obstante, continúan sin incidir determinadamente en las decisiones finales; 5) Participación funcional: las personas forman grupos de trabajo para dar respuesta a objetivos concretos del proyecto. No inciden directamente en la formulación, pero sí en el monitoreo y ajuste de actividades; 6) Participación interactiva: la comunidad base participa en la formulación, implementación y evaluación del proyecto, lo cual permite generar procesos de enseñanza-aprendizaje sistemáticos y estructurados; 7) Auto-desarrollo: la comunidad está más apropiada de sus procesos, así que no necesitan intervención externa para participar.

Las entrevistas sencillas con preguntas abiertas se utilizan generalmente para obtener un diálogo menos acartonado con las comunidades base que “no tienen conocimiento técnico”. Se indica entre comillas para entender que ese tipo de conocimiento, que en algunas ocasiones sí se presenta, pero no se reconoce, no es tan necesario para entender las realidades en un contexto determinado. Sin embargo, ese tipo de entrevistas suelen generar un sesgo, en caso que el entrevistador no posea amplio conocimiento acerca de los antecedentes y de las necesidades o del contexto en el que se encuentra la población. Pretty & Vodouhe (1997) consideran que existen diferentes tipos de sesgos o parcialidades a partir de cuatro criterios: espacialidad, tiempo, personas, y el mismo proyecto. El primero está relacionado con que el entrevistador puede escoger la mejor ubicación de la población en cuanto acceso y seguridad, lo cual sugiere que allí se encontrarán las personas con recursos económicos medios o altos y que se dejará la otra parte de la población de bajos recursos por fuera de la muestra. El segundo se refiere a escoger el mejor tiempo en el que las vías son transitables y las personas del campo se encuentran laborando. El tercero se relaciona con el nivel de educación, donde se considera que los profesionales pueden tener mejor relación con los líderes rurales que otras personas que no hayan estudiado. Finalmente, el último sesgo (de proyecto) está ligado a que las personas del lugar escogido para la encuesta pueden mostrar la tecnología o las mejores condiciones que no necesariamente representan la realidad y la constante generando una impresión errada.

Los diálogos de saberes pueden reducir el sesgo, permitiendo una conexión interesante con la comunidad; allí, esta es protagonista y comparte sus vivencias diarias en el territorio. Es claro que los expertos pueden tener una visión teórica de las dinámicas, pero la realidad solo puede ser entendida a través de los testimonios de los pobladores. Es indudable que se genera un aprendizaje mutuo de las partes y un intercambio de percepciones válidas del tema que se está tratando. Por medio de estos espacios se vio la necesidad de trascender de la gobernabilidad a la gobernanza, por ejemplo, respecto a lo forestal o al agua. La gobernabilidad está relacionada con la expedición de normas y políticas públicas y la toma de decisiones por parte de las instituciones, y la gobernanza se refiere al empoderamiento y participación de las comunidades en tales procesos.

De acuerdo con Cornell et al. (2013), el diálogo de saberes se encuentra relacionado con los sistemas de conocimiento, los cuales se “componen de agentes, prácticas e instituciones que organizan la producción, transferencia y uso del conocimiento” (p. 20). Igualmente, los diálogos de saberes dan paso para que se ejerza la gobernanza en todo el sentido

de la palabra, toda vez que la comunidad es protagonista y puede plantear sus ideas, actividades y proyectos relacionados con un tema particular.

Martínez (2013) plantea que para abordar la ecología urbana es importante contemplar dos dimensiones: la física y la social. La primera está relacionada con el territorio, la movilidad y las trayectorias, y la segunda con las posiciones en la estructura social, estatus, grupos y símbolos. Es entonces cuando la cartografía social toma lugar.

Según Fernández, Ávila y Taylor (2007), los insumos empleados para obtener la cartografía convencional están sujetos al software que se ofrece en el mercado, cuya variedad marca una tendencia, y a los procesos de diversos investigadores. Estos autores indican que el acceso a dicha cartografía puede limitarse debido a los costos, a la censura o protección de la información, a los intereses políticos y demás factores ajenos al usuario. Para la cartografía convencional y los SIG, la participación de la comunidad y de las organizaciones de base no era necesaria, ya que la información estandarizada suministrada por los programas tecnológicos parecía ser suficiente.

Sin embargo, se ha dado una combinación entre la cartografía convencional y la participativa. “El SIG participativo nace con la idea de descentralizar y democratizar la construcción y desarrollo del sistema, buscando equidad entre las personas que son afectadas por la información que se genera mediante su incorporación en la toma de decisiones” (Fernández et al., 2007, p. 3). En este orden de ideas, la metodología de los mapas parlantes, también conocida como mapas sociales o cartografía social, comenzó a ser utilizada en diferentes países y en diversos contextos.

Desde el ámbito de las humanidades y las ciencias sociales en el desarrollo de la cartografía social, el territorio debe ser visto no solo desde sus particularidades geoespaciales, ambientales y estructurales, sino también a partir de las particularidades culturales, sociales e históricas que claramente son identificadas por los pobladores (Moreno et al., 2015). Según lo anterior,

[...] la cartografía social permite construir un conocimiento integral del territorio, utilizando instrumentos que pueden ser técnicos y vivenciales. De este modo, ella sirve para construir conocimiento de manera colectiva, pues posibilita un escenario en el que acontece un acercamiento de la comunidad a su espacio geográfico, socioeconómico e histórico cultural. (Moreno et al., 2015 p. 13)

Por otro lado, para Gorostiaga (2017):

La cartografía social (CS) es un enfoque metodológico basado en el análisis textual y en la representación de fenómenos sociales a través de mapas que reinscriben y estructuran una multiplicidad de perspectivas o formas de ver estos fenómenos. Tiene su origen y desarrollo en el campo de la educación comparada – aunque puede ser aplicable a otras áreas del conocimiento – a partir de los trabajos de Rolland Paulston y sus colegas en la Universidad de Pittsburgh desde principios de la década de 1990 (Paulston, 1995; Liebman; Paulston, 1994). (p. 882)

Para el caso de identificación y priorización de servicios ecosistémicos en el contexto de los humedales, existen textos en los cuales se generalizan; sin embargo, en campo es donde se evidencia la importancia y frecuencia de uso por parte de la comunidad. Son los pobladores quienes dan a conocer su percepción frente a los servicios de aprovisionamiento, de regulación y soporte y los culturales o recreativos.

Los servicios de aprovisionamiento se definen como: “Los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles, mascotas, entre otros” (MADS, 2012, obtenido de MEA, 2005, p. 32); los servicios de regulación y soporte se identifican como: “Los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua” (p. 36). Y finalmente, los servicios culturales son definidos como: “Los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas” (p. 37).

Otras metodologías de participación social que han sido utilizadas en proyectos de diferente naturaleza son la Metodología del Marco Lógico (MML) y la Matriz DOFA o FODA. Se presentan en este capítulo ya que se enfocan en la sostenibilidad social, económica, ambiental, toda vez que permiten la planificación, diseño, evaluación y seguimiento de proyectos y programas que se estén emprendiendo.

La MML propone la construcción de un árbol de problemas y un árbol de objetivos. En el árbol de problemas se busca identificar un problema central, que va en el tronco, sus causas directas e indirectas, en las raíces, y las consecuencias o efectos del mismo, en las ramas. Una vez se tiene el árbol de problemas, se construye el árbol de objetivos, donde las causas se convierten en los medios de solución o en el cómo,

el problema central en la solución a la que se pretende llegar y, por último, las consecuencias o efectos, se convierten en los fines o en el para qué. Para obtener los árboles, es necesario generar una lluvia de ideas con los actores interesados, los cuales plantean sus puntos de vista y necesidades. En este sentido, la MML:

Puede utilizarse en todas las etapas del proyecto: en la identificación y valoración de actividades que encajen en el marco de los programas país, en la preparación del diseño de los proyectos de manera sistemática y lógica, en la valoración del diseño de los proyectos, en la implementación de los proyectos aprobados y en el monitoreo, revisión y evaluación del progreso y desempeño de los proyectos. (Ortegón et al., 2005, p. 13)

Por otra parte, la matriz DOFA o FODA está orientada a las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas a las cuales se enfrenta el desarrollo de un proyecto de cualquier naturaleza o el funcionamiento de una empresa. Las debilidades y las fortalezas se encuentran relacionadas con factores internos o intrínsecos, los cuales pueden ser abordados de forma más “sencilla”, toda vez que únicamente dependen de las acciones y la organización de los actores directos. Las oportunidades y amenazas, por el contrario, tienen que ver con factores externos o extrínsecos que difícilmente pueden ser controlados, ya que no dependen de las gestiones de los actores directos, sino que se ven influenciados por el medio y los actores indirectos como la competencia, la dinámica del mercado, el alza de los precios, la globalización, entre otros. La matriz DOFA permite la relación entre los factores internos y los factores externos. Algunas combinaciones pueden ser Fortalezas-Oportunidades (FO), Fortalezas-Amenazas (FA), Debilidades-Oportunidades (DO), Debilidades-Amenazas (DA).

Las metodologías con carácter social y participativo mencionadas anteriormente, pueden ser reconocidas como herramientas de sostenibilidad debido a que proveen una visión actual y posteriormente, futurista de diferentes procesos realizados con la comunidad; además, se comportan como un sistema, tienen entradas que alimentan un proceso y salidas que se convierten en productos. Estas metodologías aún se mantienen vigentes a pesar de la dinámica tan cambiante de la sociedad y sus externalidades.

Según Gallopín (2003), la sostenibilidad busca, algunas veces, cambiar el sistema manteniendo parte de los productos, o, por el contrario, cambiar el sistema drásticamente para mejorar considerablemente los productos. Posee también miradas antropocéntricas o biocéntricas que contemplan “factores determinantes de la sostenibilidad, incluidas la disponibilidad de recursos, la adaptabilidad/flexibilidad, la

homeostasis, la capacidad de respuesta, la auto dependencia (self-reliance) y el empoderamiento” (p. 5).

1.4 Aplicación de herramientas de participación social en el Sector El Ocho y Páramo de Letras

Algunas herramientas fueron aplicadas con el fin de identificar, analizar y finalmente, valorar los servicios ecosistémicos de forma participativa y constructiva con la comunidad. En este aparte se hará un recuento general de cuáles han sido las herramientas utilizadas en El Ocho y Páramo de Letras, plasmadas por Flórez, Alzate y Rincón (2014).

El Ocho y Páramo de Letras se encuentra en la vía de Manizales a Bogotá con un desvío en el Kilómetro 27 hacia el Parque Nacional Natural Los Nevados, lugar conocido como El Ocho y Páramo de Letras. Se encuentra a una altura entre los 3.000 y 3.500 msnm y en jurisdicción de los municipios de Manizales y Villamaría. Se evidencia un clima de páramo sub-andino con una precipitación promedio de 1.736 mm y una humedad relativa del 83% (Fundación Pangea, 2007). Posee un suelo conformado por depósitos de arena y cenizas volcánicas provenientes del Volcán Nevado del Ruiz y materia orgánica de lenta descomposición (Corpocaldas y Fundación Pangea, 2008).

1.4.1 Zonificación participativa de los humedales

Con el fin de zonificar de una manera participativa, dinámica y visual los humedales de El Ocho y Páramo de Letras, se utilizaron mapas parlantes o cartografía social.

Inicialmente, se realizó una recopilación de la información secundaria relacionada con ecosistemas de alta montaña, específicamente el páramo andino de Letras, los humedales altoandinos, mapas parlantes, zonificación ambiental y normatividad vigente de la zona de páramo. Lo anterior en función del estado actual del espacio y uso del territorio por parte de la población campesina, residente en el sector El Ocho y Páramo de Letras.

Posteriormente, se elaboraron los mapas parlantes con los campesinos, propietarios y administradores de predios en el sector El Ocho y Páramo de Letras. Después de una charla con estos actores, se identificó el uso actual del territorio a partir de preguntas como ¿en qué utilizamos nuestro territorio? De esta manera, se plasmó gráficamente la percepción de los actores sobre su territorio, lo cual permitió fortalecer su identidad como campesinos (Flórez, Alzate y Rincón, 2014).

Tomando como referencia los planos catastrales de los predios, se ubicaron en los mapas los linderos comunales y los hitos geográficos más importantes, teniendo en cuenta la inclusión de los siguientes criterios: relictos de bosque altoandino; humedales; zonas donde se ubican los nacimientos de fuentes hídricas y las porciones superiores de las microcuencas hidrográficas, particularmente aquellas que abastecen los acueductos municipales; humedales que se encuentren deteriorados por procesos de relleno o desecación, así como las zonas que lo rodean cuando han sido desprovistas de la vegetación original; sectores que presentan topografía escarpada y donde el mantenimiento de la cobertura vegetal es imprescindible para evitar la ocurrencia de procesos erosivos; sectores fuertemente intervenidos por actividades productivas. (Flórez et al., 2014, p. 278)

De acuerdo con Corpocaldas y la Fundación Pangea (2007), las riberas de ríos y quebradas pertenecen a las zonas de conservación como lo indica la normatividad ambiental colombiana. Por esta razón, en los mapas de zonificación resultado de la investigación, dichos espacios se identificaron y se denominaron por aparte como Zonas de Conservación de Márgenes Hídricas. Es importante aclarar que dichas zonas comúnmente no son respetadas debido a la expansión de las actividades agrícolas y pecuarias; sin embargo, fueron tenidas en cuenta en la zonificación.

Después de la elaboración de los mapas, se llevó a cabo un recorrido por las zonas para comprobar los sectores y zonas de tratamiento, y finalmente, se georreferenciaron las correcciones, y se pintó y coloreó en el mapa lo evidenciado en campo (Flórez et al., 2014).

La comunidad campesina plasmó en los mapas parlantes su visión del estado en el que desean que su territorio se encuentre en los próximos años e incorporó las esperanzas y sueños alrededor del aprovechamiento del recurso suelo que es su principal fuente de sustento para desarrollar sus actividades productivas y sus ideas de progreso frente al desarrollo integral de la zona (Flórez et al., 2014).

Al momento de conocer y analizar los mapas parlantes del presente y del futuro donde los administradores de los predios plasmaron su percepción frente al manejo e importancia del ecosistema de páramo, se pudo integrar la normatividad vigente del ecosistema de alta montaña para realizar un análisis sobre el cumplimiento de las normas por parte de los propietarios de las fincas ubicadas en el sector El Ocho, Páramo de Letras, tomando como base el Plan de Manejo de los Humedales del Departamento de Caldas, realizado por Corpocaldas en el año 2008.

La digitalización y procesamiento de la información llevada a cabo en la construcción de los mapas fue realizada con el software AutoCAD-2010 (Flórez et al., 2014).



Figura 8. Ubicación por predio de los usos del suelo

La identificación participativa de los usos actuales y de la proyección futura en los humedales se hizo de acuerdo con la información registrada sobre el uso y estado del territorio, mediante la aplicación de la herramienta metodológica de mapas parlantes del presente y la proyección futura. El siguiente mapa (Figura 9) es el resultado de uno de predios seleccionados como objeto de estudio.

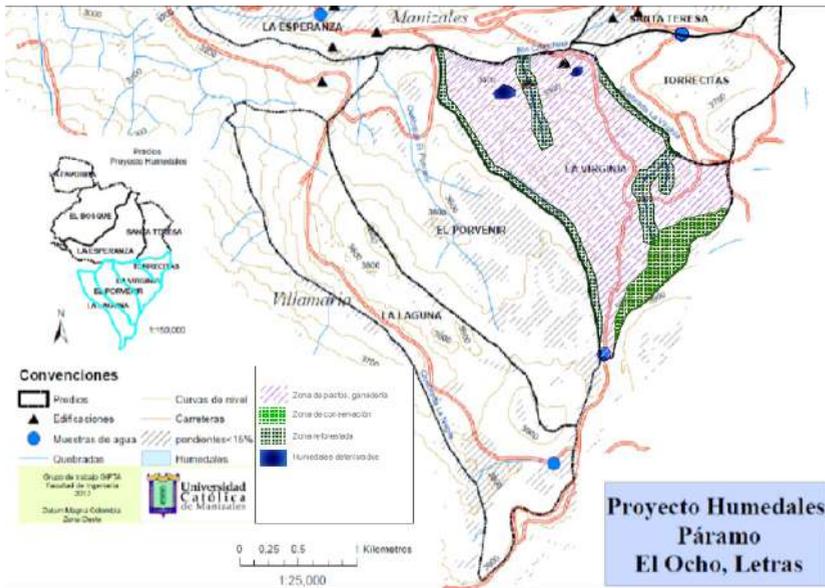


Figura 9. Mapa La Virginia. Zonificación ambiental participativa sobre uso y estado actual del territorio.

1.4.2 Identificación participativa del potencial florístico y turístico asociados a los humedales altoandinos

Para el análisis de los servicios ecosistémicos se decidió trabajar sobre el potencial florístico y turístico de la zona de forma participativa, debido a que son unos de los temas poco explorados en El Ocho y Páramo de Letras por parte del Grupo de Investigación de la Universidad Católica de Manizales.

Primero, se realizó una revisión bibliográfica de información secundaria principalmente en bibliotecas de universidades, en especial en la Universidad de Caldas, ya que esta cuenta con programas como Biología Tropical y Agronomía, entidades como Parques Nacionales, Corporación Autónoma Regional de Caldas-CORPOCALDAS, entre otras. Después de la revisión bibliográfica pertinente para la investigación, se inició la recolección de información en lugares como el centro de abastos de la ciudad de Manizales, pues se tenía conocimiento que allí presuntamente se comercializaba flora del Páramo. Adicionalmente, a partir de visitas al área de estudio, se formó una base de datos con información primaria.

Una vez recolectada la información, se realizó un análisis de la misma y se construyó el instrumento investigativo para ser aplicado en campo (Flórez et al., 2014).

En esta etapa se diseñó y aplicó una herramienta con el fin de conocer cuáles son los beneficios que la comunidad obtiene del ecosistema. La herramienta contiene información de las dinámicas entre los habitantes del sector, el ecosistema y las externalidades. (Flórez et al., 2014, p. 279)

Las entrevistas fueron realizadas en los sectores de Laguna Negra, Hacienda La Laguna, Torrecitas, Hacienda La Esperanza, La Virginia, Santa Teresa, Letras, La Esmeralda, y La Favorita, al igual que residentes y transeúntes de la zona. A partir de su aplicación, se estableció la relación habitante-ecosistema y se determinaron los beneficios que la comunidad obtiene de los servicios ecosistémicos (Flórez et al., 2014). Adicionalmente,

Se realizaron entrevistas a tres de los mayores comercializadores, que son tiendas naturistas. Se encontró que realizan comercio de mejorana, romero y mosca de páramo. Esto es favorecido por el alto precio de las especies endémicas del ecosistema de páramo. A su vez, esto ha propiciado su remplazo mediante plantas cultivadas que tienen las mismas propiedades. También se manifestó que hasta hace algunos años se comercializaba el frailejón de manera activa. (Flórez et al., 2014, p. 287)

Con respecto al potencial turístico, se realizó una revisión bibliográfica de información secundaria en bibliotecas y entidades e instituciones de índole privado y público que poseían información relevante sobre el turismo en el Páramo de Letras y aportaban de manera significativa al proceso de investigación.

Se realizaron entrevistas en el sector, para averiguar: la evolución del turismo en la zona; las expectativas de la comunidad y los niveles de satisfacción relacionados con las actividades turísticas allí presentes; el grado de interés y disposición por desarrollar el turismo en la zona; las preocupaciones de la comunidad con respecto al turismo; el inventario de la infraestructura relacionada con alojamiento (tipo, capacidad, localización), restaurantes (de dónde provienen los alimentos), atracciones existentes (tipo, situación, número de turistas, precio); circuitos de comercialización; promoción y comercialización del turismo en la zona, incluyendo los medios utilizados; actores encargados de esta comercialización; información proporcionada en dicha comercialización; inventario del transporte y medios disponibles; y otras instalaciones. (Flórez et al., 2014, p. 280)

Adicionalmente, se realizaron entrevistas a pobladores de la ciudad de Manizales, con el fin de conocer con qué frecuencia viajan al Páramo de Letras y qué actividades realizan allí. Finalmente, se realizó la sistematización y el análisis de la información recolectada y sus pertinentes conclusiones.

Para la determinación del potencial turístico, se adoptó la siguiente ficha propuesta por Lapierre (2010), en la cual, además de realizar un inventario de las características relacionadas con el turismo, se valoraron la vulnerabilidad de esas características frente a la presión del hombre y la capacidad potencial de contribuir al desarrollo turístico de la zona.

Tabla 1.

Instrumento para la determinación del potencial turístico

Cuantificación	Capacidad	Vulnerabilidad
<p>Características Naturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paisaje característico y atractivo • Especies o hábitat emblemáticos • Otro tipo de fauna poco común o representativa • Variedad de ecosistemas • Lagos, ríos, acantilados, etc. • Áreas protegidas (reservas naturales, parques nacionales) 		
<p>Características culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Patrimonio construido • Edificios típicos • Pequeños elementos de patrimonio como capillas, fuentes, etc. • Objetos de patrimonio (herramientas, prendas de vestir, etc.) • Tradiciones • Gastronomía • Acontecimientos y festivales 		
<p>Zona en general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paisaje de la zona • Usos principales del terreno • Atracciones potenciales • Clima 		
<p>Partes interesadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organismos públicos • Grupos de interés • Empresas turísticas • Residentes locales 		
<p>Infraestructura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alojamiento, restaurantes, atracciones • Acceso y proximidad a ciudades, aeropuertos u otros destinos • Transporte dentro del mismo destino • Otras instalaciones como tiendas • Canales de información y comercialización existentes 		
<p>Contexto jurídico y político</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategia turística nacional o local • Prioridades políticas • Leyes de planificación y zonificación según intereses económicos • Legislación medioambiental 		
<p>Demanda turística</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de recursos existentes • Estudio de los segmentos del mercado • Evaluación comparativa de otros destinos 		

En resumen, para el desarrollo de todo el proceso metodológico de este caso de estudio se desarrollaron las siguientes técnicas e instrumentos:

- Visitas de campo
- Fichas de seguimiento
- Entrevistas semiestructuradas
- Talleres con grupos focales
- Técnicas para desarrollar en los talleres
- Identificación de soluciones locales o introducidas
- Auto-diagnóstico y análisis de campo para abordar soluciones locales
- Matriz DOFA
- Sistemas de información geográfica

1.5 Conclusiones

En la primera parte de este capítulo se tuvieron en cuenta diferentes acontecimientos ambientales de gran relevancia para comprender la relación hombre-naturaleza. Las cumbres internacionales a partir de 1972 fueron determinantes para entender que no se podía asumir esta relación a partir de una visión antropocéntrica (hombre como centro de todo) o biocéntrica (la naturaleza como centro de todo) a ultranza. La Cumbre de Río de Janeiro de 1992, a través de sus resultados como la Agenda 21, la Declaración de Bosques, la Convención de Cambio Climático y el Convenio de la Diversidad Biológica, permitió dar unos lineamientos para planificar un poco mejor el manejo de los recursos naturales por parte de los mandatarios a nivel local. Los conceptos de medio ambiente, desarrollo sostenible, gestión ambiental y huella ecológica, surgieron de las cumbres internacionales, dando pautas para comprender con mayor claridad, la relación hombre-naturaleza.

Dicha relación también se abordó a partir de la dinámica de sistemas, toda vez que esta se desarrolla en los ecosistemas, los cuales tienen entradas, procesos y salidas. Se planteó, por medio de algunos autores, que en los sistemas pueden evidenciarse etapas de explotación y crecimiento, conservación, liberación y reorganización, a las cuales se relacionan conceptos como resiliencia, capacidad de adaptación, conectividad, transformación, entre otras.

De acuerdo con las herramientas de sostenibilidad para entender la relación hombre-naturaleza, se tomaron en cuenta diversos instrumentos de participación social que sirven para que las comunidades conozcan los servicios ecosistémicos de los cuales se han beneficiado sin ser muy conscientes de ello. Los mapas parlantes o la cartografía social es uno de los instrumentos más representativos, ya que a través de este se puede

interactuar con la comunidad y esta, a su vez, tiene la oportunidad de reconocer su territorio espacialmente y los elementos del ecosistema que allí se encuentran, como se pudo evidenciar en el sector El Ocho y Páramo de Letras.

Referencias

- Ángel-Maya, A. (2003). *La Diosa Némesis: desarrollo sostenible o cambio cultural*. Medellín: Editorial Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado de: http://www.augustoangelmaya.org/images/obra/La_Diosa_Nemesis.pdf
- Ángel-Maya, A. (2013). El reto de la vida. *Ecosistema y cultura, Una introducción al estudio del medio ambiente*. Segunda edición. Recuperado de: http://www.augustoangelmaya.org/images/obra/el_reto_de_la_vida.pdf
- Cabrales, O. y Márquez, F. (2016). El buen vivir y el no consumo como modelos de desarrollo desde la perspectiva de la bioética global. *Revista Latinoamericana de Bioética*, 17(1), 168-183. doi: <http://dx.doi.org/10.18359/rlbi.1726>.
- Castillo, L. y Velázquez, D. (2015). Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio- ecológicos y resiliencia. *Revista Quivera*, 17(2), 11-32.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) (2018). *Guía metodológica para el análisis de la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos de la cuenca del río Chinchiná, Colombia*. Guayaquil, Ecuador: CIIFEN.
- Colmenares, A. (2012). Investigación-acción participativa: una metodología integradora del conocimiento y la acción. *Voces y silencios*, 3(1), 102.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2001). *La dimensión ambiental en el desarrollo de América Latina*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/2262>
- Congreso de la República de la República Colombia (1979). Ley 9 de 1979, por medio de la cual se expide la Ley Sanitaria Nacional. *Diario Oficial No. 35193*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

- Congreso de la República (1993). Ley 99 de 1993, por medio de la cual se expide la Ley General Ambiental. *Diario Oficial No. 41146*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Cornell S., Berkhout, F, Tuinstra, W., Tabara, D., Jäger, J., Chabay, I. et al. (2013). Opening up knowledge systems for better responses to global environmental change. *Environmental Science and Policy*, (28), 60-70.
- Corpocaldas y Fundación Pangea (2008). *Plan de manejo complejo de humedales altoandinos, departamento de Caldas*. Recuperado de: <ftp://sig.manizales.gov.co/pot%20manizales/POT%20Acuerdo%200958%20de%202017/ANEXO%20EES/PMA%20Corpocaldas/Plan%20de%20Manejo%20Humedales%20Altoandinos%20.pdf>
- Flórez, G., Alzate, Á. y Rincón, A. (2014). Participación comunitaria para la construcción de lineamientos de uso y conservación de humedales altoandinos. Experiencia piloto en el sector El ocho y Páramo de Letras. *Revista Luna Azul*, (38), 274-296. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n38/n38a16.pdf>
- Fernández, M., Ávila, A. y Taylor, H. (2007). *SIG-P y experiencias de cartografía social en la ciudad de Bogotá (Colombia)*. Recuperado de: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Sig/42.pdf>
- Fundación Pangea. (2007). *Diagnóstico de los humedales altoandinos de Caldas*. Recuperado de: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/640/Diagn%C3%B3stico%20Humedales%20Altonandinos.pdf>
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos CEPAL. Santiago: Naciones Unidas. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5763/S033120_es%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Geilfus, F. (1997). *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación*. San Salvador: IICA.

- Global ecological footprint (sf). *The ecological footprint measures*. Recuperado de: <http://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>
- Gorostiaga, J. M. (2017). Perspectivismo y cartografía social: Aportes a la educación comparada. *Educação e Realidade*, 42(3), 877-898. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-623665366>
- Gutiérrez, A. (2005). Gestión Ambiental: ¿estrategia para el desarrollo sostenible? *Revista Trabajo Social*, (1), 85-109. Recuperado de: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/3477/1/GutierrezAlberto_gestionambientalestrategiadesarrollosostenible.pdf
- Holling, C. & Gunderson, L. (2002). *Resilience and adaptive cycles*. In Holling, C., Gunderson, L. (Eds.). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems* (25-62). EEUU: Island Press.
- Lambin, E. (2005). Conditions for sustainability of human-environment systems: Information, motivation, and capacity. *Global environmental change*, (15), 177.
- Lapierre, A. (2010). *Turismo sostenible basado en el patrimonio natural y cultural*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/32575608/Turismo-sostenible-basado-en-el-patrimonio-natural-y-cultural>
- Machín, F. O., Fernández, E., González, F. y Bárcenas, S. L. (2014). Información sociedad-naturaleza y enfoque de sostenibilidad. *Revista Electrónica de Medioambiente*, 15(2), 13-27. Recuperado de: <https://search.proquest.com/docview/1650948009?accountid=36216>
- Manyena, S., O'Bein, G., O'Keefe, P. & Rose, J. (2011). Disaster resilience: ¿a bounce back or bounce forward ability? *Local Environment*, 16(5), 417-424.
- Martínez, E. (2013). La investigación ecológica de las comunidades locales. *EMPIRIA Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, (25), 173-194.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos*. Recuperado de: http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_espa%C3%B1ol_web.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (s.f.). *Tesaurus Ambiental para Colombia*. Centro de Referencia y Documentación. Recuperado de: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/tesauro_ambiental/naveg.htm

Moreno, G., Rojas, L., Fagua, A., Sanabria, H., Sanabria, M. y Rey, N. (2015). Subjetividades y territorialidades: una aproximación desde la cartografía social en el contexto colombiano. *Psicogente*, 18(33), 206-225.

Olaria, C., (1983). *El neolítico etapa inicial de la economía de producción: liberalización o sometimiento del hombre*. Departamento de Prehistoria y Arqueología-Colegio Universitario de Castellón-Universidad de Valencia. Recuperado de: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/40509?show=full>

Organización de Naciones Unidas (ONU) (1973). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*. Nueva York. Recuperado de: <https://www.dipublico.org/conferencias/mediohumano/A-CONF.48-14-REV.1.pdf>

ONU. (1987). Desarrollo y Cooperación Económica Internacional: Medio Ambiente. *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Recuperado de: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_Lecture_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

ONU. (1992). *Agenda 21. Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Río de Janeiro. Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/index.htm>.

ONU. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.

ONU. (2002). *Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo*. Recuperado de: https://unctad.org/es/Docs/aconf199d20_sp.pdf

ONU. (2012). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible. Río+20*. Recuperado de: <http://www.un.org/es/sustainablefuture/about.shtml>

- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio- Informe de 2015*. Recuperado de: http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- ONU. y CEPAL. (2015). *Agenda 2030 y los Objetivos de desarrollo sostenible. Una oportunidad para América Latina y El Caribe*. Santiago de Chile. Recuperado de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334_es.pdf
- Ortegon, E., Pacheco, J. y Prieto, A. (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Santiago: CEPAL.
- Pendall, R., Foster, K. & Cowell, M. (2007). *Resilience and regions: building understanding of the metaphor*. Berkeley: Working paper of the Institute of urban and regional development.
- Presidencia de la República (1974). Por medio del cual se expide el Decreto-Ley 2811 de 1974. Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. *Diario Oficial No. 34243*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>
- Pretty, J. & Vodouhe, S. (1997). Using rapid or participatory rural appraisal. In Swanson, B., Bentz, R. & Sofranco, A. (Eds.). *Improving agricultural extension* (47-55). Roma: FAO.
- Raskin, P. (2006). *World lines. Pathways, pivots, and the global future*. Boston: Tellus Institute.
- Sandoval, J. y Liévano, J. (Comps.). (2012). *Colombia, 20 años siguiendo la Agenda 21*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-años-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Massachusetts Institute of Technology & McGraw-Hill. Available in: https://reedjoe.files.wordpress.com/2016/10/lo_sterman_business_dynamics_1051022.pdf
- Stolk, M., Verweij, P., Stuij, M., Baker, C. y Oosterberg, W. (2006). *Valoración socioeconómica de los humedales en América Latina y el Caribe*. Países Bajos: Wetlands International.

Tedeschi, L., Nicholson, C. & Rich, E. (2011). Using Systems Dynamics modeling approach to develop management tools for animal production with emphasis on small ruminants. *Small ruminant research*, 98(1-3), 102-110.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2018). *Environmental Management System Glossary*. Available in: https://iaspub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&vocabName=EMS%20Glossary

Walker, B., Gunderson, L., Kinzig, A., Folke, C., Steve, C. & Schultz, L. (2006). A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1), 13.



*Humedales sector de Río Blanco
Fotografía por Julio César Parra Meindieta*

C A P Í T U L O

2

Capítulo 2. Índices e indicadores de evaluación de los ecosistemas de humedales

2.1 Indicadores hidrológicos, físico químicos, biológicos y meteorológicos para el estudio de los humedales

Los indicadores son herramientas clave para la evaluación de los servicios ecosistémicos. Para los humedales es importante considerar tanto los indicadores ambientales, como los antrópicos que permitan conocer las interacciones y las reacciones sistémicas entre el ecosistema.

Una de las mejores formas de analizar los ecosistemas de humedales es realizando una clasificación preliminar de los diferentes componentes asociados al ecosistema; en este sentido, se debe definir cuáles se considerarán para el suelo, el agua, el clima y la vegetación.

Autores como Pinilla et al. (2010) han definido diferentes formas de estudiar los humedales, desde luego, los aspectos hidrológicos, litológicos e hidroquímicos hacen parte de los más importantes al momento de abordar este tipo de indicadores (Ortega et al., 2010).

Existen otros aspectos como los hidrogeomorfológicos, los cuales se encargan de estudiar relaciones más funcionales entre los humedales; Ortega et al. (2010) plantean que se ha utilizado un índice hidrogeomorfológico en el cual se evalúan tres aspectos, principalmente: ocupación del humedal en el paisaje, la hidrología y la hidrodinámica.

Por las funciones que cumplen los humedales se han estudiado otro tipo de indicadores, tales como la acumulación o reciclado de nutrientes, especialmente de nitratos y fosfatos generados en la fertilización de los sistemas productivos aledaños a estos ecosistemas. Las plantas aledañas a los humedales contribuyen a una depuración de los sedimentos, por lo que en los últimos años esta función natural ha servido de ejemplo para el tratamiento de aguas residuales a partir de humedales artificiales que pueden desempeñar la misma función (Convención Ramsar, 2010).

De los indicadores más estudiados, los principales son los fisicoquímicos, tanto del suelo como del agua, destacándose así para el estudio de humedales parámetros del componente hídrico como el caudal superficial, el nivel freático, los niveles subterráneos, la altura de escurrimiento y el nivel hidrométrico. Frente a los parámetros físico químicos del agua se han utilizado indicadores como la temperatura, el pH, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, turbidez, entre otros. Por

otro lado, se han estudiado indicadores biológicos relacionados con la concentración de clorofila y carbono orgánico concentrado en el agua.

En el componente terrestre, la vegetación ha sido la más estudiada al momento de abordar el estado de los humedales, puesto que constituye uno de los mejores indicadores del comportamiento del ecosistema; en este sentido, el gobierno de Chile (Ahumada et al., 2011) analizó en el país las formaciones vegetales, superficie por formación vegetal y cobertura específica por formación vegetacional. Castro (2009) utilizó las diatomeas perifíticas como indicador del estado de los humedales en la ciudad de Bogotá, estudio con el cual se elaboró una guía metodológica para la evaluación de este ecosistema.

El suelo igualmente, es un componentes indispensable en los estudios de los humedales, pues se constituye en el soporte fundamental del desarrollo de la vida alrededor del humedal, es determinante tanto para la calidad de agua como para la capacidad de infiltración de la misma y para el desarrollo y diversidad de la vegetación. En este sentido, algunos indicadores determinantes en el componente suelo son: la materia orgánica, la densidad aparente, el pH, y el porcentaje de presencia de elementos mayores y menores, los cuales pueden determinar las concentraciones de nitratos y fosfatos que pueden causar eutrofización en los humedales o pueden contribuir al equilibrio y desarrollo de la vegetación. Otros de los indicadores estudiados en este componente han sido los procesos erosivos y la compactación del suelo. Cuba es un referente en el estudio de indicadores edáficos, no precisamente asociados a humedales, pero sí para la determinación de la producción agrícola (Tolón et al., 2009).

Los indicadores meteorológicos también son de gran importancia al evaluar los humedales, pues se constituyen en referentes indispensables especialmente al estudiar la disminución o aumento de los caudales o espejos de agua de los humedales según su tipología, de este modo, la temperatura y la precipitación se convierten en los indicadores más influyentes en el estado de los humedales.

Global de superficies climáticas Worldclim (Hijmans et al., 2005) determina 19 variables para el análisis bioclimático y edafológico para evaluar el estado de los humedales. Dentro de las bioclimáticas se han considerado: temperatura media anual, estacionalidad de la temperatura, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, precipitación anual, precipitación del mes más frío y precipitación del mes más húmedo; estas variables se han evaluado principalmente en zona de páramo por la fuerte influencia que tiene sobre las variaciones extremas de clima.

Otros aspectos mencionados en esta guía son los edáficos y morfológicos, dentro de los cuales se consideran: floraciones superficiales asociadas a las últimas glaciaciones, y dentro de las características edáficas se ha considerado la taxonomía del suelo como indicador importante para el estudio del humedal.

2.2 Antropización como indicador en la dinámica de los humedales altoandinos

El ser humano desarrolla diferentes actividades asociadas a los ecosistemas de humedales, especialmente en su afán de ampliar la frontera agrícola y pecuaria, por ello, se han establecido metodologías diversas para analizar las características antrópicas más influyentes en la dinámica de los ecosistemas. Esta antropización puede causar alteraciones principalmente en las condiciones físicas, químicas y biológicas de los humedales.

Es importante mencionar que el conocimiento local es la base en las investigaciones etnoecológicas, y en la consolidación del desarrollo rural cuando se trata de tales contextos (Berlin, 1974). Uno de los indicadores importantes al analizar los humedales es la cultura, donde se debe tener en cuenta que su pérdida cuando hay relación con estos ecosistemas, se ha visto representada en códigos morales y tradiciones que hacen que se asuman tendencias de comportamiento adecuado o inadecuado de conservación del ecosistema (Ramsar, 2008).

Es de anotar que unido a lo anterior, uno de los aspectos importantes para la evaluación de los procesos culturales alrededor de los humedales es el hallazgo de los restos arqueológicos que permiten entender el tipo de asentamientos humanos que se han presentado ancestralmente en estos lugares y el tipo de actividades realizadas por los mismos (Ramsar 2008). Los estudios sobre humedales requieren entender los procesos, usos, e historias de las culturas que los habitan, además, las formas de pensar sobre la herencia ecosistémica que dejan a las demás generaciones (Flórez et al., 2015).

Otro de los indicadores del estado de los humedales es el estudio de los sistemas productivos o las actividades humanas desarrolladas alrededor de estos ecosistemas, entendiendo que debe existir un equilibrio entre las necesidades humanas y las condiciones de sostenibilidad, que garantice la permanencia del ecosistema en el tiempo.

Los indicadores de equilibrio territorial también han sido analizados, donde se tiene en cuenta para su resultado un diagnóstico medio ambiental, el estado económico y el estado social. Este tipo de índices se

elaboran con el fin de realizar seguimientos a los impactos ambientales ocasionados en los humedales. Foronda et al. (2010) construyeron este índice para analizar el efecto ambiental en los humedales de la presencia de cuatro comunidades europeas.

Antequera (2005) en su estudio determinó indicadores, tanto sociales como económicos y ambientales, involucrando aspectos de gestión y conservación, con el fin de analizar el equilibrio natural frente a la acción antrópica.

2.3 Metodología para la determinación de indicadores en humedales

En este libro se plantea la metodología utilizada en diferentes procesos investigativos realizados por los autores, que conllevó a la determinación de los indicadores para la evaluación de los ecosistemas de los humedales altoandinos.

2.3.1 Definición de los sitios

El primer paso para la determinación de los indicadores de un ecosistema es definir y delimitar claramente la zona de estudio, conocer los límites del humedal es determinante para el estudio del mismo.

De acuerdo con las autoridades ambientales en Colombia, una de las formas de estudiar los humedales es agrupándolos por complejos, considerando para este libro que un complejo es un conjunto de humedales que se encuentra ubicado dentro de una misma condición geográfica, para el caso de los estudios realizados por los autores, la ubicación geográfica a nivel de cuenca se ha convertido en un parámetro clave para la delimitación de los complejos. En el momento de definir los sitios de estudio (o de muestreo) dentro de los complejos es importante considerar diferentes criterios, dentro de ellos se pueden mencionar:

- La accesibilidad para la toma de datos: se refiere a las condiciones viales, restricciones de orden público y permisos de propietarios dependiendo de si el ecosistema se encuentra en predios públicos o privados.
- El grado de deterioro del ecosistema: se refiere a las condiciones de conservación en que se encuentra el humedal, estas condiciones de deterioro están representadas en la disminución de los espejos de agua de los humedales o secamiento de los mismos, entre otros.

- La tipología de los humedales: es importante considerar si el humedal que se está analizando es de tipo ribereño (humedales adyacentes a ríos), lacustre (asociados a lagos) o palustre (asociados a pantanos); en este mismo sentido, las variables que se analicen dentro de cada uno deben relacionarse con su tipología. Es posible que los resultados de los indicadores de un humedal ribereño sean totalmente diferentes a un humedal lacustre, por lo que en el momento de establecer diferencias frente al estado de conservación se requiere considerar la tipología como un condicionante importante.
- Las características particulares de cada sitio: estas características se refieren a la ubicación, sistemas productivos aledaños, especies endémicas encontradas, entre otras que pueden generar una característica diferenciadora de los demás humedales.
- La importancia para la comunidad: los factores antrópicos son determinantes en el momento de definir un sitio de estudio, es posible que aquellos humedales que se encuentran en un estado más frágil tengan mejor receptividad por parte de la comunidad hacia su conservación. Es decir, si la comunidad no lo considera importante, lo que significa que es un sitio que debe ser intervenido porque su deterioro ante la indiferencia puede ser mucho más rápido, sin embargo, si existe interés por parte de la comunidad los procesos podrán ser mucho más eficientes y sostenibles en el tiempo. El anterior planteamiento se hace con base en el caso de estudio que se presenta al finalizar este capítulo.
- La afectación antrópica o el grado de conservación que presente el ecosistema: la antropización es un factor fundamental, generalmente se da por la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria que impacta de manera significativa los humedales; esta antropización depende generalmente de la tenencia de la tierra. Se espera más conservación en los predios, cuya propiedad es pública, ya sea por la inversión realizada para tal fin o por la ausencia de sistemas productivos que han permitido procesos de regeneración natural en los ecosistemas.
- Las funciones y servicios ecosistémicos: se recomienda que se consideren como criterios importantes en el momento de priorizar los sitios a ser intervenidos en el cumplimiento de funciones de regulación de fuentes hídricas o zonas de recarga importantes tanto a nivel local como regional. Las funciones de regulación permiten la sostenibilidad y permanencia del agua, lo que favorecerá a la vez que se sostengan los demás servicios ecosistémicos.

La definición del sitio a intervenir también depende del objetivo que se persigue con la realización del estudio y el tipo de indicadores que serán medidos en el momento de su evaluación, por eso es de gran importancia conocer como primera medida qué se quiere evaluar en el ecosistema y para qué.

Existen diferentes metodologías para la identificación o definición de los sitios que se quieren evaluar; desde hace algunos años se ha utilizado la teledetección como una herramienta clave en el momento de identificar de forma rápida estos ecosistemas, especialmente cuando se refiere a medianas y grandes extensiones. Las tecnologías geoespaciales y la interpretación de diferentes imágenes, ya sean ópticas o de otro tipo, permiten realizar una delimitación del ecosistema muy cercana a la escala real.

Un aspecto que es importante considerar en el momento de definir los sitios a evaluar es la claridad frente a la población (para el caso, cantidad total de humedales o complejos de humedales) y la determinación de la muestra, para lo cual se pueden considerar procesos estadísticos o simplemente utilizar los criterios de selección, ambos criterios son válidos.

2.3.2 Planificación del trabajo de campo

Una vez definidos los sitios, se deberá proceder al desplazamiento en campo, allí, a través de la cartografía generada en el proceso inicial, se procede al reconocimiento de cada sitio considerando los siguientes aspectos en la planificación del trabajo de campo.

Preparación de instrumentos. Es necesario considerar todos los detalles para la realización del trabajo de campo, en este sentido se deben considerar las herramientas e instrumentos que serán utilizados en el desarrollo de la evaluación, tales como: cartografía, listas de chequeo, matrices de campo, encuestas, diálogos de saberes, matrices de ponderación y todas aquellas que se relacionan en el primer capítulo de este libro.

También es importante considerar que si el trabajo de campo requiere de la toma de muestras tanto de agua como de suelo, vegetación o fauna, se requiere de diferentes instrumentos dependiendo del tipo de muestreo, por ejemplo: potenciómetro, turbidímetro, oxidímetro, beakers, frascos, entre otros elementos de laboratorio que puedan llevarse a campo, así como cintas métricas, cintas de delimitación de parcelas, bolsas, etc., y es importante considerar siempre el GPS como herramienta fundamental para el desarrollo del trabajo.

Cuando se trata de aplicación de instrumentos sociales es muy importante considerar el permiso previo de los encuestados; si se consideran registros fotográficos en contextos sociales se debe contar con un consentimiento informado, donde la comunidad autorice no solo que se les tomen las fotografías, sino también que se puedan utilizar para publicaciones si es el caso.

El contacto previo con la comunidad para realizar el trabajo de campo permite generar confianza entre ambas partes, especialmente en las zonas más alejadas y con prioridad si se tienen problemas de orden público, el apoyo de las diferentes autoridades ambientales es fundamental para este acercamiento.

2.3.3 Determinación de variables

La determinación de las variables a medir en el momento de trabajar con indicadores ambientales depende de varios criterios que van desde la disponibilidad económica para realizar las mediciones y desplazamientos, hasta las posibilidades técnicas para realizar el estudio. Igualmente, es muy importante el análisis de la información secundaria, la cual permite dar un soporte teórico de trabajos precedentes, así como de las respuestas que han tenido los diferentes estudios en el momento de su realización y análisis; estos criterios pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Revisión de información secundaria. El análisis de la información secundaria permite conocer cuáles variables o indicadores han sido más utilizados para determinar el estado de conservación de un ecosistema, para este caso en los humedales, esta revisión permite no solo hacer una priorización, sino también conocer cuáles han sido utilizadas y descartadas por su poca funcionalidad. En este orden de ideas, esta revisión contribuye a realizar una buena discusión de los resultados obtenidos por los indicadores. La revisión bibliográfica es muy importante además para encontrar los referentes de comparación para determinar si los resultados que se están obteniendo se encuentran dentro o fuera de los rangos óptimos.
- Disponibilidad de recursos económicos. Cuando se trata de indicadores ambientales para determinar estados de conservación en humedales, son múltiples las variables a medir, sin embargo, la cantidad de réplicas y el número de indicadores se ve limitado por la disponibilidad de recursos económicos; entre menos variables o indicadores puedan ser medidos el índice de estado de conservación o deterioro puede ser más impreciso, por esto, es muy

importante que se haga una buena selección con los indicadores más representativos y que brinden más información frente a lo que se persigue. Es necesario considerar los costos en que se debe incurrir tanto en el trabajo de campo, como en la realización de trabajo con la comunidad y en los análisis de laboratorio, igualmente se requiere cuantificar el valor de los equipos que se llevarán a campo para las diferentes mediciones.

- Factibilidad técnica. Este es otro aspecto que se debe considerar, pues es importante tener claridad si se en cuenta tanto con los profesionales idóneos, como con el conocimiento del tema y con las herramientas e instrumentos necesarios para la medición de los indicadores.
- Validación con expertos. En la determinación de los indicadores es importante considerar la opinión de los expertos en cada uno de los componentes que se vaya a estudiar, en este sentido, se podrá concretar con mayor claridad cuáles pueden ser más eficientes en el momento de evaluar el estado de conservación de un ecosistema.
- Priorización de variables más representativas. Una vez se cuenta con la lista de indicadores por cada uno de los componentes a evaluar, determinados con los anteriores criterios, se procede a realizar una priorización de las variables, para lo cual se puede utilizar una matriz de priorización; para la calificación de esta igualmente se puede considerar la participación de expertos que conduzcan a una visión objetiva de cuáles indicadores pueden ser los mejores.

2.3.4 Medicion de las variables

Para la medición de variables es importante considerar todos los aspectos a tener en cuenta en la toma de muestras; para cada uno de los componentes (agua, suelo, vegetación, fauna, entre otras) existen reglas claras en la toma de los datos.

Para el componente suelo y para el componente agua los indicadores tienen su propio protocolo de recolección de muestras, por ejemplo, en el caso de los indicadores fisicoquímicos de los suelos, se deben realizar calicatas que permitan la recolección de la muestra entre 25 y 50 cm de profundidad para ser recolectadas en bolsas ziploc debidamente selladas.

Cuando se trata de indicadores relacionados con la diversidad de flora, es preciso realizar las respectivas parcelas de medición que pueden

variar en tamaño y forma de acuerdo con el tipo de formación vegetal que se quiera analizar; de igual manera, es importante determinar qué tipo de índices son los que se van a determinar al momento de realizar las mediciones, pues existen diferentes tipos, entre ellos: índices de riqueza, índices de abundancia, índices de frecuencia, índices de biodiversidad, índices de valor de importancia, entre otros. El índice de Margalef es uno de los más utilizados para determinar la riqueza de las especies.

2.3.5 Análisis de resultados

Existen varios momentos en el análisis de resultados. Los análisis de datos de campo a través de los análisis de laboratorios de suelos, de aguas o de vegetación si es el caso; es importante considerar que todos los análisis deben realizarse en laboratorios certificados con el fin de garantizar la confiabilidad de los datos.

Una vez obtenidos los análisis de laboratorios se procede a realizar la respectiva sistematización de los datos y el análisis de los mismos, para lo cual se pueden utilizar diferentes paquetes estadísticos dependiendo de la cantidad de datos obtenidos.

2.3.6 Pasos para la determinación de un índice

Existen diferentes metodologías para la determinación de un índice, Pinilla (2010) ha trabajado un índice del estado limnológico para los humedales en Bogotá. De igual forma, en el transcurso de la investigación asociada a este libro, se construyó un índice de estado de conservación de los humedales.

Como se mencionó anteriormente, la selección de los parámetros es un aspecto fundamental en el momento de elaborar este tipo de índices. Una vez seleccionados (de acuerdo con toda la descripción anterior) se procede a realizar los siguientes pasos.

Análisis multivariado. Este análisis se hace a partir de la utilización de algún software estadístico, es importante establecer las correlaciones entre los diferentes indicadores estudiados, así como determinar los componentes principales. Con esto se reduce la dimensión de un grupo de datos que se pueden utilizar igualmente para realizar modelos predictivos. De la misma manera, los análisis de cluster en este tipo de estudios permiten articular los datos en grupos homogéneos.

Estandarización de los indicadores. Se realiza considerando los rangos de referencia óptimos para el fin que se está buscando, en este caso se deben

tomar datos de referencia óptimos para el estado de conservación de los humedales. Algunas veces es difícil encontrar estos parámetros de referencia para fines de conservación, por lo cual es necesario acudir a los datos más aproximados posibles. Para esta estandarización algunos autores como Velásquez, (2007) han trabajado la fórmula de *más es mejor, más es peor y dato en el rango óptimo; más es mejor* significa que a mayor proporción encontrada del indicador, la estandarización estará más cerca a 1 (1 como valor máximo de conservación, 0 como valor mínimo de conservación).

Costrucción de redegramas. Una vez se tienen estandarizados los datos de cada uno de los indicadores medidos se procede a realizar los redegramas, los cuales de forma gráfica dan un estado general del comportamiento del indicador frente a cada sitio estudiado.

Definición de los pesos. Pueden existir dos formas de realizar la asignación de los pesos, una, con los datos estandarizados, se realiza una nueva corrida de los mismos utilizando algún software, a los cuales se les aplica las comunalidades para la definición de los pesos de cada indicador para posteriormente ser ponderados y definir el índice.

Cuando se realiza por expertos, es el pánel de expertos el que se encarga de asignar estos pesos a cada indicador estudiado para posteriormente realizar la ponderación.

Ponderación. La ponderación se puede realizar utilizando excel donde se hace una relación del dato estandarizado por el porcentaje obtenido en la asignación de los pesos y su relación con los demás parámetros.

Normalización de los datos. En la normalización es importante definir unos rangos entre 0 y 1, sobre los cuales se manifieste y se haga una relación del significado de cada rango.

Tabla 2.

Rangos para la normalización de los datos utilizados según Pinilla (2010)

Valor del estado limnológico	Significado
0 - 0,4	Estado limnológico crítico
0. 41 - 0. 6	Estado limnológico aceptable
0. 61 - 0.8	Estado limnológico adecuado
0.81 - 1	Estado limnológico óptimo

2.4 Caso de estudio en la determinación de indicadores e índices, Parte Alta de la cuenca del río Chinchiná. complejo de humedales Parque Nacional Natural Los Nevados⁴

Para el análisis de los indicadores ambientales determinantes en la conservación de los humedales, se procedió a realizar una delimitación de aquellos con menor y mayor grado de afectación antrópica, relacionada con la influencia de los cultivos agrícolas y pecuarios; y por otro lado, con los procesos de conservación realizados en la zona para establecer comparación de tendencias frente a su estado de conservación.

En este desarrollo y considerando el proceso metodológico que se describió anteriormente, se tuvo en cuenta la revisión de literatura para rescatar algunos autores que han estudiado el tema, entre ellos, Pinilla (2010) y el gobierno de Chile (Ahumada et al., 2011) proponen trabajar con diferentes indicadores involucrando algunos físicos, químicos, biológicos y, además, algunas variables de tipo meteorológico como la evapotranspiración y la precipitación. Otros autores importantes son Pérez y Rodríguez (2008), quienes plantean que los parámetros importantes para la evaluación de humedales son: “porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), concentración de sólidos suspendidos (SS), potencial de hidrógeno (pH), concentración de nitratos (NO₃), concentración de fósforo total (P total), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (Cta.) y temperatura (T)” (p. 1916).

Para la determinación de los sitios de muestreo, se tuvieron en cuenta las zonas que aparecen en la Tabla 3.

⁴Este estudio de caso fue realizado con el apoyo de las asistentes de investigación Claudia Lorena Zuleta y Natalia Gallego Gálvez.

Tabla 3.
Zonas de muestreo

Número de punto	Nombre	Altura sobre el nivel del mar	Coordenadas	Sistema productivo asociado
1	Martinica	3500	X= 75°37' 82,78 Y=5° 0,6' 47,49''	Zona dedicada a la conservación, con algunas plantaciones de Pino
2	Romerales	2500	X= 75°25' 52,220'' Y= 4°59' 17,514''	Zona con espacios de conservación con influencia de ganadería
3	California	2500	X= 75°26' 30,493'' Y= 4°59'1,866''	Zona con espacios de conservación con influencia de minería
4	Cajones	2500	X= 75°29' 18,978'' Y= 5°3' 39,122''	Zona dedicada a la conservación
5	Chinchiná	2500	X= 75°23' 4,375'' Y=5°1' 16,706''	Zona dedicada a la conservación
6	El Nueve	3700	X= 75°19'59,279'' Y= 5°2'28,312''	Zona en proceso de conservación con influencia cultivos de papa
7	La Laguna	3800	X=75°19' 59,578'' Y= 5°2' 14,200''	Zona dedicada a la conservación y el turismo
8	Casa Larga	3200	X= 75°23' 10,071'' Y=5°6' 5,335''	Zona con espacios de conservación con influencia de ganadería
9	Río Blanco	3600	X: 75°36' 57,28'' Y: 5°11'65,06''	Zona dedicada a la conservación, con indicios (retiro de pastoreo desde el año 2006)

Selección y priorización de variables. Para la selección y priorización de las variables, se procedió a ajustar una tabla de fronteras, donde se determinaron las variables endógenas, exógenas y excluidas.

Se trata de una tabla que lista estas tres variables, puede ser en tres columnas. Estas variables pueden ser factores económicos, sociales, técnicos, ambientales, que influyen en el problema. La utilidad de esta tabla es que permite el aprendizaje del trabajo, permite mejorar el trabajo realizado, permite que el modelo sea utilizado en situaciones para las cuales es adecuado. (Sterman, 2000, p. 97)

Se definieron unos criterios de priorización y posteriormente, se procedió a efectuar la ponderación de los criterios con base en las variables identificadas previamente.

A continuación, se presentan las variables climáticas, de suelo, agua, y antropogénicas que influyen en el comportamiento de los humedales altoandinos, las cuales fueron sistematizadas de acuerdo con la literatura encontrada:

Tabla 4.

Listado de variables, climáticas, de suelo, antropogénicas de vegetación y de agua consideradas para el estudio

Variables	Indicadores
Variables climáticas	Precipitación
	Temperatura
	Humedad relativa
	Vientos
	Presión atmosférica
	Radiación solar
Variables de suelo	Textura
	Estructura
	Materia orgánica
	Densidad aparente
	Índice de respiración de microorganismos
	PH
	Fertilidad (N, K, Ca, Mg, Al, P)
Erosión	

	Fragmentación del paisaje
Variables vegetación	Flora Índices de vegetación Caudal superficial Nivel freático DQO
Variables de agua	DBO PH Temperatura Cantidad de nitratos y fosfatos Ampliación de la frontera agrícola y pecuaria Procesos de labranza de la tierra Ganadería en fuertes pendientes Uso de agroquímicos Quemas Historia del humedal Agricultura: precios y demanda de productos agrícolas, costos Ganadería: precios y demanda de leche Prácticas agrícolas y pecuarias que afectan al humedal
Variables antropogénicas	Piscicultura artesanal Autoconsumo del humedal Sistemas de riego Desecación y canalización de aguas Disposición de residuos Tala de árboles en zonas boscosas aledañas Quemas Utilización de químicos: fertilizantes, plaguicidas y fungicidas Percepción de la comunidad y conocimiento frente a la normatividad Nivel de cumplimiento en la norma Nivel de exigencia

2.4.1 Matriz de priorización de variables trabajadas

Para la determinación de las variables trabajadas se realizó una matriz de priorización donde se identificaron las variables representadas en el cuadro anterior, según los siguientes criterios de decisión:

- Que fueran recomendados por los referentes teóricos.
- Que haya disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos.
- Que fueran técnicamente viables de medir.
- Que se cuente con representatividad para evaluar el humedal.

En las tablas 5 a 9 aparece la priorización de los indicadores de acuerdo con la asignación de valores que realizaron los expertos en cada área.

Tabla 5.

Matriz de priorización de indicadores climáticos

Variables	Indicadores	Que fueran recomendados por los referentes teóricos	Disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos	Que fueran técnicamente viables de medir/disponibilidad de información	Representatividad para evaluar el humedal	Promedio
Variabes climáticas	Precipitación	5	4	4	5	4,5
	Temperatura	5	4	4	5	4,5
	Humedad relativa	5	4	4	5	4,5
	Vientos	2	4	4	1	2,75
	Presión atmosférica	2	4	4	1	2,75
	Radiación solar	2	4	4	4	3,75

Nota: los valores presentes en la tabla corresponden al valor de importancia ponderado que los expertos le dieron a cada variable.

En el análisis de las variables climáticas, se puede observar que las variables relacionadas con precipitación, temperatura y humedad relativa son las que poseen mayor puntaje, teniendo en cuenta que son

altamente representativos para el estudio del humedal. Los vientos y la presión atmosférica no fueron factores muy representativos para la evaluación, sin embargo, se reconoce que los primeros tienen una gran importancia, ya que pueden acelerar procesos de pérdida de suelos y generar daños en la vegetación y la radiación solar, aunque es representativa para evaluar el humedal, no es muy mencionada por los autores consultados, por lo tanto, en esta priorización se deja claro que los parámetros a evaluar son: precipitación, temperatura y humedad relativa.

Tabla 6.
Matriz de priorización indicadores asociados al suelo

Variable	Indicadores	Que fueran recomendados por los referentes teóricos	Disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos	Que fueran técnicamente viables de medir/disponibilidad de información	Representatividad para evaluar el humedal	Promedio
VARIABLES DE SUELO	Textura	5	5	5	5	5
	Estructura	5	5	5	5	5
	Materia orgánica	5	5	5	5	5
	Densidad aparente	5	5	5	5	5
	Índice de respiración de microorganismos	5	2	2	5	3,5
	pH	5	5	5	5	5
	Fertilidad (N, K, Ca, Mg, Al, P)	5	5	5	5	5
	Erosión	5	2	2	3	3

Frente a las variables de suelo todos los factores tuvieron un alto valor de importancia con excepción de la erosión y el índice de respiración de microorganismos, los cuales tuvieron un bajo puntaje principalmente por la falta de disponibilidad de los recursos y la falta de disponibilidad de la información; en este sentido, se priorizan los siguientes indicadores para la medición: textura, estructura, densidad aparente, materia orgánica, PH y fertilidad del suelo.

Tabla 7.
Matriz de priorización indicadores de vegetación

Variables	Indicador	Que fueran recomendados por los referentes teóricos	Disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos	Que fueran técnicamente viables de medir/disponibilidad de información	Representatividad para evaluar el humedal	Promedio
Variables vegetación	Fragmentación del paisaje	5	5	4	5	4,75
	Flora, índices de riqueza	5	2	5	5	4,25
	Índices de vegetación	4	2	3	5	3,50

Respecto a la flora, los índices de vegetación tuvieron el menor puntaje dada la disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos y la disponibilidad de la información; sin embargo, se considera que tiene una alta representatividad para el estudio de humedales.

Tabla 8.
Matriz de priorización indicadores de agua

Variables	Indicadores	Que fueran recomendados por los referentes teóricos	Disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos	Que fueran técnicamente viables de medir /disponibilidad de información	Representatividad para evaluar el humedal	Promedio
Variables de agua	Caudal superficial	5	5	5	5	5
	Nivel freático	5	1	1	5	3
	DQO	4	3	5	5	4,25
	Turbidez	5	5	5	4	4,7
	Oxígeno disuelto	5	4	5	5	4,7
	pH	5	5	5	5	5
	Temperatura	5	5	5	5	5

Dentro de las variables relacionadas con el componente hídrico el que menor puntaje obtuvo fue el nivel freático, que, aunque tiene un alto valor de importancia para el humedal, para efectos de este proyecto, no se contaba con los recursos económicos necesarios para su estimación, tampoco se contaba con un soporte técnico que lo permitiera y no había disponibilidad de la información. De acuerdo con el análisis de priorización, se considera que los parámetros a evaluar son: caudal superficial, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y pH.

Tabla 9.
Matriz de priorización indicadores antrópicos

Variables	Indicadores	Que fueran recomendados por los referentes teóricos	Disponibilidad de recursos económicos para la toma de datos	Que fueran técnicamente viables de medir / disponibilidad de información	Representatividad para evaluar el humedal	Promedio
Variables antropogénicas	Ampliación de la frontera agrícola y pecuaria	5	2	3	5	3,75
	Procesos de labranza de la tierra	5	2	4	5	4
	Ganadería en fuertes pendientes	4	2	2	4	3
	Uso de agroquímicos	4	2	2	4	3
	Quemas	4	2	2	3	2,75
	Historia del humedal	5	2	4	5	4
	Agricultura: precios y demanda de productos agrícolas, costos	3	2	2	3	2,5
	Ganadería: precios y demanda de leche	3	2	2	3	2,5
	Prácticas agrícolas y pecuarias que afectan al humedal	5	3	3	5	4
	Piscicultura artesanal	2	1	2	5	2,5

Frente a las variables antrópicas, las más representativas son las que tienen que ver con la historia del humedal, los procesos de labranza, y las demás prácticas agrícolas y pecuarias. Las variables antrópicas fueron analizadas a partir de una matriz de Leopold y considerando los impactos ambientales que generan los sistemas productivos y su manejo presentes en la zona de estudio.

Las variables antrópicas son más complejas de medir, sin embargo, en el capítulo siguiente son analizadas en el marco de una matriz de impactos ambientales.

2.4.2 Indicadores relacionados con el recurso suelo asociado a los humedales

Como indicadores de la calidad, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo deben cumplir las siguientes condiciones:

Ser integradores, fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer, ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado, ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones, reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar, ser fáciles de entender, permitir cambios y diferencias entre los sistemas, centrarse en aspectos prácticos y claros. (Astier et al., 1999, p. 84)

Para el estudio integral de los suelos, es necesario considerar diferentes indicadores físicos, químicos, biológicos, productivos y sociales que permitan determinar su calidad y/o la salud (Doran y Parkin, 1994; Ramírez, 2004).

Tabla 10.

Indicadores analizados y su relación con las funciones del suelo en la zona de estudio

Indicadores evaluados para las 9 zonas de estudio	Relación con las funciones y condiciones del suelo
Textura	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo
Densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión
Materia orgánica	Fertilidad de suelo, estabilidad y grado de erosión, potencial productivo
Fertilidad (nutrientes)	Nutrientes disponibles para plantas, indicadores de productividad y calidad ambiental
pH	Actividad química y biológica
Granulometría	Masa del suelo

Los anteriores fueron los indicadores de suelo sobre los cuales se desarrollaron los análisis para el estado de conservación, los cuales se recolectaron para nueve sitios con cuatro réplicas cada uno. Estos indicadores fueron el resultado de la selección que se hizo bajo los criterios anteriormente mencionados. Con esta información se desarrolló un análisis estadístico, realizando un análisis multivariado utilizando el software SPAD.

En la Figura 10 se muestra la forma de recolección de la muestra para el análisis en el laboratorio, el tubo de PVC fue utilizado para la toma de la muestra de densidad aparente. En la fotografía de la izquierda aparecen los instrumentos para la toma de la muestra de suelo para medir densidad aparente; en la de la derecha, la forma cilíndrica como debe quedar la muestra de suelo para el respectivo análisis.



Figura 10. Toma de muestras de suelo para medir la densidad aparente.

Con los anteriores aspectos definidos, se prosigue al análisis de muestra de suelo en laboratorio, las cuales fueron analizadas en los laboratorios de MULTILAC y el laboratorio de la Universidad de Caldas.

2.4.3 Calidad del suelo

Según Doran & Parkin (1994), calidad y salud del suelo, aunque no se consideren siempre como sinónimos, sí son conceptos equivalentes. Para Gregorich et al. (1994), la calidad de suelo es una medida de su capacidad de funcionamiento adecuado con relación a un uso específico. Arshad & Coen (1992) afirman que la calidad está más relacionada con un concepto conservacionista y de protección del medio ambiente.

2.4.4 Textura del suelo

De acuerdo con United States Department of Agriculture (USDA), los suelos en la zona de estudio se encuentran clasificados de la siguiente manera:

Tabla 11.
Resultados textura del suelo

Referencia	Clasificación	Referencia	Clasificación
El Nueve 1	Franco arenoso	Romerales 1	Franco arcilloso arenoso
El Nueve 2	Arenoso	Romerales 2	Franco arcilloso arenoso
El Nueve 3	Franco arenoso	Romerales 3	Franco arcilloso arenoso
El Nueve 4	Franco arenoso	Romerales 4	Franco arcilloso arenoso
Laguna 1	Franco arenoso	Casa Larga 1rb	Arenoso
Laguna 2	Arenoso	Casa Larga 2rb	Arenoso
Laguna 3	Franco arcilloso arenoso	Casa Larga 3rb	Franco arcilloso arenoso
Laguna 4	Franco arenoso	Casa Larga 4rb	Franco arcilloso arenoso
Chinchiná 1	Franco arcilloso arenoso	Río Blanco 1	Franco arenoso
Chinchiná 2	Arenoso	Río Blanco 2	Franco arenoso
Chinchiná 3	Arenoso	Río Blanco 3	Arenoso franco
Chinchiná 4	Franco arenoso	Río Blanco 4	Franco arenoso
Cajones 1	Franco arcilloso arenoso	Martinica 1	Franco arenoso
Cajones 2	Arenoso	Martinica 2	Arenoso franco
Cajones 3	Arenoso	Martinica 3	Franco arenoso
Cajones 4	Franco arcilloso arenoso	Martinica 4	Arenoso franco
California 1	Arenoso		
California 2	Franco arenoso		
California 3	Franco arenoso	Martinica 2	Arenoso franco
California 4	Franco arcilloso arenoso		

La textura de los suelos estudiados representa la proporción de cada elemento en el suelo, y depende de la naturaleza de la roca madre y

de los procesos de evolución del mismo; la aireación y el drenaje en los suelos están relacionados con la textura, a mayor contenido de arena, mayor será el drenaje. Para la mayoría de sectores analizados se encontró que el suelo tiende a presentar una textura más arenosa que arcillosa, lo cual se presume que puede favorecer los procesos de drenaje y aireación; además, se debilita la cohesión y, por lo tanto, la absorción de nutrientes en las plantas.

2.4.5 La densidad aparente

Este indicador es uno de los que se consideró de mayor relevancia dado que a mayor densidad aparente mayor es la compactación del suelo y, por lo tanto, desfavorece de manera significativa los procesos de infiltración que garanticen la conservación del ecosistema; en la zona de estudio se observan densidades aparentes mayores en aquellos sitios donde se tiene una mayor influencia de la ganadería. Los resultados obtenidos de la densidad aparente se describen en la Tabla 12.

Tabla 12.

Resultados de la densidad aparente por cada sitio seleccionado

Densidad Aparente (g/cm ³)					
Lugar	Réplica				Promedio
	1	2	3	4	
Río Blanco	1,201	1,3052	0,9246	0,9779	1,102175
Martinica	1,1501	1,3083	1,1918	1,494	1,28605
Casa Larga	1,7643	1,8139	1,9703	1,7823	1,8327
Romerales	1,7575	1,6895	1,365	1,6338	1,61145
California	1,5735	1,5972	1,5997	1,6563	1,606675
Laguna	1,3885	1,4266	1,2326	1,1205	1,29205
El Nueve	1,0506	1,1549	1,1302	1,4158	1,187875
Cajones	1,4808	1,5463	1,222	1,4446	1,423425
Chinchiná	1,4884	1,0128	1,5779	1,6198	1,424725

Los suelos estudiados presentan, en conjunto, valores distribuidos de densidad aparente en el rango completo de los parámetros encontrados en la bibliografía estudiada, lo que significa que para la determinación del índice los rangos de este parámetro son coherentes. Dado que se tuvieron en cuenta diferentes sitios de recolección de datos (zona alta, media y baja) en el área de influencia del estudio con alturas desde los 2.300 msnm hasta los 3.600 msnm, las muestras analizadas constituyen

diferentes tipos de suelos. Con el método convencional del cilindro se obtuvieron los datos de la masa unitaria húmeda y la densidad aparente, después del proceso de secado; el porcentaje de diferencia entre ambas fluctúa para la mayoría de las zonas entre el 30% y el 50%. Se deduce que por el tipo de ecosistema donde fueron tomadas algunas de las muestras, se pueden encontrar inconsistencias por el contenido de agua, por tal motivo, se analizaron los datos obtenidos en la prueba de densidad aparente seca, la cual presentó los siguientes valores: Casa Larga 1.3429 g/cm³, Romerales 1.0373g/cm³, California 0.9895g/cm³, Laguna 0.6194g/cm³, El Nueve 0.5885g/cm³, Cajones 0.9706g/cm³, Chinchiná 0.9276g/cm³.

La densidad aparente puede ser influenciada por el contenido de materia orgánica en los suelos y el material parental que ha originado el suelo; en los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente se encuentran densidades aparentes que fluctúan entre 0,7 y 0,98 g/cm³. Cuando se presentan altos valores de densidad aparente, puede deberse a un nivel de compactación alto, esto se presenta principalmente donde hay presencia de ganadería, ya sea a causa de la maquinaria, del efecto generado por el peso de los animales al recorrer el terreno o por la acción de arado en los diferentes períodos con profundidades similares, lo cual produce capas que restringen la infiltración y percolación del agua en el suelo.

2.4.6 Granulometría

En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos de la medición del coeficiente de uniformidad, que se utiliza para evaluar qué tan uniformes son las partículas de un suelo (Loboa, et al., 2011)

Tabla 13.
Resultados granulometría

Lugar	Granulometría									
	Réplica									
	1		2		3		4		Promedio	
	Cu	Cz	Cu	Cz	Cu	Cz	Cu	Cz	Cu	Cz
Río Blanco	9,53	0,42	5,33	0,85	6,12	0,89	7,10	0,56	7,02	0,68
Martinica	6,84	0,89	9,44	1,18	6,32	0,37	3,88	0,97	6,62	0,85
Casa Larga	4,85	1,52	2,94	0,62	9,23	0,58	3,23	0,89	5,06	0,90
Romerales	3,60	1,11	4,44	1,11	6,57	0,67	4,60	0,70	4,80	0,90
California	4,62	1,15	3,46	1,07	8,48	1,09	3,72	0,63	5,07	1,0

Laguna	2,50	0,90	7,50	1,10	6,47	0,69	6,12	1,30	5,65	1,00
El Nueve	10,67	1,26	6,80	0,54	3,59	0,51	5,17	0,61	6,56	0,73
Cajones	8,44	1,31	9,19	1,20	2,85	0,78	8,12	0,49	7,15	0,95
Chinchiná	5,33	1,22	5,15	1,03	4,44	1,16	4,38	0,97	4,82	1,10

- **Análisis de Granulometría**

Para el análisis de la granulometría se obtuvo el *Coefficiente de uniformidad* (Cu) y el *Coefficiente de curvatura* (Cz), los cuales fueron analizados en el laboratorio anteriormente descrito. Para su interpretación, cuando Cu presenta valores menores de 3, se considera un suelo muy uniforme frente a la textura; cuando el valor está por encima de 3, se caracteriza como un suelo franco arenoso, con un porcentaje de limo.

Su importancia para el estudio de los humedales radica en el conocimiento de algunos fenómenos. Según el tamaño de las partículas, la estabilidad volumétrica puede presentar cambios evidenciados en la humedad, debido a la porosidad del suelo, aumentando la inestabilidad del mismo. Además, el grado de compactación, la permeabilidad, la presión de los poros que provocan deslizamientos y el flujo de aguas que aceleran el arrastre de partículas sólidas, la durabilidad, por la erosión o abrasión, son factores que amenazan la vida útil del suelo como elemento estructural o funcional.

- **pH y Materia Orgánica**

La clasificación de los suelos según el valor del pH (USDA, 1998) se presenta de acuerdo con la siguiente escala.

- Menor a 4.5 Extremadamente ácido
- 4.5 -5.5 Fuertemente ácido
- 5.6 -6 Medianamente ácido
- 6.1 -6.5 Ligeramente ácido
- 6.6 -7.3 Neutro
- 7.4 -7.8 Medianamente básico
- 7.9-8.4 Básico
- 8.5-9 Ligeramente alcalino
- 9.1-10 Alcalino
- 10 Fuertemente Alcalino

Existen diferentes factores antrópicos y naturales que condicionan la magnitud y la intensidad del proceso de acidificación de los suelos (Sadzawka & Campillo, 1993), algunos de estos se presentan en la zona de estudio y están relacionados con la realización de algunas prácticas como las quemadas.

Los resultados obtenidos para el pH en el sector de El Nueve fueron: 4.9, 5.1, 4.3, 4.5, para un promedio de 4.7, lo que permite clasificarlo como un suelo extremadamente ácido con condiciones muy desfavorables, exceso de Co, Cu, Fe, Mn, y Zn deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Para el sector de Laguna, los resultados fueron de 4.4, lo cual lleva a clasificarlo como un suelo extremadamente ácido y que presenta las mismas características de El Nueve. Para el sector de Chinchiná, los resultados fueron de 5.1, lo que permite clasificarlo como un suelo fuertemente ácido. Para el sector de Cajones, los resultados fueron de 5.5, lo que permite clasificarlo como un suelo fuertemente ácido. En el sector de California, los resultados fueron de 4.7, lo que permite clasificarlo como un suelo extremadamente ácido. Para el sector de Romerales, los resultados fueron de 4.5, lo que permite clasificarlo como un suelo extremadamente ácido. Para el sector de Casa Larga, los resultados obtenidos fueron de 5.3, lo que permite clasificar el suelo como fuertemente ácido. Para el sector de Río Blanco, los resultados fueron de 4.5, lo que permite clasificarlo como un suelo extremadamente ácido. Para el sector de Martinica, los resultados fueron de 5.1, lo que permite clasificarlo como un suelo fuertemente ácido. Según los resultados obtenidos en los nueve puntos de estudio, los suelos presentan un pH inferior a 5.8, valor que permite deducir que no son zonas aptas para cultivos, debido a la fuerte acidificación que presentan por condiciones naturales o alteraciones antropogénicas. Se indica, además, que para propiciar las condiciones adecuadas y/o aptas para los cultivos se hace necesario emplear abonos sintéticos, oligoelementos, entre otros componentes que alteran el normal funcionamiento del entorno natural.

Para el análisis de materia orgánica se tuvo en cuenta la siguiente escala, considerada para estudios en clima frío, por encima de los 2.500 msnm.

- Bajo: menor de 5 %
- Medio: 5-10 %
- Alto: mayor de 10 %.

En las zonas de estudio se encuentran contenidos bajos, medios y altos de materia orgánica, producto de los rangos altitudinales que varían desde los 2.500 hasta los 3.700 msnm, diferencia de factores climáticos a los que se encuentran sometidos, como la precipitación y la temperatura, los cuales pueden determinar el grado de acumulación de carbono en el suelo, además de la interacción producida por la vegetación y el suelo. Para la prueba de materia orgánica, los resultados obtenidos fueron: para el sector de El Nueve 8.9%, lo que representa un valor Medio; Laguna, 11.1%, Alto; Chinchiná, 3.1%, Bajo; Cajones, 4.0%,

Bajo; California, 3.5%, Bajo; Romerales, 6.8%, Medio; Casa Larga, 9.5% Medio; Martinica, 14.12%, Alto; Río Blanco, 22.08%, Alto.

Existen diferentes motivos por los cuales se presenta la pérdida de materia orgánica, por ejemplo, el laboreo permanente de los suelos (ya que produce una oxidación continuada), los problemas erosivos por las altas pendientes, y las fuertes lluvias que arrastran las superficies del suelo. Esto permite reconocer tales factores como una desventaja para la fertilidad física del suelo, pues altos porcentajes de materia orgánica mejoran la retención de humedad y favorecen la formación de porosidad en tamaños medianos, con lo cual se mejora la aireación en el suelo y la retención de nutrientes. El mejoramiento de las características físicas se debe a la microflora y la mesofauna del suelo. La presencia de carbono permite un incremento de la población activa de hongos, bacterias, y algas que aceleran el ciclo orgánico en el suelo, lo cual, a su vez, incrementa la biodiversidad y promueve una mejor estructura, así se determina una adecuada aireación y se evita la compactación.

2.4.7 Análisis de fertilidad

La clasificación de los niveles de nutrientes disponibles en los suelos demostró una tendencia a niveles medios y bajos para potasio, calcio y magnesio, evidenciados en los siguientes resultados: para el sector de El Nueve, se obtuvo: K 0.2 cmol.k-1, valor medio; Ca 1.1 cmol.k-1, valor bajo; Mg 0.3 cmol.k-1, valor bajo; Al 1.4 cmol.k-1, alto. Para el sector de Laguna: K 0.2 cmol.k-1, medio; Ca 2.6 cmol.k-1, bajo; Mg 0.5 cmol.k-1, bajo; Al: 1.1 cmol.k-1, alto. Para el sector de Chinchiná: K 0.1, cmol.k-1, bajo; Ca 1.6 cmol.k-1, bajo; Mg 0.4 cmol.k-1, bajo; Al 0.5 cmol.k-1, Alto. Para el sector de Cajones: K 0.2 cmol.k-1, Medio; Ca 3.5 cmol.k-1, medio; Mg 0.5 cmol.k-1, bajo; Al 0.8 cmol.k-1, alto. Para el sector de California: K 0.2 cmol.k-1, medio; Ca 1.3 cmol.k-1, bajo; Mg 0.5 cmol.k-1 bajo; Al 1.0 cmol.k-1, alto. Para el sector de Romerales: K 0.1 cmol.k-1, bajo; Ca 2.5 cmol.k-1, bajo; Mg 0.8 cmol.k-1, bajo. Para el sector de Casa Larga: K 0.3 cmol.k-1, medio; Ca 1.0 cmol.k-1, bajo; Mg 0.5 cmol.k-1 bajo; Al 0.2 cmol.k-1, bajo.

El potasio, el calcio y el magnesio se encuentran en bajas concentraciones, mientras que el aluminio presenta valores muy altos, porque conforme el Ph del suelo es menor a 5.5, lo que hace que predomine la forma tóxica del aluminio, este se solubiliza e impide que crezcan muchas especies, esto ocurre en las partes más altas de la zona de estudio; dado que inhibe la absorción de otros nutrientes y algunos procesos metabólicos, es posible que esto pueda afectar la biodiversidad en este tipo de zonas.

2.4.8 *Análisis del nitrógeno*

El principal elemento que aporta la materia orgánica para el crecimiento de las plantas es el nitrógeno. Generalmente, más del 95% de nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica, el contenido de nitrógeno puede variar desde 0.01% hasta 0.8% en suelos arenosos. Considerando la estrecha relación que existe entre la materia orgánica y el nitrógeno de los suelos, se encuentra que ambos son directamente proporcionales, y presentan valores altos respectivamente.

2.4.9 *Indicadores relacionados con el recurso agua asociado a los humedales*

Se recopilaron antecedentes bibliográficos, cartográficos y estudios referentes al ciclo hidrológico de la zona de estudio (parte alta de la cuenca del río Chinchiná) que permitieron elaborar una descripción aproximada del estado actual de los humedales alto andinos.

Se identificaron las variables hidrológicas que influyen en los humedales de la cuenca alta y media del río Chinchiná, pues la mayoría de las veces no se tiene en cuenta la relación que estas variables tienen con el funcionamiento del humedal. Lo que se busca es incluir todas las variables que intervienen en la actividad de los humedales.

En lo hidrológico se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, se determinaron las variables más relevantes para los humedales establecidas en los documentos de revisión de información y con base en la priorización realizada para cada uno de los indicadores considerando las siguientes: caudal superficial, pH, turbidez, OD (oxígeno disuelto), histórico de las lluvias de la zona.

2.4.10 *Medición de parámetros fisicoquímicos del agua en los humedales*

- *pH*

El pH se midió directamente en cada uno de los puntos muestreados con el potenciómetro del laboratorio de la UCM. Una vez calibrado el potenciómetro, se introduce el sensor en el agua, donde se encuentra la muestra, y se genera automáticamente la lectura por el instrumento, la cual es anotada en la libreta de campo. En la Tabla 14 se muestran los valores de pH del agua en cada uno de los puntos muestreados.

Tabla 14.
Valores promedio de pH del agua

Medición de pH	
Puntos	Valores promedio
Río Blanco	6,4
Martinica	6,7
Río Blanco (Casa Larga)	7,5
Cajones	7,5
Río Chinchiná	7,6
Romerales	7,4
California	7,7
El Nueve	6,9
La Laguna	7,2
Máxima	7,7
Mínima	6,4

De acuerdo con lo estipulado en la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los valores permitidos para el pH deben estar en rangos de 6 a 9. Después de realizar las mediciones de pH en campo sobre los humedales altoandinos del área de estudio, estos no presentaron ninguna alteración en cuanto a este parámetro, ya que presentan un valor promedio de 7,21111.

- *Turbidez*

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos y diversos microorganismos. La turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, ya que juega un papel muy importante en el control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada. (Secretaría de Economía de los Estados Unidos de México, 2001, p. 1)

Para la medición de la turbidez, se enciende y calibra el turbidímetro; una vez calibrado, se introduce el sensor en el agua, donde se encuentra la muestra, y automáticamente se genera la lectura del instrumento, la cual es anotada en la libreta de campo. En la Figura 11 se muestran de forma gráfica los resultados obtenidos de la medición de este parámetro.

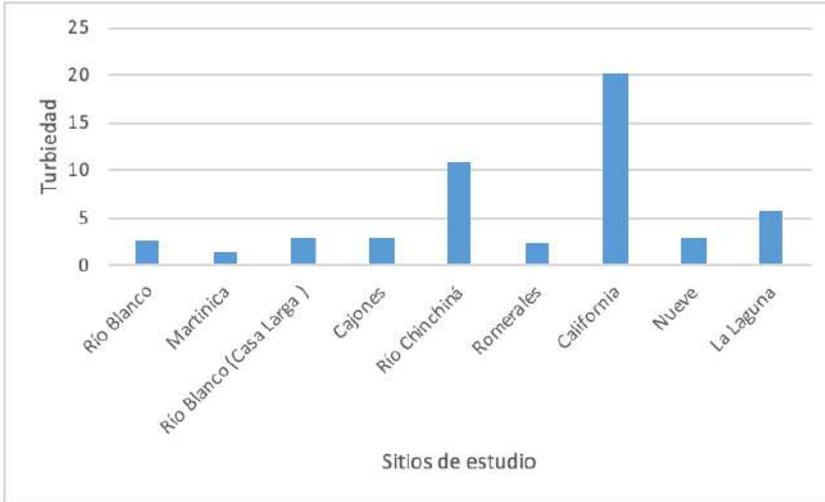


Figura 11. Turbiedad del agua en los humedales en la zona de estudio

- *Oxígeno disuelto*

El oxígeno disuelto es un indicador importante para determinar la calidad del agua, está relacionado con la posibilidad de vida acuática, que determina al mismo tiempo el estado de conservación de un humedal.

Para la medición del oxígeno disuelto, se enciende y calibra el electrodo; una vez calibrado, se introduce el sensor en el agua, donde se encuentra la muestra, y automáticamente se genera la lectura del instrumento, la cual es anotada en la libreta de campo.

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua, los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0mg/L de acuerdo con los parámetros establecidos por la autoridad ambiental. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento de los lagos. (Roldán, 2003, p. 774)

Tabla 15.
Resultados de oxígeno disuelto en cada uno de los puntos muestreados

Réplicas	Río Blanco	Martinica	Casa Larga	Cajones	Chunchiná	Romerales	California	El Nueve	La Laguna
1	5,8	7,1	7,28	7,68	7,84	7,2	7	7,66	6,9
2	6,3	7,3	7,32	7,65	7,12	7,3	7,14	7,69	6,5
3	6,6	7,1	7,36	7,57	7,3	7,29	7,5	7,59	6
4	6,8	7,4	7,34	7,23	7,46	7,17	7,5	7,55	7
Promedio	6,375	7,225	7,325	7,52	7,43	7,24	7,285	7,6	6,6



Figuras 12 y 13. Registro fotográfico de la recolección de muestras en campo: oxígeno disuelto, turbidez y pH, humedal de Río Blanco y humedal El Nueve

2.4.11 Indicadores meteorológicos asociados a los humedales

La precipitación para el estudio de los humedales es un indicador importante, toda vez que de ella depende el comportamiento estacional o permanente de los espejos de agua en estos ecosistemas. En esta fase se identificaron las estaciones meteorológicas que influyen en el comportamiento del ciclo hidrológico de los humedales altoandinos, y así mismo, su dependencia.

Solo se pudo trabajar con la precipitación, ya que las estaciones de Aguas de Manizales solo tenían los datos de este indicador. Se determinó el comportamiento de la precipitación permitiendo la construcción de un análisis para la zona y, de igual forma, la ocurrencia de ciertos fenómenos presentes en el área. Con el limitante que solo se cuenta con datos hasta diciembre de 2014, debido a la actividad vulcanológica del Nevado del Ruiz.

- Se determinó la importancia de las variables meteorológicas en los humedales altoandinos; de acuerdo con la importancia de cada variable se pretende dar una explicación de causa y efecto en los humedales altoandinos.
- Se realizaron los histogramas de las variables meteorológicas correspondientes a precipitación, temperatura y humedad relativa.

En la Tabla 16 se muestran los resultados de las precipitaciones multianuales de las estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio. Se aclara que dichas estaciones se encuentran en la zona de estudio, pero no corresponden a los mismos nombres de los puntos de muestreo, pues no se tiene una estación por cada uno de ellos.

Tabla 16.

Precipitaciones multianuales de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio

Años	Estación					
	La Fe	Martinica	Mirador	Olivares	Romerales	San Antonio
1997	156,4	200,2	160,5	176,8	205,2	269,75
1998	161,3	282,3	224,9	230,9	196,2	184,5
1999	177,9	321,7	234	258,3	209,8	234,4
2000	150,5	240,2	206,4	183,3	186,4	173,5
2001	112,9	161,8	154,8	133,8	151,2	165,3
2002	116,4	139	149,6	164	185,9	187,8

2003	154	160,5	195,2	221,5	185,6	201,4
2004	126,4	174,6	183,6	202,3	169,5	180,1
2005	137,3	159,8	182,5	196,4	148,5	144,8
2006	127,2	163,5	208,3	219,6	154,7	169,7
2007	148,5	182,3	231,7	231,8	194	185,6
2008	172,8	232,3	300,2	288,9	224,1	218,1
2009	132,6	151,2	204	222	161,4	161,9
2010	183,2	230,9	235,8	226,6	203,6	196,5
2011	203,2	289,9	265,4	264,4	241,5	239,1
2012	120,2	187,3	157,9	170,3	141,6	146,5
2013	127,8	162,9	198,3	216	192,3	172,2
2014	129,1	132,4	169,4	183,7	150,8	146,9
2015	100,6	98,1	126,8	123,3	119,7	112,9
Máxima	203,2	321,7	300,2	288,9	241,5	269,75
Mínima	100,6	98,1	126,8	123,3	119,7	112,9
Media	137,3	174,6	198,3	216	185,9	180,1

La precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas de la cuenca alta y media del río Chinchiná desde el año 1997 hasta el 2015, presentó una alta variabilidad. El año 2015 fue el año con menor precipitación de los 17 años analizados. Entre los años 2008 y 2011 hay anomalías positivas para la cuenca, pues son los años con mayores aportaciones.

Las variaciones promedio anual presentan diferencias positivas y negativas de precipitación, lo cual demuestra las condiciones pluviométricas y los fenómenos que se presentaron durante el período 1997-2015. En los años 2011 y 2015 se reflejan con una tendencia marcada el Fenómeno del Niño para el año 2015 y el de la Niña para el año 2011.

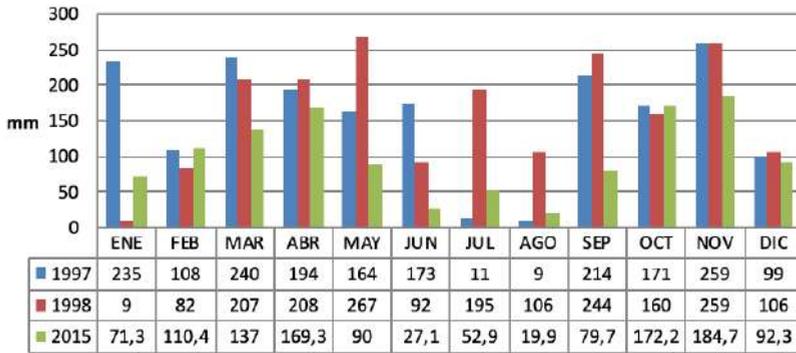


Figura 14. Precipitaciones históricas de la cuenca del río Chinchiná 1997-1998 vs 2015, incidencia del Fenómeno del Niño

La variación de la precipitación en el período 1997-1998 vs 2015 indica en general una alta variación en la precipitación, que se presenta en dos períodos secos y dos húmedos. En el año 1998, para el mes de enero, se registraron valores de 9 mm, en el mes de noviembre de los años 1997-1998, se evidenció un valor extremo positivo de 259 mm.

2.4.12 Indicadores de vegetación asociados a los humedales

Frente a los indicadores de vegetación se consideró tanto el índice de biodiversidad (riqueza de Margalef) como el índice de fragmentación (de Gurruxaga). La vegetación es uno de los mejores indicadores al momento de evaluar los humedales, puesto que representa la manera en que los factores tensionantes intervienen en el deterioro de los mismos, para esta investigación se trabajó con el índice de riqueza de Margalef utilizando la fórmula:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Donde I es la biodiversidad, s es el número de especies presentes, y N es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies).

En cada uno de los sitios se realizó un muestreo aleatorio, y en estos se hicieron las cuadrículas en las planchas de los humedales, se procedió a enumerarlas para posteriormente realizar el sorteo de las parcelas a intervenir dependiendo del tamaño de cada humedal; las parcelas

realizadas fueron de 200 metros cuadrados (10m x 20m), el número de parcelas por sitio dependió del tamaño de cada humedal. Los resultados obtenidos de biodiversidad por cada uno de los sitios se describen en la Tabla 17.

Tabla 17.

Resultados del índice de riqueza (biodiversidad) por cada uno de los sitios de muestreo

SITIO	IB
Río Blanco	0,8370
Martinica	0,9399
Casa Larga	0,600
Cajones	0,695
Chinchiná	0,722
Romerales	0,5746
California	0,648
El Nueve	0,420
La Laguna	0,7819

Como se observa en la Tabla 17, el mayor índice de biodiversidad se encuentra en el sitio de Martinica, y el menor índice en El Nueve, la implicación que esto tiene es que las partes más afectadas son aquellas donde el sistema productivo principal es la ganadería, mientras que aquellas zonas que están siendo más conservadas como Martinica, presentan unas mejores condiciones de biodiversidad. Ambos resultados coinciden con el uso que se está dando al suelo en cada sitio, pues el primero está dedicado exclusivamente a la conservación desde hace algunos años, y el segundo, a pesar de que se han realizado algunos procesos de conservación, aún tiene influencia de sistemas productivos como la papa y la ganadería.

Frente al índice de fragmentación se utilizó la metodología de Gurrutxaga (2003). Para la determinación de este índice fue necesario desarrollar un análisis a partir de sistemas de información geográfica; este método se basa principalmente en la identificación de los parches boscosos y las distancias entre ellos, para lo cual se debió realizar una reclasificación de las coberturas en naturales y no naturales. Es importante aclarar que en esta metodología se debió trabajar con el inverso; ya para todos los indicadores se estaba trabajando que entre más aproximado estuviera a 1, mejor sería el estado de conservación.

En este sentido, entre menor sea el índice, habrá mayor fragmentación y, por lo tanto, menor conservación, generando los resultados que se describen en la Tabla 18.

Tabla 18.

Índice de fragmentación por cada uno de los sitios estudiados

Punto	Índice de fragmentación
Río Blanco	0.63
Martinica	0.5
Casa Larga	0.20
Cajones	0.51
Chinchiná	0.61
Romerales	0.17
California	0,72
El Nueve	0,61
La Laguna	0.45
IF total	0.41

Como aparece en la tabla 18, el menor índice se encuentra en el sitio Casa Larga y los mayores en California y Río Blanco.

La vocación actual de los suelos de páramo se encuentra limitada por las condiciones físicas del suelo, entre estas, los bajos niveles de fertilidad, la acidificación, las bajas temperaturas, el porcentaje de humedad y el desarrollo biológico lento; también influyen las condiciones externas: relieve muy quebrado a escarpado en amplios sectores, vientos, lloviznas, nubosidad, niebla densa, poca luminosidad, días fríos y procesos erosivos que indican que la tierra de la región, que en su mayoría es paramuna, no tiene vocación agropecuaria. Se desconoce actualmente el papel estratégico que tienen las cuencas de alta montaña, más sí se reconoce que el suministro y regulación del recurso hídrico constituye un servicio ambiental, y es objeto de conservación y protección. Las consecuencias del deterioro acelerado de los páramos no son una preocupación ajena a las condiciones que existen actualmente por la acción antrópica indebida y por fenómenos naturales como el cambio climático que ataca las diferentes formas de vida y su normal funcionamiento.

2.4.13 Cálculo del índice de estado de conservación para la zona de estudio

Con todos los indicadores anteriormente definidos, se realizó el siguiente procedimiento, cabe anotar que no se consideraron los

indicadores meteorológicos dado que no se tenía uniformidad en los datos y estos, como los antrópicos, sirvieron para complementar el análisis.

a) *Sistematización de los datos*

Con todos los indicadores obtenidos tanto de suelo como de agua y vegetación, se realizó una sistematización de los datos a partir de un análisis multivariado utilizando el software *Statgraphics centurión XVI* y SAS (*Statistical Analysis System 8.0*). Se llevó a cabo un análisis de componentes principales, y de clúster; en este, se tomaron algunos indicadores que presentaban una alta relación con otros y se procedió a obviarlos y a realizar una nueva corrida de los datos. Una de las relaciones identificadas fue que el nitrógeno encontraba coherentemente una alta relación con la materia orgánica del suelo.

b) *Estandarización de los datos*

Se procedió a realizar una estandarización teniendo en cuenta los datos de referencia que más se aproximaran para determinar el estado de conservación, pues es preciso aclarar que en la literatura no se encuentran fácilmente indicadores de suelo óptimos para procesos de conservación en páramo. En esta estandarización se utilizaron las fórmulas de más es mejor, más es peor y dato en el rango óptimo, para definir dentro de cada una de estas tres opciones donde estaba el indicador. Para esta determinación no solo se consultó en la bibliografía, sino que se recurrió a la consulta de expertos para tomar esta decisión. En este sentido, indicadores como materia orgánica y oxígeno disuelto se consideraron como más es mejor, mientras que indicadores como la turbidez y densidad aparente se consideraron como más es peor, pues a mayor turbidez, menor calidad del agua, y a mayor densidad aparente, menor infiltración y más compactación del suelo.

En la estandarización de los datos se encontró que muchos de los indicadores medidos se encontraban en el rango óptimo, por lo cual, no generaron mayores variaciones. Como resultado de esta estandarización, se determinaron los subíndices de estado de conservación para proceder a realizar los respectivos redegramas.

c) *Asignación de pesos*

Para la asignación de pesos se procedió a pasar los datos por el software SAS (*Statistical Analysis System 8.0*), donde se sacaron las comunalidades (o determinación de pesos) por cada uno de los

indicadores y cada una de las variables (los pesos fueron determinados por el mismo software), dando como resultado una mayor asignación a los indicadores del suelo.

d) Ponderación de los indicadores

Para la ponderación y determinación del índice integrado de cada uno de los sitios estudiados se procedió a aplicar la siguiente fórmula:

$$IEC = \sum V_i(X_i) * W$$

Donde:

$V_i(X_i)$ = es una función de valor de la calidad ambiental de cada variable i , que depende de su indicador X .

W = es un peso relativo que se da a cada variable i

Una vez definido el índice de estado de conservación, se pudo obtener que el mayor índice se encuentra en el sector de Río Blanco que coherentemente está más conservado; y los menores índices se encuentran en las partes más bajas, Casa Larga, Chinchiná, California y Romerales. En la tabla 19, se muestra el esquema del índice de estado de conservación.

Tabla 19.

Índice de estado de conservación

Sitio	IEC Sitio	Estado
Río Blanco	0,8488	Óptimo
Martinica	0,6346	Adecuado
Casa Larga	0,5589	Aceptable
Cajones	0,6832	Adecuado
Chinchiná	0,4627	Aceptable
Romerales	0,5619	Aceptable
California	0,4162	Aceptable
El Nueve	0,7991	Adecuado
La Laguna	0,6057	Adecuado

Posteriormente, con los datos numéricos obtenidos del Índice del estado de conservación, se procedió a ubicarlos dentro de una escala definida por rangos numéricos, para indicar si se encuentran en estado

crítico (entre 0 -0,4), aceptable (entre 0,41-0,60), adecuado (0,61-0,80 u óptimo (mayor de 0,80).

2.5 Conclusiones

- La textura como indicador del suelo en todos los sitios estudiados tiende a presentarse como franco, más arenosa, que arcillosa, favoreciendo los procesos erosivos, de drenaje y aireación y, por ende, de absorción de nutrientes en las plantas; se establece que este es un indicador determinante para la sostenibilidad de humedales altoandinos.
- Las densidades aparentes obtenidas se encuentran en los rangos normales para el tipo de ecosistema de páramo, entendiéndose que no hay procesos de compactación notables en el interior de los humedales, sin embargo, en los alrededores se evidencia una compactación severa debido a las actividades agropecuarias que se ejecutan, lo que implica una afectación posterior hacia el interior de los humedales por ampliación de las fronteras agrícolas.
- La granulometría es un parámetro que puede ser empleado para proyectos más específicos, no tiene aportes significativos para la determinación de indicadores de sostenibilidad en humedales altoandinos, los resultados obtenidos de este parámetro pueden ser analizados con otras pruebas que también fueron empleadas para otros indicadores, como la textura.
- Los resultados de pH representan valores muy bajos, por lo que se clasifica en suelos con acidificación muy alta, convirtiéndolos en suelos no aptos para la agricultura por sus bajos contenidos en nutrientes, este análisis se respalda con los resultados de la prueba de fertilidad donde el Ca y el Mg presentan valores muy bajos y el aluminio presenta valores altos, debido al proceso inverso que ocurre con este elemento cuando el pH es bajo, inhibiendo así el crecimiento de algunas especies.
- De acuerdo con las variables estudiadas del suelo, se puede observar que los indicadores de la textura, el pH, la fertilidad, el porcentaje de humedad, de materia orgánica y de nitrógeno, son indicadores determinantes para la sostenibilidad en humedales altoandinos; algunos también pueden aportar datos más específicos para estudios relacionados; por ejemplo, para el aporte hídrico del humedal, se evidencia que la densidad aparente y el porcentaje de humedad son vitales.

- En cuanto a la granulometría, se determinó que es un indicador para estudios más específicos, este no revela información importante al momento de evaluar parámetros significativos para la investigación, además es una prueba que aporta resultados relacionados con la textura del suelo, indicador que fue tenido en cuenta para el estudio.
- La fragmentación de la zona de estudio aún no se presenta a nivel de flujos de energía y actividades fundamentales del ecosistema, esta se ha desarrollado principalmente a nivel de paisaje y puede estar afectando a nivel de biodiversidad algunas conectividades entre organismos y especies.
- Los disturbios naturales a los que se ve enfrentada la zona no son la causa principal de la fragmentación que ha sufrido el ecosistema, esta se presenta debido a la fuerte influencia antrópica que existe en la zona, producto de la ganadería, la agricultura, la deforestación, quemas, remoción de especies nativas y de nuevas especies inducidas que están en procesos de desarrollo.
- En general, la zona de estudio no presenta índices de conservación en estado crítico, es posible que esto se deba a los procesos de restauración (que se han realizado con especies nativas de la zona), que se han llevado a cabo por ser una zona de recarga hídrica para las principales fuentes abastecedoras del acueducto, sin embargo, sí se observan zonas con altos niveles de antropización generados especialmente por la influencia de la ganadería.

Referencias

- Antequera, J. (2005). *El potencial de sostenibilidad de los asentamientos humanos*. España: Caixa de Sabadell. Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/ja-sost/index.htm>
- Arshad, M. & Coen, G. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American journal of alternative agriculture*, (7), 25-31.
- Ahumada, M., Aguirre, F., Contreras, M. y Figueroa, A. (2011). *Guía para la conservación y seguimiento ambiental de humedales andinos*. Santiago: Gobierno de Chile.
- Astier, M., Masera, O., y López, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación*. México: Grupo

Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, MESMIS, GIRA, Mundi-Prensa e Instituto de ecología UNAM.

- Berlin, B., Breedlove, D. & Raven, P. (1974). *Principles of Tzeltal plant classification: an introduction to the botanical ethnography of a mayan speaking community in highland Chiapas*. New York: Academic Press.
- Castro, D. (2009). Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Doran, J. & Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J., Coleman, D. Bezdicek, D. & Stewart, B. (Eds.). *Defining soil quality for sustainable environment* (pp. 3-21). Madison: Soil Science Society of America.
- Flórez, Y. y Betancurt, J. (2015). Consideraciones para el análisis sistémico de la sostenibilidad de los humedales altoandinos. *DELOS, Desarrollo local sostenible*, 8(22). Recuperado de: <http://www.eumed.net/rev/delos/22/humedales.html>
- Foronda, C., García, A. y Pérez, L. (2010). Instrumentos para la caracterización socioeconómica de los espacios naturales protegidos: indicadores de sostenibilidad. *Observatorio medioambiental*, (13), 27-40.
- Goodland, R. y Daly, H. (1996). Sostenibilidad ambiental: universal y no negociable. *Ecological applications*, 6(4), 1002-1017.
- Gurrutxaga, M. (2003). Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco. España: Dirección de Biodiversidad Gobierno Vasco.
- Gregorich, E., Carter, M., Angers, D., Monreal, C. & Ellert, B. (1994). Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, (74), 367-386.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, (25), 1965-1978.

- Loba, J., Ramírez, S. y Díaz, J. E. (2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración Gruesa de flujo ascendente en capas. *Revista EIA*, (16), 29-41.
- Ortega, M., Martínez, F. y Padilla, F. (2010). *Aspectos metodológicos para evaluar la calidad ambiental de los humedales*. España: Universidad de Almería.
- Pérez, C. y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Trop.*, 56(4), 1905-1918.
- Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogota city, Colombia. *Ecological indicators*, (10), 848-856.
- Pinilla, G., Duarte, J. y Vega, L. (2010). Índice de Estado Limnológico para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del dique, Colombia. *Acta biológica colombiana*, 15(2), 169-188.
- Ramírez, M. (2004). *Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos*. En Primer Taller nacional sobre indicadores de calidad de suelo. Colombia: CIAT.
- Ramsar. (2008). *Cultura y Humedales. Un documento de orientación*. Gland (Suiza): Autor.
- Ramsar. (2010). *Directrices para la evaluación ecológica rápida de la biodiversidad de las zonas costeras, marinas y de aguas continentales*. Gland (Suiza): Autor.
- Roldán, G. (2003). Macroinvertebrados acuáticos. *Revista innovación y ciencia*, (1), 18-22.
- Sadzawka, R. y Campillo, R. (1993). Problema de acidez de los suelos de la IX región. Génesis y características del proceso. *Investigación y progreso agropecuario Carillanca*, 12(3), 3-7.
- Secretaría de Economía Mexicana. (2001). *Análisis de agua. Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-038-1981)*. México: autor.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill.

Tolón, A. y Lastra, X. (2009). Conclusiones sobre investigaciones y experiencias de desarrollo sostenible en espacios rurales iberoamericanos. *Observatorio medioambiental*, (12), 247-263.

USDA Natural Resources Conservation Service. (1996). *Indicators for soil quality evaluation*. USA: USDA.

USDA Natural Resources Conservation Service (1998). *Soil Quality Information Sheet*. Available in: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052208.pdf

Velásquez, E., Lavelle, P. & Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil biology and biochemistry*, 39(12), 3066-3080.



*Sistemas productivos aledaños a los humedales altoandinos
Fotografía por Julio César Párra Mendieta*

C A P Í T U L O

3

Capítulo 3. Metodologías para la valoración de servicios ecosistémicos⁵

3.1 Valoración de servicios ecosistémicos

Los diferentes métodos de valoración de los servicios ecosistémicos nacen con la necesidad de tener insumos para los procesos de planificación ambiental. El primer intento de valoración ambiental se realizó en Estados Unidos al pretender determinar la entrada a un parque natural. Son muchas las metodologías abordadas para la valoración de los servicios ecosistémicos, sin embargo, este sigue siendo un tema de discusiones

Siempre ha sido de gran importancia saber qué valor poseen los diferentes servicios de los ecosistemas presentes en los humedales para así determinar qué tan importantes son para la sociedad. En la Evaluación de los ecosistemas del milenio (2003, citada en Groot et al.), la valoración es definida como “el proceso de dar un valor a un bien o servicio determinado [...] en función de algo que se pueda contar, a menudo dinero, pero también con métodos y medidas de otras disciplinas (sociología, ecología, entre otros aspectos)” (p. 3).

El valor dado a los servicios ecosistémicos de humedales depende de la mirada de la población y de las necesidades de los proyectos. La valoración social se encuentra ligada a la importancia que el servicio tiene para la comunidad y a la frecuencia de uso, siendo la primera, resultado de la segunda. Si un servicio no es utilizado con mucha frecuencia, se asume que es poco importante.

Díaz y Pinilla (2013) plantearon una valoración desde una perspectiva social del Humedal Santa María del Lago, ubicado en la ciudad de Bogotá, Colombia. Los criterios tenidos en cuenta fueron: fuerzas motrices, presiones, estado, impacto, respuestas e identificación de los conectores entre ellos. Para cada uno de los criterios se contemplaron cuatro indicadores: satisfactorio, medianamente satisfactorio, poco satisfactorio e insatisfactorio. Las fuerzas motrices están relacionadas con el apoyo institucional, el desarrollo del Plan de Manejo Ambiental por parte de la administración municipal y los cambios fuertes sobre el humedal, los cuales ofrecen un sentido al uso y deterioro de este. Las presiones son aquellas producto del mal uso del humedal por parte de la comunidad. El estado está estrechamente relacionado con el criterio anterior, ya que se encuentra sujeto a las condiciones de pérdida de

⁵Para la construcción de este capítulo se contó con la participación del magíster en Ciencias Biológicas Giovanni Blandón Marín.

cobertura vegetal, espejo de agua y desplazamiento de especies de fauna. Los impactos se asocian al uso del lago y la zona verde, la degradación del ecosistema, el inconformismo de la comunidad y el desconocimiento frente al plan de mejoramiento del humedal.

Según Stolk et al. (2006), los valores de los humedales se encuentran divididos en valor de uso y valor de no uso, con lo cual se obtiene el Valor Económico Total-VET. Las categorías del valor de uso son: valor de uso directo y valor de uso indirecto. Las categorías del valor del no uso son: valores de opción y valor de existencia. De igual forma, se subdividen así:

Tabla 20.

Valoración económica total de los humedales

Valores de Uso		Valores de no uso	
Valor de uso directo	Valor de uso indirecto	Valor de opción	valor de existencia
Pesca	Retención de nutrientes	Posibles usos futuros	Biodiversidad
Agricultura	Control de crecidas e inundaciones	Valor de usos futuros	Cultura y patrimonio
Leña	Protección contra tormentas		Valores de legado
recreación y turismo	Recarga de acuíferos		
Flora y fauna silvestre	Apoyo a otros ecosistemas		
	Estabilización de microclima		
	Estabilización de línea de costa		

Fuente: Stolk et al., 2006.

De acuerdo con la tabla anterior, se interpreta que el valor de uso se encuentra relacionado con aquellos servicios ecosistémicos que son tangibles o que se puedan evidenciar en el momento. Por el contrario, el valor del no uso se refiere a un uso directo o indirecto a futuro y el valor que la comunidad le da al ecosistema solo por el hecho de existir y su significado moral y espiritual.

La valoración económica más allá de saber la frecuencia de uso de los ecosistemas y su importancia para la comunidad, busca obtener un valor monetario que tenga representación en el mercado. Lomas

et al. (2005) plantean que “El análisis del mercado es la técnica más sencilla para valorar los bienes y servicios ambientales. Consiste en recoger los precios que las distintas especies o bienes tienen en el mercado” (p. 15). Cuando se desconoce el valor monetario de un bien o servicio ecosistémico, deben tenerse en cuenta los siguientes métodos: valoración contingente, coste de viaje, precios hedónicos, coste de prevención de daños y de conservación (Lomas et al., 2005).

El Método de Valoración Contingente (MVC) consiste en conocer la Disposición a Pagar (DAP) y la Disposición a ser Compensado (DAC), a través de encuestas individuales dirigidas a la población relacionada con el proyecto. Dichas encuestas se estructuran a partir de tres aspectos: i) información importante sobre el objeto a valorar, ii) conocimiento sobre la DAP o la DAC de la población encuestada, y iii) características socioeconómicas de cada encuestado (edad, sexo, estado civil, ingresos, entre otras). Las respuestas por parte del encuestado están encaminadas a generar un mercado hipotético (Lomas et al., 2005).

El Método de Coste de Viaje se calcula con el fin de saber cuánto debe invertir una persona para trasladarse a un lugar de recreación o esparcimiento, para así determinar un valor hipotético de los servicios ecosistémicos que allí se prestan. Es necesario formular encuestas in situ a los viajeros para conocer datos como el lugar de procedencia, características socioeconómicas, y número de visitas que realizan al año (Lomas et al., 2005).

El Método de Precios Hedónicos busca generar un precio hipotético de un bien o un servicio intangible que puede satisfacer varias necesidades al mismo tiempo, o una necesidad de diferentes maneras. Azqueta (2007) plantea el ejemplo de una vivienda que no solo representa los metros cuadrados construidos, sino el bienestar que pueda brindar a partir de las zonas verdes que contenga. Así que el método de los precios hedónicos trata de darle valor a los diferentes atributos que presenta el bien o el servicio. Las personas que adquirieron viviendas con zonas verdes, deben pagar un precio más alto que las personas que habitan una casa sin esos metros cuadrados de más, lo que quiere decir que el precio está relacionado con los metros cuadrados construidos y no con el valor de las zonas verdes en sí. Por esta razón, el método sugiere que los habitantes de una vivienda básica manifiesten la disponibilidad para pagar por el cambio a la vivienda con zonas verdes.

El Método de Coste de Prevención de Daños y Método de Conservación está relacionado con el gasto realizado para implementar acciones de prevención de daños o de conservación de los ecosistemas (Lomas et al., 2005).

El Instituto Alexander Von Humboldt en 1999 implementó un sistema de valoración de los humedales de acuerdo con la nomenclatura propuesta por Hecker et al. (1996) (Tabla 20). En este contexto, las funciones ecológicas y ambientales de los humedales constituyen muchos beneficios, pues son, principalmente, sistemas naturales que soportan la vida (Ministerio del Medio Ambiente, Instituto Alexander Von Humboldt, 1999).

3.2 Generalidades de servicios ecosistémicos prestados por los humedales

3.2.1 Funciones, bienes y servicios

Generalmente, los humedales altoandinos no se presentan aislados, sino como complejos ecosistemas interconectados, lo cual los hace fundamentales para la dinámica de las microcuencas en la parte alta de las montañas, pues sus aguas fluyen hacia las vertientes de los sistemas hidrográficos particulares de cada región.

De acuerdo con González y Guillot (1993), el agua ha sido protagonista en la historia colombiana durante la ocupación del país y la edificación de la República en los siglos XIX y XX. Estos procesos de desarrollo se han concentrado en actividades económicamente extractivas, como la minería, la pesca, e industrias extensivas como la agricultura y la ganadería (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). Sin embargo, estas actividades se desarrollan pasando por alto la biodiversidad del país.

Los humedales altoandinos son importantes fuentes de agua en el país y agrupan una porción significativa de diversidad biológica particular, siendo componentes fundamentales del hábitat. Muchas especies de plantas (como el árnica, el frailejón, espino de oro, entre otras) y animales que los habitan se encuentran restringidos o especializados a estos ecosistemas, llegando incluso a no encontrarse en ningún otro lugar. Igualmente, algunos de estos humedales son hábitats fundamentales para la fauna, pues constituyen refugios y espacios de reproducción de muchos animales amenazados, como los “sapitos arlequín” que se encuentran en amenaza alta, del género *Atelopus*, y como lugares de paso para la Avifauna (Naranjo, 1997).

Según la Convención de Ramsar, los humedales altoandinos son ecosistemas naturalmente frágiles por causas como el cambio climático y por actividades del ser humano sobre ellos como: agricultura no sostenible, pastoreo excesivo y minería a cielo abierto. De forma cada vez más acelerada son muchos los humedales altoandinos que

se pierden, principalmente, por mal manejo y desconocimiento de su importancia ecológica.

3.2.2 Servicios ecosistémicos de los humedales para la fauna silvestre

Rara vez se menciona que uno de los servicios ecosistémicos de los humedales es su importante contribución al mantenimiento y generación de la biodiversidad regional. Los ecosistemas de humedales a menudo representan una fracción importante de la heterogeneidad del hábitat regional dentro de biomas.

A pesar de su escasa cobertura dentro de las unidades biogeográficas más grandes como toda la zona de Páramo, los humedales especialmente, los estudiados, albergan diferentes especies de fauna silvestre que los rodean y, por tanto, contribuyen significativamente a la diversidad beta (Sabo et al., 2005).

Seguramente, lo más importante es que los microhábitats de los humedales pueden servir como refugios locales para la fauna silvestre, ayudando a la mitigación de los factores de estrés ambiental en las regiones; la ocupación en los humedales puede permitir que los organismos toleren rangos de temperatura más grandes (Sculthorpe, 1985).

Funcionar como sitios de anidamiento, refugio, alimentación, reproducción o simplemente sitios de paso, hace parte de los servicios ecosistémicos que los humedales brindan a la fauna silvestre que se encuentra asociada a ellos. No todos los organismos utilizan estos atributos de la misma forma, pues esto depende del organismo o la especie que los requiera. Sin embargo, mamíferos, anfibios y en mayor proporción aves, son los grupos faunísticos que hacen uso de estos servicios que el ecosistema les ofrece.

Los miembros de la fauna silvestre desarrollan importantes funciones dentro de los humedales como consumidores, aportadores, dispersores de materia orgánica o modificadores del ambiente circundante, pues cerca al 30% de la energía que consumen las aves es liberada al ambiente en forma de desperdicios (Martínez, 1993, p. 209).

Igualmente, los humedales aportan a las aves gran cantidad de servicios como la nidificación y cría, así mismo, este es un ambiente importante de concentración durante el período de muda de plumaje o la migración anual (Blanco, 1999).

- *Anidamiento y Refugio*

Muchas especies nidifican o construyen madrigueras en los humedales, allí la vegetación les sirve de soporte para nidos o refugio contra depredadores. Dependiendo de la especie, construyen sus nidos en los diferentes estratos vegetales presentes en el humedal. Algunas lo hacen en altura usando tallos de macrófitas o las ramas de pequeños arbustos como sostén; otras, como las aves acuáticas, construyen los nidos en la superficie del agua anclándolos a la vegetación emergente o flotante. Los anfibios principalmente, entre otras especies, utilizan las pequeñas herbáceas o vegetación riberena a los cauces o cuerpos de agua para construir sus nidos. Y algunos mamíferos que viven en los humedales construyen sus madrigueras en las zonas secas de estos ecosistemas, que están provistas especialmente de pastos o pajonales. La nidificación de algunas aves acuáticas depende de la existencia de ambientes con espejos de agua, por ello no la realizan necesariamente todos los años ni en los mismos sitios (Canevari et al., 1991).

- *Alimentación*

Los humedales también son importantes para la alimentación de la fauna silvestre que ha desarrollado adaptaciones y técnicas propias según el hábitat y la clase de alimento. Ambos factores definen que las especies se reúnan en grupos funcionales (Bucher y Herrera, 1981). Al igual que en el anidamiento, dependiendo de la especie, los organismos pueden alimentarse de las flores, frutos y semillas que ofrecen las plantas presentes en el humedal, así mismo de insectos, anfibios o pequeños mamíferos que también visitan este recurso.

- *Reproducción*

Este servicio ecosistémico está estrechamente relacionado con la disponibilidad de hábitats para el anidamiento y la oferta de alimento, dado que estos dos factores determinan en gran medida los períodos de apareamiento de la gran mayoría de especies faunísticas.

También se presentan factores que condicionan el uso de los servicios ecosistémicos por parte de la fauna silvestre. Según esto, la composición (riqueza y abundancia) de la fauna que habita un humedal depende de múltiples factores, entre ellos el régimen hidrológico, el tamaño y heterogeneidad del sitio, la estructura de la vegetación, los factores antrópicos aledaños al ecosistema y la conectividad con otros humedales, los cuales se detallan a continuación.

- *Régimen hidrológico*

De acuerdo con Murphy et al. (1984), la corriente de agua en los humedales está relacionada con la diversidad de fauna, lo cual puede estar asociado con los altos niveles de nutrientes y mayor productividad de microorganismos.

- *Tamaño del humedal*

“El tamaño del humedal es otro factor importante que afecta la riqueza y la abundancia de especies, principalmente debido a que los sitios de mayor tamaño albergan una mayor heterogeneidad ambiental y un mayor número de hábitats” (Blanco, 1999, p. 120).

- *Estructura de la vegetación*

La fauna se relaciona con la estructura de la vegetación utilizando la composición florística tanto para su alimentación, como para la cría de pequeños mamíferos (Blanco, 1999).

- *Factores antrópicos al ecosistema y conectividad con otros humedales*

Este factor es escasamente tenido en cuenta como condicionante para la utilización de los servicios ecosistémicos que un humedal puede ofrecer a la fauna silvestre asociada a los ecosistemas, sin embargo, los factores antrópicos que se generen dentro o alrededor del humedal pueden determinar la presencia de fauna silvestre, debido a que esta se vuelve vulnerable a condiciones como ruidos, quemas o extracción de material del humedal e incluso a la incursión de animales domésticos o de personas que en ocasiones tienen al humedal como zona de paso para el desplazamiento.

El otro factor importante es la conectividad que estos ecosistemas puedan tener con otros humedales, dado que, si esta conectividad existe, se puede hablar de zonas de intercambio de fauna o de refugio cuando uno de los humedales está experimentando algún impacto natural o antrópico.

3.2.3 Servicios ecosistémicos de los humedales para la flora silvestre

Los humedales altoandinos albergan gran cantidad de flora silvestre, dentro de ella las plantas medicinales son las que obtienen mayor beneficio de los humedales; del estado del humedal depende el sostenimiento de la base ecosistémica de la flora existente.

El principal servicio ecosistémico que el humedal le brinda a la flora es el sostenimiento de la biodiversidad de especies; mientras se tenga un humedal en condiciones ideales de conservación (con alta regulación hídrica y alta biodiversidad), se podrá tener un mayor número de especies por área y, en este sentido, una mayor riqueza.

En la parte alta de la cuenca del río Chinchiná se desarrolló un estudio de la flora para nueve humedales en diferentes condiciones de antropización, donde obtuvieron mejores resultados de biodiversidad aquellos que efectivamente se encontraban en procesos de conservación, como fue el caso del nacimiento del Río Blanco, principal abastecedor del acueducto de los municipios de Manizales, Chinchiná y Martinica. Se utilizó el método de Margalef para la determinación de la riqueza, y para la dominancia se utilizó el método de Simpson y se realizaron parcelas de 200 metros cuadrados, el número de parcelas varió dependiendo del tamaño de cada uno de los humedales, así que el muestreo se realizó estratificado.

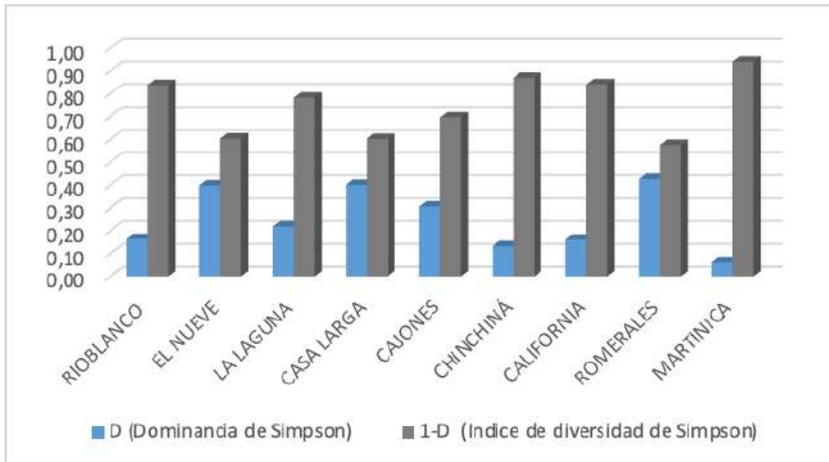


Figura 15. Índices de dominancia y biodiversidad de Simpson

En la Tabla 21 se muestra la relación entre cada uno de los sitios de estudio, el sistema productivo aledaño y los respectivos índices de dominancia y biodiversidad.

Tabla 21.

Relación entre cada uno de los sitios de estudio y el sistema productivo aledaño

Sitio	Sistema productivo	Índice de dominancia	Índice de biodiversidad (riqueza)
Río Blanco	Conservación	0,16	0,84
El Nueve	Cultivos de papa	0,40	0,420
La Laguna	Ganadería y conservación	0,22	0,78
Casa Larga	Ganadería	0,40	0,60
Cajones	Conservación	0,31	0,69
Chinchiná	Ganadería y conservación	0,13	0,72
California	Minería y ganadería	0,16	0,64
Romerales	Ganadería y conservación	0,43	0,57
Martinica	Conservación	0,06	0,94

Los sitios con menor biodiversidad corresponden a Romerales y Casa Larga, ambos con incidencia de ganadería, sin embargo, son predios que han estado sometidos en los últimos años a procesos de conservación.

Dentro de las familias más encontradas en este estudio están las *Hypericaceae*, *Asteraceae* y *Melastomastaceae*; así mismo, se encontró una mayor dominancia de especies en Romerales. A continuación se presentan las especies encontradas por cada sitio de muestreo:

Tabla 22.

Número de especies encontradas por cada punto de muestreo

Especies	Río Blanco	El Nueve	La Laguna	Casa Larga	Cajones	Chinchiná	California	Romerales	Martinica
<i>Baccharis tricuneata</i>	11	18	9	20			5		22
<i>Baccharis latifolia</i>	33	1						14	60
<i>Ageratina tinifolia</i>	28		1	9					23
<i>Diplostephium phyllicoides</i>			15						
<i>Diplostephium schultzii</i>	1	1							
<i>Espeletia cayetana</i>			25						

<i>Pentacladia vaccinioides</i>			77						
<i>Loricaria colombiana</i>	1								
<i>Hypericum goyanesii</i>	41	42	60						29
<i>Hypericum lancoides</i>	33	1	10						19
<i>Berberis goudotii</i>	5								1
<i>Tibouchina lepidota</i>							7		2
<i>Miconia caudata</i>							5	4	5
<i>Miconia salicifolia</i>	5	2	1						31
<i>Morella pubescens</i>		9		1	1		4	2	
<i>Vallea stipularis</i>	1								
<i>Vaccinium floribundum</i>			98						18
<i>Pernettya postrata</i>	10						1		4
<i>Ribes andicola</i>	4		1			2		3	
<i>Gaiadendron punctatum</i>	1								52
<i>Hedyosmum luteynii</i>				6					
<i>Cyathea arborea</i>					5		3		
<i>Alnus acuminata</i>					4				
<i>Oreopanax floribundum</i>					1				
<i>Saurauia ursina</i>					1	1			
<i>Brugmansia candida</i>						3			
<i>Ceroxylon quindiuense</i>						1			
<i>Bocconia frutescens</i>						3			
<i>Weinmannia pubescens</i>						2			

Todos los elementos naturales juegan un papel importante en la dinámica de los humedales; así, la fauna existente en este hábitat (conejos, cusumbos, puma, entre otros) depende de la flora presente en ella, tanto por la provisión de alimento como de refugio y anidación. Los humedales son sistemas dinámicos y vulnerables donde los diferentes factores (agua, suelo, flora y fauna) deben interactuar de manera adecuada para su óptimo funcionamiento.



Figuras en su orden: 16. Pajonal (*Calamagrostis effusa*), 17. Guardarocío (*Hypericum goyanesii*), 18. Plantago (*Plantago rigida*), 19. Mortiño (*Vaccinium floribundum*)

3.2.4 Servicios de regulación hídrica en humedales

La regulación hídrica de los humedales es uno de los servicios ecosistémicos más importantes, no solo debido a la retención y liberación de agua, sino a la disminución de la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial. Esta regulación se refleja en: el control de inundaciones, la reposición de aguas subterráneas, la estabilización de costas, la protección contra tormentas, y la depuración de aguas. Lo anterior beneficia las poblaciones que viven a lo largo de las cuencas hidrográficas, ya que las protegen de inundaciones y deslizamientos en caso de pendientes altas, y previenen afectaciones de los sistemas productivos presentes.

La Convención Ramsar, máxima autoridad en el tema de humedales, indica que las turberas y pastizales en la parte alta de algunas cuencas hidrográficas cumplen la función de esponjas, toda vez que,

aproximadamente, el 98% de su contenido es agua (específicamente de la turba). Estos humedales permiten que se reduzca la energía cinética del agua disminuyendo la escorrentía superficial considerablemente, y que la infiltración al subsuelo se dé más lentamente. Los pastizales una vez las turberas se han saturado y no poseen más capacidad de absorber agua, contribuyen a la ralentización de la escorrentía superficial (Convención Ramsar, 2011).

Este servicio ecosistémico se ha intentado valorar económicamente de acuerdo con el capital necesario para construir obras ingenieriles en caso que el humedal fuera drenado o rellenado para la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria. En Europa se han calculado y realizado diversas inversiones para la construcción de defensas sustitutivas para la contención de crecidas en Escocia (Convención Ramsar, 2011).

Los humedales superficiales han alimentado o recargado las aguas subterráneas o viceversa. Esto depende de qué tan cerca se encuentre el nivel freático de la superficie o qué tipo de suelo se encuentre en determinado lugar. Como es sabido, un suelo permeable permite la saturación, y, por ende, la recarga de los acuíferos. Por el contrario, suelos impermeables como arcillas, compactados, o con poca porosidad secundaria (fracturamiento de la roca), impiden la recarga de acuíferos.

“El agua subterránea contenida en los acuíferos representa el 95% del agua disponible en el planeta y es la fuente de agua potable de casi un tercio de la población mundial” (Convención Ramsar, 2011a). Así que los humedales debido a su papel de reguladores hídricos, facilitando la infiltración, aportan de forma importante a la recarga de acuíferos. Y a la vez, el agua subterránea permite que los humedales cuenten con agua en épocas de sequía, en caso que el nivel freático se encuentre cerca de la superficie.

Países como Colombia cuentan con una gran oferta, caudal promedio de 63.789 m³/s de agua superficial (Minambiente, s.f), lo que facilita la potabilización del agua para consumo y la generación de energía hidroeléctrica, Diferente es el caso de países que dependen del agua subterránea para estas actividades; China, India, Estados Unidos y los de la Península Arábiga se encuentran amenazados en términos de consumo humano, seguridad alimentaria y bienestar de los ecosistemas de humedales y su biodiversidad (Convención Ramsar, 2011a).

No solo los humedales de alta montaña desempeñan un rol importante, también lo hacen los humedales costeros. Estos sirven de barrera para las mareas, huracanes, tormentas y el aumento de nivel del

mar, disminuyendo la velocidad y altura del agua. “Las plantas de los manglares y las marismas se entrelazan literalmente entre sí, proporcionando cohesión a la costa” (Convención Ramsar, 2011b. p. 1).

La depuración del agua es otro de los roles importantes que desempeñan los humedales. Estos a través de sus sedimentos, del suelo y de la vegetación (fitoremediación), bloquean los diferentes contaminantes que reciben. Es el caso de plantas flotantes como la lenteja de agua, el jacinto de agua y el helecho de agua, las cuales son capaces de absorber metales pesados como el hierro y el cobre, provenientes de las aguas residuales (Convención Ramsar, 2011c). Es tal el éxito del tratamiento de estas aguas en los humedales, que existe la tecnología de humedales artificiales sub-superficiales de flujo horizontal o vertical, los cuales se componen de suelo (arena, grava, arcilla) y plantas como el papiro, heliconias, entre otras que realizan el mismo trabajo que los humedales naturales.

Es importante tener en cuenta que la regulación hídrica también depende de otros factores relevantes como el régimen de lluvias, la geomorfología de la cuenca, la elevación, la pendiente, los suelos, la cobertura vegetal y el uso del suelo. Estos factores son conocidos como Unidades de Respuesta Hidrológica (URH), las cuales son áreas con características y regulación hídrica homogénea. Esto quiere decir que el humedal en sí no es el único responsable de esa regulación hídrica, sino que la confluencia de las URH en diferentes puntos de la cuenca da el resultado final. El uso del suelo es determinante, ya que las actividades antrópicas alteran considerablemente los servicios ecosistémicos, toda vez que drenan el humedal a través de espinas de pescado, con el fin de aumentar las fronteras agrícolas y/o pecuarias, y más grave aún, para explotación minera.

Otro tema complejo es la variabilidad climática (fenómenos como El Niño y La Niña) y el cambio climático, siendo este último acelerado por las acciones antrópicas. Si bien es cierto que los humedales tienen una pérdida de espejo de agua natural, y regímenes monomodales (un período de caudal máximo) o bimodales (dos períodos de caudales máximos), es necesario aceptar que el incremento de la temperatura (calentamiento global), y el derretimiento de glaciares (pérdida de agua en estado sólido) son inminentes, lo cual puede afectar su funcionamiento.

3.3 Caso de estudio realizado para la valoración de los servicios ecosistémicos

El estudio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, culturales y de recreación asociados a los humedales ubicados en la parte alta de la cuenca del río Chinchiná, se realizó considerando la definición de los usos que se están dando a estos ecosistemas y la jerarquización de los mismos, de acuerdo con el nivel de importancia y su frecuencia de uso. Metodológicamente se abordó desde un enfoque de la investigación acción participativa (IAP); en este sentido, se trabajó con mapas sociales, encuestas y matrices, así como la valoración socioeconómica a partir del método de evaluación contingente. Como principal hallazgo se tuvo que los servicios de regulación son los que tienen mayor nivel de importancia para la comunidad y que el método de valoración aplicado permite hacer una aproximación del valor que tienen estos ecosistemas como punto de partida para los esquemas de incentivos a la conservación.

3.3.1 Metodología

Para el proceso metodológico se realizó una clasificación de los servicios generados por los humedales del área de estudio, teniendo en cuenta: los servicios de aprovisionamiento correspondientes a alimento, fibras, plantas medicinales, agua para riego, agua para ganadería; los servicios de regulación correspondientes al sostenimiento del agua en el tiempo; y los servicios culturales y recreativos correspondientes a los rituales, identidad cultural y turismo.

Posteriormente, se procedió a determinar la valoración que tienen los humedales involucrando el trabajo con participación comunitaria en los diferentes procesos; la participación social es de gran importancia ya que son los habitantes los que diariamente están desarrollando dinámicas que se ven favorecidas por esas funciones o “servicios” prestados por los bosques, páramos o humedales.

Para el trabajo con la comunidad se realizaron tanto diálogos de saberes, como aplicación de encuestas, trabajando con una muestra de 22 predios de la parte alta de la zona de estudio, este número de predios corresponde a 90% de la población total del área de estudio.

Los mapas parlantes o mapas sociales se convierten en una buena herramienta durante la *espacialización de los servicios ecosistémicos*. Para la zona de estudio se realizó la espacialización con la comunidad, cuya finalidad principal era que, a partir de un mapa debidamente

Uso del humedal como fuente de inspiración del arte y la religión									
Turismo									
Actividades recreativas									
Apreciación del paisaje									
Capacitaciones educativas									

- *Importancia*

- 1: Poco importante
- 2: Medianamente importante
- 3: Muy importante

- *Frecuencia*

- 1: Poco frecuente
- 2: Algunas veces
- 3: Muy frecuente

El ranking de importancia de los servicios ecosistémicos generalmente está relacionado con la frecuencia de uso que la comunidad les da; es por esto que también se asignan valores para este ítem. El número 1 indica que el uso es menos frecuente, el número 2 indica que algunas veces el servicio es usado, y el número 3 indica que el uso es más frecuente.

- *Valor económico*

Finalmente, para darle un valor económico a los servicios ecosistémicos identificados y valorados de acuerdo con su importancia y frecuencia de uso, se utilizó la metodología propuesta por Emerton & Mogaka (1996) para la valoración de recursos forestales en Kenya. En este caso se cuenta con fríjoles para asignarle valores simbólicos de 1 a 5 a cada servicio ecosistémico. Es necesario identificar un servicio de referencia (para el caso la papa o la leche) con el fin de utilizar la siguiente ecuación:

$$VTse = (VFse/FO) * (VO)$$

Donde:

- VTse= Valor total del Servicio Eco-sistémico (SE)
- VFse= Valor representado en fríjoles del SE

- FO= Valor representado en fríjoles del animal u objeto de referencia
- VO= Valor monetario (en pesos) del animal u objeto de referencia.

3.3.2 Resultados

Definición de los servicios ecosistémicos prestados por los humedales identificados a la luz de la Política Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) del año 2012.

En este ejercicio investigativo se utilizó la cartografía social, con el fin de identificar los servicios ecosistémicos de los humedales y conocer la percepción por parte de la comunidad frente a ellos. Se abordaron los sectores de Letras, Maltería (sector La Favorita) y Aspar (sector Patio Bonito); en la Figura 20 se muestra uno de los mapas de identificación de servicios ecosistémicos.



Figura 20. Mapa de Servicios eco-sistémicos zona Aspar-Patio Bonito

Los mapas parlantes sirvieron de apoyo para conocer cuál es el imaginario que los pobladores tienen del humedal y cómo proyectan su estado en los próximos años; adicional a esto, se generaron apreciaciones a partir de la elaboración de dibujos del entorno donde se destacó la importancia de los siguientes aspectos: que a futuro los ecosistemas estén limpios, sin residuos alrededor de los espejos de agua; que se pueda tener un ambiente sano; que los cauces estén con

gran variedad de especies acuáticas; que se disminuya la contaminación por los desechos generados en los hogares; que la comunidad recicle e innove, que cuide la flora y fauna representativa de los diferentes lugares; también que se deje de destruir el hábitat de los animales; que no haya más deforestación de los bosques para que, de esta forma, sigan aportando oxígeno al planeta; que se conserve siempre el nevado, ya que es muy importante porque brinda agua a toda la población.

En las figuras 21, 22 y 23, se muestra la proyección que realizó la comunidad frente a los humedales.



Figuras 21, 22 y 23. Proyección de “Mi humedal”. Zona Aspar- Patio Bonito

A partir de la construcción colectiva de los mapas, las discusiones generadas alrededor de la misma y las proyecciones de los usos del humedal, se puede concluir que actualmente, la comunidad se siente abandonada por el Estado y las diversas instituciones, que, aunque han visitado de forma esporádica la zona de estudio, no van más allá de llevar a cabo proyectos motivados por intereses particulares abdicando la intención de realizar un acompañamiento que perdure en el tiempo.

En cuanto a los servicios ecosistémicos identificados, la comunidad no ha sido consciente de su importancia de acuerdo con las preguntas generadas en la encuesta, toda vez que al tenerlos diariamente se vuelven cotidianos, por lo cual expresan que, al generar conciencia a través del ejercicio de construcción de los mapas, consideran que el agua para consumo humano y del ganado, la producción de pescado y leche, los cultivos de papa y las plantas medicinales son críticos para la subsistencia.

Estos servicios fueron identificados teniendo en cuenta la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Eco-sistémicos (PNGIBSE, 2012), (Aprovisionamiento, Regulación y soporte, Culturales y recreativos).

3.3.3 Jerarquizarquización de los servicios ecosistémicos encontrados en la parte alta de la cuenca del río Chinchiná

Para definir la jerarquización de los servicios ecosistémicos en las tres zonas con diferentes características (pero sobre la misma área de influencia), en cada una se dividieron por grupos así: en las zonas de Letras y La Favorita, la participación fue de cuatro grupos y en la zona de Aspar, tres grupos, todos los participantes de estas mesas son productores de la zona, personas que viven en el sector.

De acuerdo con lo anterior, en cada zona y cada grupo llegaron a consensos para hacer las valoraciones del nivel de importancia, el cual se describe en el siguiente ítem:

3.3.3.1 Nivel de importancia y frecuencia de uso zona Letras

Para la jerarquización de los servicios ecosistémicos se realizó una clasificación de los mismos de acuerdo con su función; en este sentido, se hizo una agrupación de las valoraciones.

En la Figura 24 se describe el nivel de importancia dado por cada uno de los grupos al nivel promedio; para el caso de la zona de Letras se tuvieron cuatro grupos sobre los cuales se realizaron consensos para la valoración en cada matriz.

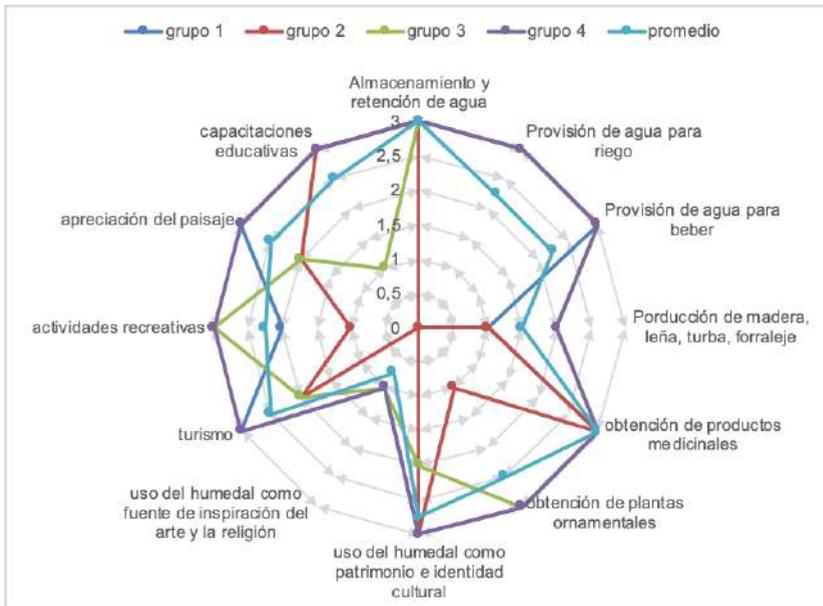


Figura 24. Síntesis de los grupos por nivel de importancia, zona de Letras

El almacenamiento y retención de agua es uno de los servicios ecosistémicos que la comunidad considera que es más importante, al igual que la obtención de productos medicinales (tales como la árnica, el yantén y espinillo de oro) y el turismo; los servicios ecosistémicos que menos nivel de importancia presentan son los relacionados con el uso del humedal como fuente de inspiración y la producción de madera.

El nivel de importancia frente a cada servicio ecosistémico otorgado por los grupos tiene algún grado de homogeneidad, por esto, como se presenta en la Figura 24, los valores que más se aproximan a 0 son más homogéneos, como es el caso de los servicios relacionados con la obtención de productos medicinales y el almacenamiento y retención de agua. Estos fueron considerados para los cuatro grupos como un servicio muy importante en la zona.

- *Frecuencia de uso zona Letras*

Como aparece en la Figura 25, frente a: la frecuencia de uso, la apreciación del paisaje, el uso del humedal como patrimonio, la identidad cultural, la obtención de productos medicinales y el almacenamiento y retención de agua, son los servicios ecosistémicos que más frecuencia de uso tienen; mientras que los que tienen menos frecuencia de uso son las actividades recreativas.

En esta zona de estudio la comunidad no consideró otro tipo de servicios ecosistémicos. La apreciación del paisaje juega un papel importante toda vez que corresponde a la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural los Nevados, la cual contempla un paisaje exuberante por el Nevado del Ruiz y por los humedales que existen en el sitio; es de gran importancia que la comunidad reconozca su paisaje y que tenga un alto sentido de pertenencia por el mismo y que lo identifique claramente como un servicio ecosistémico, lo que se puede conseguir con procesos de sensibilización y capacitación a la comunidad en servicios ecosistémicos.

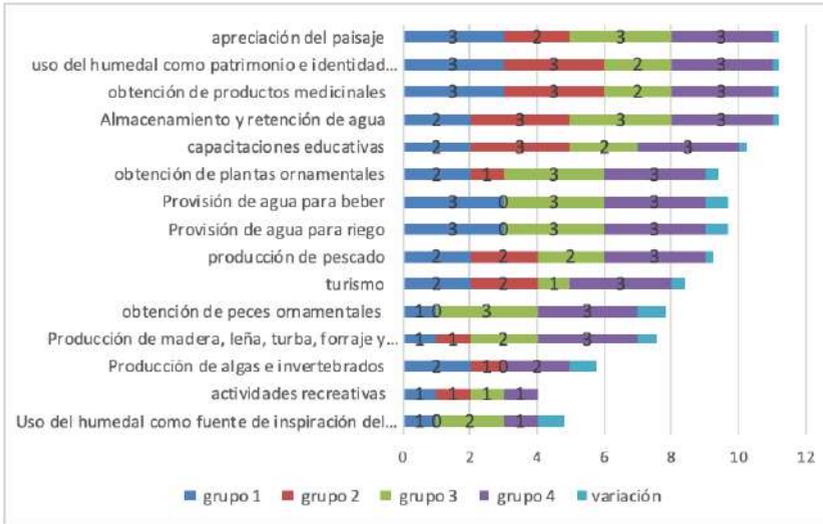


Figura 25. Frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos en la zona de Letras (los grupos corresponden a las divisiones grupales que se hicieron por cada sector)

3.3.3.2 Nivel de importancia y frecuencia de uso zona La Favorita

Como se observa en la Figura 26, en la zona La Favorita se tuvo la participación de tres grupos dentro de los cuales se llegaron a consensos para la calificación del nivel de importancia y la frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos.

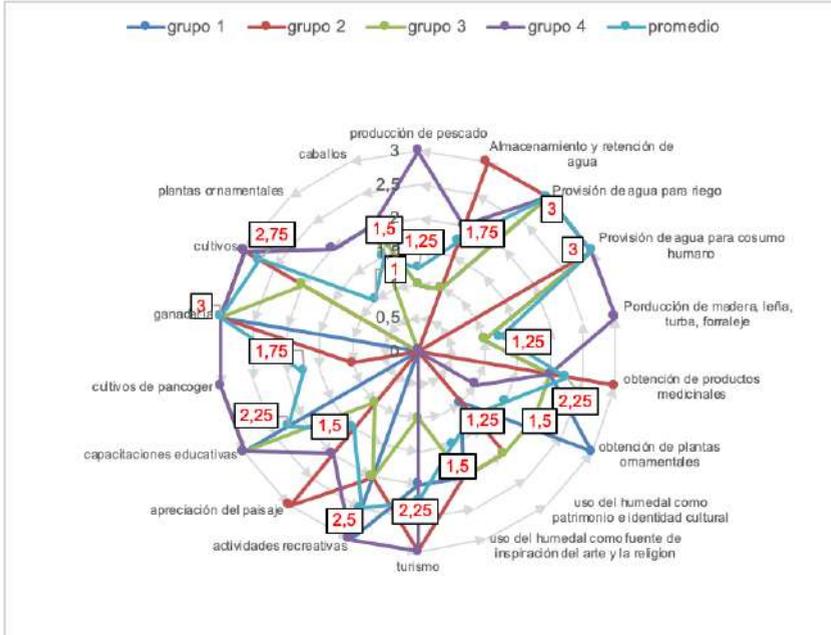


Figura 26. Nivel de importancia de los servicios ecosistémicos por grupo en la zona de La Favorita

Es importante resaltar que parte de la ganadería en la zona corresponde a ganado de casta y ganado de leche principalmente, de 1 a 2 cabezas por hectárea.

Dentro de esta zona, los servicios ecosistémicos que tuvieron una mayor calificación fueron la provisión de agua para consumo humano y para cultivos, principalmente para el cultivo de la papa que, junto con la ganadería, son los principales sistemas productivos de la zona. Otro aspecto importante es la calificación que se da al turismo y a las actividades recreativas, pues a pesar de que en la zona estas casi no se desarrollan debido a la lejanía del Parque Nacional Natural Los Nevados, la comunidad reconoce la gran importancia de sus servicios ecosistémicos. Sin embargo, el grupo tres no reconoce una gran importancia en el turismo. El uso del humedal como fuente de inspiración y como patrimonio e identidad cultural, presenta los niveles más bajos de calificación.

Frente al análisis de homogeneidad como aparece en la Figura 26, los datos que mayor similitud tienen entre grupos son los relacionados con la provisión de agua para consumo humano.

De acuerdo con los datos, donde se encuentra mayor homogeneidad en la zona La Favorita es en: los servicios ecosistémicos relacionados con la ganadería y los cultivos; lo relacionado con la obtención de plantas medicinales, donde se encuentra la árnica, el frailejón, el espino de oro, entre otros; y la provisión de agua para consumo humano, agua para riego y almacenamiento y retención de agua. Los datos más heterogéneos se encuentran en la plantas ornamentales y producción de leña o forraje. La mayoría de los datos se encuentran muy homogéneos.

- *Frecuencia de Uso*

Como aparece en la Figura 26, los cultivos, las capacitaciones educativas y la recreación son los servicios ecosistémicos que tienen una mayor frecuencia de uso, seguidos de la ganadería y la obtención de plantas medicinales, de las cuales las que mayormente se utilizan en esta zona son: árnica y romero de páramo. Los procesos educativos en la zona están orientados alrededor de los humedales por instituciones tanto gubernamentales como por ONGs, tal es el caso de la Fundación Pangea, Fundación Cerro Bravo y otras como Parques Nacionales Naturales y Corpocaldas. Los humedales brindan un escenario de reflexión y sensibilización para las comunidades del sector. Las plantas ornamentales, así como la producción de madera, son los servicios que tienen menor frecuencia de uso alrededor de los humedales.

3.3.3.3 Nivel de significancia y frecuencia de uso zona Aspar-Laguna Negra

Esta zona es de gran importancia dentro del área de estudio por su cercanía al Parque Nacional Natural Los Nevados y por la presencia de humedales como Laguna Negra. Esto hace que haya un mayor reconocimiento de la importancia de los servicios ecosistémicos, puesto que es una zona turística; sin embargo, apenas hasta hace algunos años se han venido promoviendo los humedales como atractivo turístico, siendo la observación de aves dentro de los mismos lo que más motiva a los turistas.

Como se puede observar en la Figura 27, los servicios que mayor nivel de importancia tienen dentro de la comunidad de Aspar y Laguna Negra son el almacenamiento y retención de agua, provisión de agua para beber, obtención de plantas ornamentales y agua para cultivo y ganadería; por otro lado, la obtención de plantas medicinales y el uso del humedal como patrimonio e identidad cultural son los servicios que se consideran de menor nivel de importancia.

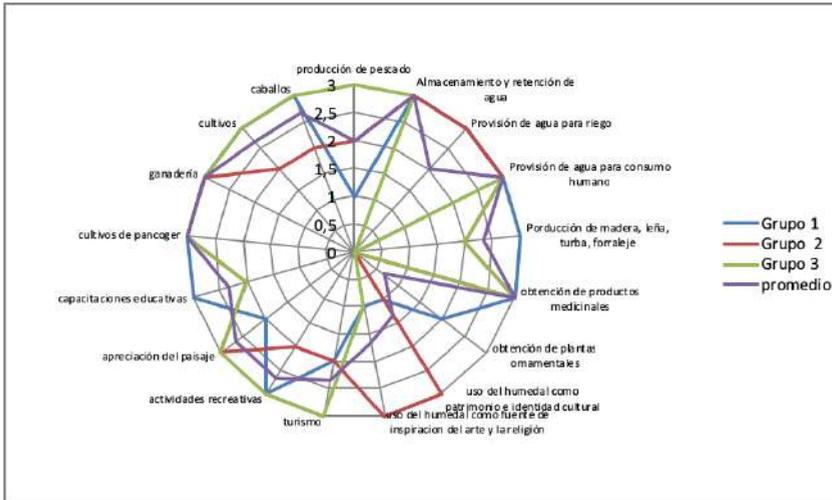


Figura 27. Nivel de importancia de los servicios ecosistémicos por grupo en la zona Aspar- La Laguna

Frente a la homogeneidad de los datos producto del nivel de importancia, se puede decir que casi todas las respuestas son muy coherentes unas con otras y recurrentes entre los grupos; sin embargo, frente a la obtención de plantas ornamentales se observa una mayor heterogeneidad. En la Figura 27 se muestra la homogeneidad de los datos.

- *Frecuencia de Uso Aspar-La Laguna*

Los humedales se usan con mayor frecuencia para: ganadería, cultivos de pancoger como la cebolla, agua para consumo humano y para riego. En general, considerando las dos figuras, se puede inferir que hay coherencia entre la importancia de los servicios ecosistémicos y su frecuencia de uso. La Figura 28 muestra la frecuencia de uso de estos servicios.

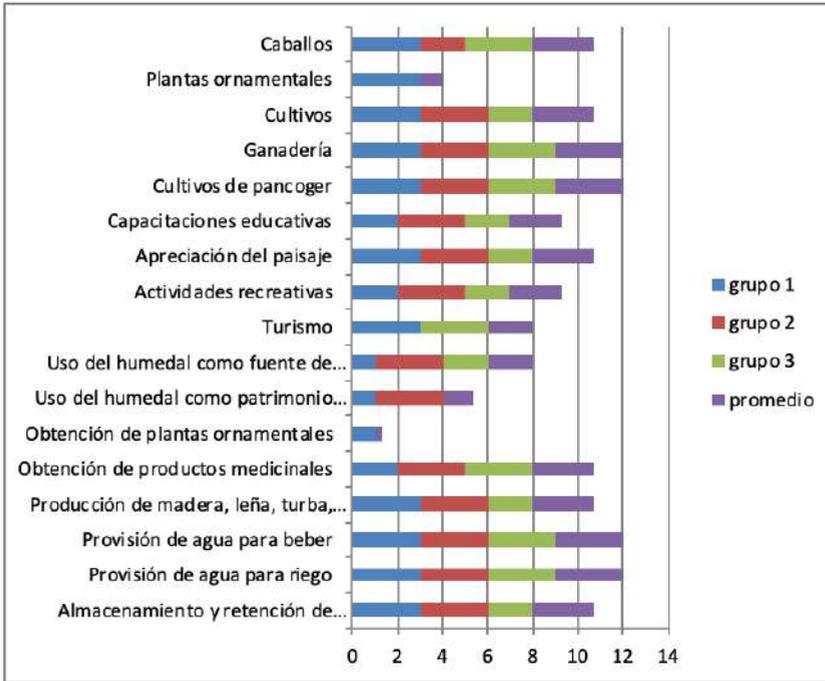


Figura 28. Frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos, zona Aspar-La Laguna (0 a 12 Número de participantes del sector)

3.3.4 Valoración socioeconómica

En el ejercicio de la valoración socioeconómica se utilizó la propuesta de Emerton & Mogaka (1996) para la valoración de recursos forestales en Kenia. En este caso, se utilizaron puntos para asignarle la cantidad representativa a cada servicio ecosistémico de acuerdo con el valor simbólico, utilizando la siguiente fórmula:

$$VT_{se} = (VF_{se}/FO) * (VO)$$

Donde:

- VT_{se} = Valor total del Servicio Ecosistémico (SE)
- VF_{se} = Valor representado en fríjoles del SE
- FO = Valor representado en fríjoles del animal u objeto de referencia
- VO = Valor monetario (en pesos) del animal u objeto de referencia.

Es importante anotar que, al momento de realizar la actividad de valoración, la comunidad priorizó nuevamente los servicios ecosistémicos sobre los cuales prefirió generar el valor.

- *Valoración económica zona Aspar-La laguna*

Para dar inicio al ejercicio, los participantes en común acuerdo definieron el sistema productivo o la unidad de mercado más importante en la zona, en este sentido, se definió que es la leche, la cual es vendida por unidades de 20 litros a \$17.000.

Una vez conocida la unidad más importante, se procedió a listar todos los servicios ecosistémicos para poder asignar el número de puntos a cada uno (Tabla 24).

Tabla 24.

Valoración socioeconómica, zona Aspar-La Laguna

Servicio ecosistémico	Cantidad de puntos asignados	VTse (de acuerdo con la fórmula) \$
Producción de leche	30	17000
Pesca	2	1133
Cultivos pancoger	3	1700
Cultivos grandes	13	7366
Plantas medicinales	1	566
Sostenimiento del agua (regulación)	50	28333
Actividades recreativas	1	566

De esta manera, el sostenimiento del agua (almacenamiento y retención) es el servicio al cual la comunidad le asigna un valor económico más alto, para este caso: \$28.333, lo que quiere decir que, en lugar de la producción de 20 litros de leche por vaca en esta zona, se puede crear un incentivo a la conservación equivalente a \$28.333, en las fincas ganaderas. Por cada 20 litros de leche, pagar a la gente \$28.333 para que conserve el ecosistema en lugar de producir la leche, este es un valor que se ha conservado a lo largo del tiempo.

- *Valoración socioeconómica zona La Favorita*

Para esta zona, los participantes definieron que su unidad de mercado más representativa es el cultivo de la papa, la cual se vende por bultos con un valor de \$35000. En la Tabla 25 se muestra la valoración realizada en la zona La Favorita.

Tabla 25.
Valoración socioeconómica zona La Favorita

Servicio ecosistémico	Cantidad de Puntos asignados	VTse (de acuerdo con la fórmula) \$
Provisión agua para producción de leche	20	35000
Provisión de agua para riego de papa	20	35000
Sostenimiento del agua (regulación)	30	52500
Turismo	10	17500
Apreciación del paisaje	10	17500
Capacitaciones educativas	10	17500

El mayor valor asignado fue el del sostenimiento del agua (almacenamiento y retención), con un valor en pesos asignado de \$52.500; posteriormente, se asigna a los sistemas productivos de la lechería y el cultivo de papa, la valoración de servicios de mayor importancia. Por tanto, en lugar de la producción de un bulto de papa, se podría generar un incentivo a la conservación de \$52.500 en las fincas que producen papa. Por cada bulto de papa, podría pagarse a los habitantes del sector \$28.333 para que conserven el ecosistema en lugar de producir la papa.

3.4 Conclusiones

Los servicios de regulación son los calificados con mayor nivel de importancia en los tres sectores estudiados.

Los servicios ecosistémicos asociados con el agua para abastecimiento doméstico son los considerados con mayor frecuencia de uso para la comunidad.

A los servicios relacionados con el turismo se les da una mayor importancia en la zona de Aspar, puesto que esta zona hace parte del área de influencia del Parque Nacional Natural los Nevados y, por otro lado, la Laguna Negra es un sitio de observación de aves para los turistas.

Se reconocen en bajo nivel de importancia los servicios ecosistémicos culturales y de recreación; los grupos no relacionan que estos ecosistemas pueden ser fuente de inspiración para la cultura y la religión; sin embargo, en el sector de Aspar se observa que se rescatan los valores culturales de los humedales, especialmente de los antepasados.

En la valoración socioeconómica que hace la comunidad para una zona, identifica que su unidad de mercado más importante es la lechería, mientras que para el otro es la papa; sin embargo, para cada zona se reconoce un mayor valor económico a la provisión de agua para consumo humano.

Inicialmente, la identificación de los servicios ecosistémicos por parte de la comunidad es de gran relevancia, pues se reconoce su valor y la importancia de su cuidado y sostenibilidad. La construcción de la cartografía social o mapas parlantes permite a la comunidad identificar su territorio y su entorno y generar conciencia en cuanto a la frecuencia de uso y grado de importancia de los servicios ecosistémicos. Además, se promueve el diálogo sobre cómo los niños sueñan su territorio en el futuro y qué esperarían que perdurara en el tiempo o los aspectos que deberían mejorarse.

Referencias

- Azqueta, D. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Blanco, D. (1999). Los humedales como hábitat de aves acuáticas. En Malvárez, A. (ed.) *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. (pp. 208-217). Montevideo: ORCYT-UNESCO.
- Bucher, E. y G. Herrera. (1981). Comunidades de aves acuáticas de la laguna Mar Chiquita (Córdoba, Argentina). *Ecosur*, 8(15), 91-120.
- Canevari, M., Canevari, G., Carrizo, G., Harris, J., Rodríguez, M. y Straneck, R. (1991). *Nueva guía de las aves argentinas*. Santiago de Chile: Fundación Acindar.
- Convención Ramsar. (2011). Control de inundaciones. *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Ficha informativa, 1*. Recuperado de: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_01_s.pdf

- Convención Ramsar. (2011a). Reposición de aguas subterráneas. *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Ficha informativa*, 2. Recuperado de: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_02_s.pdf
- Convención Ramsar. (2011b). Estabilización de costas y protección contra tormentas. *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Ficha informativa*, 3. Recuperado de: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_03_s.pdf
- Convención Ramsar. (2011c). Depuración de aguas. *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Ficha informativa*, 5. Recuperado de: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_05_s.pdf
- Díaz, Y. y Pinilla, M. (2013). Metodología integral para la valoración social y económica del humedal Santa María del Lago. *Revista Tecnológica*, 12(1), 45-54. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6041558.pdf>
- Emerton L. & Mogaka H. (1996). Participatory environmental valuation: subsistence forest use around the Aberdares, Kenya. *Participatory learning and action notes*, (26), 6-10.
- González, M. y Guillot, G. (1993). *Colombia, caminos del agua*. Bogotá: Banco de Occidente.
- Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M. y Davidson, N. (2007). Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. *Informe técnico de Ramsar número 3. Número 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB*. Recuperado de: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_rtr03_s.pdf
- Hecker, N., Costa, L., Farinha, J. & Tomas, P. (1996). *Mediterranean wetland inventory: data recording*. Lisboa: Instituto da Conservacao da Natureza, Wetlands International
- Instituto de Investigaciones de los Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (1999). *Humedales interiores de Colombia: bases técnicas para su conservación y uso sostenible*. Bogotá: autor.
- Lomas, P., Martín, B., Louit, C., Montoya, D., Montes, C. y Álvarez, S. (2005). *Guía práctica para la valoración económica de los bienes*

y servicios ambientales de los ecosistemas. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Martínez, M. (1993). Las Aves y la Limnología. En Boltovskoy, A. y López, H. (Eds.). *Conferencias de limnología* (pp. 127-142). La Plata (Argentina): Instituto de Limnología Dr. R.A. Ringuelet.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos* (PNGIBSE). Recuperado de: http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_esp%C3%B1ol_web.pdf

Minambiente. (s.f). Sistema de información ambiental en Colombia. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/ofertaagua>

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Política nacional para humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible*. Bogotá: autor.

Murphy, S., Kessel, B. & Vining, L. (1984). Waterfowl populations and limnologic characteristics of Taiga ponds. *Journal of wildlife management*, 48(4), 1156-1163.

Naranjo, L. (1997). Avifauna acuática residente y migratoria en Colombia. En *Sabanas, vegas y palmares. El uso del agua en la Orinoquia colombiana*. Bogotá: Universidad Javeriana y CIPAV.

Sabo, J., Sponseller, R., Dixon, M., Gade, K., Harms, T., Heffernan, J., et al. (2005). Las zonas riparias aumentan la riqueza de las especies regionales al pasar a las especies diferentes. *No Más*, (86), 56-62.

Sculthorpe, C. (1985). *The biology of aquatic vascular plants*. Königstein (Germany): Koeltz Scientific Books.

Stolk, M., Verwelj, P., Stuij, M., Baker C. y Oosteberg, W. (2006). *Valoración socioeconómica de los humedales en América Latina y el Caribe*. Países Bajos: Wetlands International. Recuperado de: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/642/BIV00612.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Squeo, F., Warner, B., Aravena, R. & Espinoza, D. (2006). Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, (79), 245-255.

© Copyright 2018
Universidad Católica de Manizales

Todos los derechos reservados por la Universidad Católica de Manizales. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de reproducción de la información ni transmitir parcial o totalmente esta producción, incluido el diseño, cualquiera que sea el medio empleado: electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc., sin el permiso del titular de los derechos de propiedad intelectual.

CONSOLIDACIÓN Y FORTALECIMIENTO DE HERRAMIENTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE HUMEDALES ALTOANDINOS

Este libro es producto de diferentes investigaciones realizadas desde el año 2010 hasta el 2017 en humedales altoandinos, especialmente los ubicados en la parte alta de la cuenca del Río Chinchiná. Se hace una recopilación de las principales herramientas de conservación utilizadas para el análisis del ecosistema, así como una descripción de diferentes instrumentos de participación comunitaria que implican no solo entender la relación hombre-naturaleza, sino también, determinar procesos de planificación que conlleven al mejoramiento y recuperación de los humedales. De igual manera, en el libro se establecen mecanismos de reconocimiento de los servicios ecosistémicos y su caracterización para una posterior aproximación a procesos de valoración económica de los humedales.



ce **centro
editorial**
Universidad Católica de Manizales