



El ambiente
es de todos

Minambiente

RESÚMENES Y MEMORIAS



Taller internacional
Experiencias en monitoreo y
seguimiento de ecosistemas acuáticos.

Colombia

Febrero 23; marzo 2, 9, 16 y 23, de 2021



IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



Fundación
Natura
COLOMBIA



CONDESAN
Consortio para el Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Andina



El ambiente
es de todos

Minambiente

Taller Internacional Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos

Organiza



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Apoyan



Red Nacional
Académica
de Tecnología
Avanzada



Atardecer - Santa Marta - Colombia.
Fotografías: Maria Juliana Salcedo

Resúmenes y Memorias Taller Internacional Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos

Iván Duque Márquez

Presidente de la República de Colombia

Carlos Eduardo Correa Escaf

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Yolanda González Hernández

Directora General

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Ana Celia Salinas Martín

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Clara Ligia Solano

Directora Ejecutiva

Fundación Natura

Nancy Vargas Tovar

Subdirectora Técnica

Fundación Natura

Juan Carlos Alonso González

Coordinador

Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive

María Arguello Arguello

Directora Ejecutiva

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina

Equipo organizador

Ideam; Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

Liz Johanna Díaz Cubillos

Claudia Patricia Andramunio Acero

María Juliana Salcedo Hernández

Lina María Parada Alzate

Fundación Natura; Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive

Ana Cevalyn León Rincón

Lyda Amparo Cruz Méndez

Mónica Tatiana López Muñoz

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan); Proyecto de Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en los recursos hídricos de los Andes - cuenca lago de Tota (Aicca)

María Carolina Obando Vargas

Equipo de apoyo

Ideam; Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

Eliana Marcela Mendoza Parra

Fundación Natura; Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive

Raúl Páez Mendoza

Edwin Andrés Cruz Pérez

Juan David Serna Arbeláez

Astrid Tatiana Romero Martínez

Sharel Alexa Charry Ocampo

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan); Aicca

Luz Helena Hernández

Paola Pérez

Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (Renata)

Erika Viviana Casas González

Andrés Martín

David Ramiro Rodríguez Rodríguez

Comité Editorial

Edición General

Laura Camila Grueso

Comunicaciones y Prensa - Ideam

Ana Celyn León Rincón

Coordinadora Componente C3

Fundación Natura Proyecto GEF Magdalena Cauca Vive.

Diseño y diagramación

Angela Acosta Barajas

Ana Olaya

Unión Gráfica

Cítese como

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Fundación Natura, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan). 2021. Primer Taller Internacional Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos.

Resúmenes y memorias. Bogotá, Colombia. 160 pp. Edición 1.

ISSN Digital: 2805-7732

Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por los autores e Ideam. Distribución gratuita.

Publicación aprobada por el Ideam, Bogotá D.C., Colombia. pp. 1 - 160. 10 de Noviembre de 2021

Ponentes

Presentaciones institucionales y de avances del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos*

Dra. Yolanda González Hernández; directora, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Dra. Clara Ligia Solano; directora ejecutiva, Fundación Natura.

Dra. Ana Celia Salinas; subdirectora, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental (SEIA), Ideam.

MSc (c). Liz Johanna Díaz Cubillos; coordinadora Grupo de Suelos y Tierras, SEIA, Ideam.

Dr. Juan Carlos Alonso; coordinador general, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

MSc. Miguel Vera Lugo; líder técnico nacional, Proyecto Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en recursos hídricos en los Andes (Aicca), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan).

MSc. Lina María Parada; profesional componente Sistemas de Información Geográfica (SIG), SEIA, Ideam.

MSc. Claudia Patricia Andramunio Acero; profesional componentes hidrobiología y calidad del agua, SEIA, Ideam.

MSc. María Juliana Salcedo Hernández; profesional componentes socioeconómico y biofísico, SEIA, Ideam.

MSc. Raúl Páez Mendoza; profesional temático suelos y geomorfología, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

Dr (c). Edwin Andrés Cruz Pérez; profesional temático estadístico, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

Biól. Mery Cecilia Torres; gestora pesquera, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

Sesiones plenarias

MSc. Santiago Roberto Duque Escobar; coordinador, Grupo de Investigación en Limnología Amazónica y Laboratorio de Manejo y Gestión de Humedales, Instituto Amazónico de Investigaciones (Imani), Universidad Nacional de Colombia (UNAL), sede Amazonía.

Dra. Mary Luz Cañón Pérez; responsable de Investigación Científica Marina. Dirección General Marítima (Dimar).

Dra. María Rivera; consejera para las Américas, Secretaría de la Convención Ramsar sobre los Humedales.

Dra. Paula Cristina Sierra-Correa; coordinadora de Investigación e Información para Gestión Marina y Costera, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar).

Dra. Diana Ramírez; coordinadora, Programa Usaid – Riqueza Natural, Ideam.

Dr. (c). Diego Alejandro Chalarca Rodríguez; docente, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.

MSc. Fabio Andrés Bernal Quiroga; coordinador, Grupo de Modelación y Pronóstico, Subdirección de Hidrología, Ideam.

Dr (c). Javier Otero García; experto en suelos, Grupo de Suelos y Tierras, SEIA, Ideam.

Dra. Lilian Posada García; profesora Facultad de Ingeniería, UNAL, sede Medellín.

Dr. Narcis Prat. Catedrático emérito e investigador; *Freshwater Hydrology, Ecology and Management* (FHEM), Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales, Universidad de Barcelona.

Dr. Sergi Sabater; profesor, Universidad de Girona / investigador, Instituto Catalán de Investigaciones del Agua (ICRA).

Dra. Esther Julia Olaya Marín; líder temática Componente Hídrico Superficial, Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo, Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Dr. Ricardo Valencia Ramírez; subdirector general, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Dr. Nelson Obregón Neira; director, Instituto Javeriano del Agua, Pontificia Universidad Javeriana.

Mesas temáticas

Ing. Julio César Álvarez; profesional SIG, Proyecto Aicca, Condesan.

MSc. María Juliana Salcedo Hernández; profesional componentes socioeconómico y biofísico, SEIA, Ideam.

MSc. Raúl Páez Mendoza; profesional temático suelos y geomorfología, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

MSc. Lina María Parada; profesional componente SIG, SEIA, Ideam.

Esp. Daniel Gama; profesional SIG, programa Usaid – Riqueza Natural, Ideam.

MSc. Claudia Nicol Tetay Botía; profesional, Subdirección de Hidrología, Ideam.

Esp. Julián Darío Guerrero; profesional, Grupo de Acreditación, Subdirección de Estudios Ambientales, Ideam.

Química Claudia María Ávila Laverde; coordinadora, Laboratorio de Calidad Ambiental, Ideam.

MSc. Claudia Patricia Andramunio Acero; profesional componentes hidrobiología y calidad del agua, SEIA, Ideam.

MSc. María Carolina Obando Vargas; profesional técnico local; Proyecto Aicca, Condesan.

Dr (c). Javier Otero García; experto en suelos, Grupo de Suelos y Tierras, SEIA, Ideam.

MSc. Diana Jiménez; profesional Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la tierra (Afolu por sus siglas en inglés) Alta Montaña, programa Páramos y Bosques, Subdirección de Estudios Ambientales (SEA), Ideam.

Dra. Diana Isabel Gómez López; jefe de línea Organización y Dinámica de Ecosistemas, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM), Invemar.

Dra. Lizbeth Janet Vivas Aguas; jefe de línea de Investigación Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros, programa Calidad Ambiental Marina (CAM), Invemar.

MSc (c). Juan David Serna; profesional indicadores Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)-Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

Dra (c). Angélica Batista; investigador adjunto, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Instituto Humboldt).

Dra. Lizette Quan Young, profesora, Universidad CES.

Dr. Carlos Felipe Torres T.; líder técnico monitoreo, reporte y verificación del sector agropecuario, Grupo Cambio Climático, SEA, Ideam.

MSc. Lady Vargas Porras; investigadora principal Componente Ambiental, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP).

MSc (c). Diana Rocío Padilla Rivera; líder de proyectos, Consultoría y Gestión Ambiental S.A.S.

Dra. Ana Lucía Estrada Posada; profesional ambiental, Gerencia de Producción de Energía, Isagén.

MSc. Ana Cevalyn León Rincón; coordinadora C3, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

MSc (c). Luz Helena Hernández; profesional social, Proyecto Aicca, Condesan.

Dr (c). Edwin Andrés Cruz Pérez; profesional temático estadístico, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

Agradecimientos

En nombre del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam); los Proyectos GEF Magdalena-Cauca Vive, de la Fundación Natura, y de Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de los Andes (Aicca), ejecutado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan); expresamos nuestro sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible este evento y a quienes han fortalecido técnica, operativa y científicamente el proceso de formulación del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*.

Especial reconocimiento merecen quienes, a partir de su formación académica y experiencia profesional, enriquecieron este taller con sus excelentes presentaciones, tanto en sesiones plenarias como en mesas temáticas, y las instituciones a las cuales pertenecen, por permitirles los espacios para brindarnos tan valiosa colaboración y soporte conceptual. Asimismo, a todo el equipo de apoyo logístico y a la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (Renata), por el soporte técnico.

Queremos destacar y agradecer a los 494 participantes que nos acompañaron a lo largo del desarrollo del evento; especialmente a quienes fortalecieron los temas tratados con sus intervenciones durante las sesiones, pero con mayor reconocimiento a quienes nos brindaron sus valiosos aportes en las mesas temáticas y en las diferentes actividades propuestas para las mismas. Resaltamos la participación activa de representantes de 34 universidades nacionales, 31 autoridades ambientales regionales, 15 áreas protegidas, 9 empresas del sector privado, 8 asociaciones y fundaciones, 8 instituciones educativas internacionales y 5 institutos de investigación.

Esperamos seguir contando con el apoyo de todas las personas e instituciones que nos han acompañado y fortalecido en este proceso, y de quienes se sumen en las próximas fases de construcción de este Proyecto de país.

Con sentimientos de aprecio y gratitud,

**Equipo organizador
Taller Internacional Experiencias en Monitoreo y
Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos.**

Siglas

Aicca:	Proyecto de Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en Recursos Hídricos en los Andes.
AMP:	Áreas Marinas Protegidas
ANLA:	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
Aunap:	Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca
CAR:	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CARs:	Corporaciones Autónomas Regionales
CMA:	Atlas Marino del Caribe (por sus siglas en inglés)
Condesan:	Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina
Conpes:	Consejo Nacional de Política Económica y Social
Corantioquia:	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
Corpochivor:	Corporación Autónoma Regional de Chivor
COV:	Compuestos Orgánicos Volátiles
CRA:	Corporación Autónoma Regional del Atlántico
CVS:	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
Dhime:	Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos del Ideam.
Dimar:	Dirección General Marítima
DMA:	Directiva Marco del Agua
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
DRMI:	Distrito Regional de Manejo Integrado
EA:	Ecosistemas Acuáticos
EMC:	Evaluación Multicriterio
ENA:	Estudio Nacional del Agua
ENOS:	Fenómeno natural El Niño-Oscilación del Sur
EPA:	Establecimiento Público Ambiental
ERA:	Evaluación Regional del Agua
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GCI:	Índice de clorofila
GEF:	Global Environment Facility
GEI:	Gases Efecto Invernadero
Ha:	hectárea
HAP:	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
IA:	Índice de aridez
Ical:	Índice de alteración potencial a la calidad del agua
IARC:	Índice de agua no retornada a la cuenca
Iasap:	Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes
ICA:	Índice de calidad del agua

Ideam:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IEAS:	Índice de extracción de agua subterránea
IER:	Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de Colombia.
IEUA:	Índice de eficiencia en el uso del agua
IGAC:	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IIAP:	Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John Von Neumann
IIUA:	Índice integral del uso del agua
Instituto Humboldt:	Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Invermar:	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés
IPHE:	Índice de presión hídrica al ecosistema
IRCA:	Índice de riesgo para la calidad del agua potable
IRH:	Índice de retención y regulación hídrica
IRS:	Índice de rendimiento medio de sedimentos
IVET:	Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales
IVH:	Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento
Ivicas:	Índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de aguas subterráneas
Lidar:	Light Detection and Ranging
MCP:	Monitoreo Comunitario Participativo
MEC:	Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia
Mgepea:	Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales
Minagricultura:	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
Minambiente:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Mndwi:	Índice de diferencia de agua normalizado modificado
NDVI:	Índice de vegetación de diferencia normalizada
NDWI:	Índice diferencial de agua normalizado
NMP:	Número más probable
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PAJ:	Proceso analítico jerárquico
Pngirh:	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
Pnmrh:	Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico
PNN:	Parques Nacionales Naturales de Colombia
POA:	Proyecto, obra o actividad
Pomca:	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
POP:	Pesticidas Orgánicos Persistentes
PORH:	Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico
POT:	Plan de Ordenamiento Territorial
Redcam:	Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia.
Respel:	residuos peligrosos

Runap:	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas
SAMP:	Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas
SEIA:	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
SEN:	Sistema Estadístico Nacional
SFF:	Santuario de Flora y Fauna
SGC:	Servicio Geológico Colombiano
SIA:	Sistema de Información Ambiental
SIAC:	Sistema de Información Ambiental de Colombia
SIAM:	Sistema de Información Ambiental Marino de Colombia
SiB Col:	Sistemas de Información de Biodiversidad de Colombia
SiBM:	Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
Simac:	Sistema de Monitoreo de Arrecifes Coralinos.
SINA:	Sistema Nacional Ambiental
SIRH:	Sistema de Información del Recurso Hídrico
Sivicap:	Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano
SP:	Índice de sequía y precipitación
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
Sinchi	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas
UA:	Índice del uso del agua superficial
UAV:	Vehículos aéreos autónomos
UFC:	Unidades Formadoras de Colonia
UNAL:	Universidad Nacional de Colombia
UPTC:	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente (Bogotá)
TNC	The Nature Conservancy
Uaesppn	Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
Usaid	Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
WCS	Wildlife Conservation Society Colombia
WWF	World Wildlife Foundation Colombia



Participación del Taller Internacional sobre experiencias en monitoreo de ecosistemas acuáticos

Participación social

34 Entidades educativas

9 Empresas privadas

8 Fundaciones y asociaciones

8 Instituciones internacionales

SINA central

5 Institutos de investigación



33 Corporaciones autónomas regionales

5 Territoriales

15 Parques Nacionales Naturales



PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

1 Agencia Nacional



Participación transectorial



Taller internacional
Experiencias en monitoreo y seguimiento de ecosistemas acuáticos.

5 Sesiones

494 Asistentes

4 Entidades



Dirección General Marítima
Autoridad Marítima Colombiana



AUNAP
AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA



Instituto Distrital de las Artes



INFORMACIÓN PARA TODOS

• **Figura 1.** Estadísticas de participación en el taller.

• **Fuente:** elaboración propia (2021).

Tabla de Contenido

Introducción general.....	19
Estructura de sesiones y memorias	21
Sesión 1. Componente Sistemas de Información Geográfica – SIG y unidades de análisis ..	22
Introducción.....	24
Resúmenes de ponencias	25
Particularidades y singularidades de la Colombia continental acuática, para el monitoreo de sus ecosistemas	25
Identificación y seguimiento de florecimientos fitoplanctónicos mediante el IOP índice, medidas para reducir el riesgo de transferencia de especies invasoras a través del transporte marítimo	27
Monitoreo y gestión de los ecosistemas acuáticos en el marco de la convención sobre los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	29
Experiencias y herramientas para monitoreo en ecosistemas marinos, costeros e insulares en Colombia.....	31
Avances en el monitoreo de las sabanas inundables de la Orinoquía colombiana	34
Mesas temáticas.....	37
Sesión 2. Componente hidrológico	53
Introducción.....	55
Resúmenes de ponencias	56
Indicadores de calidad física y química de sistemas acuáticos.....	56
Oferta hídrica y calidad del agua.....	58
Mesas temáticas.....	61
Sesión 3. Componente biofísico	71
Introducción.....	73
Resúmenes de ponencias	74
Monitoreo y seguimiento de los principales procesos de degradación del suelo en Colombia y sus impactos en los ecosistemas acuáticos	74
Evaluación hidráulica y morfodinámica como indicador del estado de los sistemas acuáticos.....	76
Mesas temáticas.....	78

Sesión 4. Componente hidrobiológico.....	101
Introducción.....	103
Resúmenes de ponencias	104
Indicadores biológicos como herramientas de monitoreo y gestión de calidad del agua	104
Potencialidades y limitaciones del uso de indicadores biológicos en el monitoreo de los ecosistemas acuáticos. La experiencia de la directiva marco europea.....	106
Mesas temáticas.....	107
Sesión 5. Componente socioeconómico y proceso estadístico	124
Introducción.....	126
Componente socioeconómico.....	126
Proceso estadístico	127
Resúmenes de ponencias	128
Instrumentos para la gestión integral del recurso hídrico en el licenciamiento ambiental ..	128
Desarrollo e implementación de indicadores ambientales en Colombia.....	130
Ecohidroinformática y sostenibilidad	132
Mesas temáticas.....	134
Conclusiones.....	155
Conclusiones generales	157
Proyecciones para el avance del proceso del protocolo y las siguientes fases	159

Índice de figuras

Figura 1. Estadísticas de participación en el taller.....	13
Figura 2. Cambios ecológicos que puede ocurrir en las principales alteraciones sobre el régimen hídrico identificadas y que representaría un aumento de emisiones de GEI en humedales.....	87
Figura 3. Cambios ecológicos que representan aumento de GEI por alteraciones sobre el régimen hídrico en humedales.....	87
Figura 4. Cambios ecológicos que pueden ocurrir en las principales alteraciones sobre la calidad del agua y la biota y que representaría un aumento o reducción de emisiones de GEI en humedales.	92
Figura 5. Cambios ecológicos que representan aumento de GEI por alteraciones sobre la calidad del agua y la biota en humedales.	92
Figura 6. Diagrama resumen de las principales temáticas abordadas en la mesa sobre variables claves del sector agropecuario a incorporar en el monitoreo nacional de ecosistemas acuáticos.....	139
Figura 7. Palabras y conceptos utilizados por los participantes de la mesa y de la encuesta para definir el MCP. El tamaño de cada palabra o concepto se relaciona con el número de veces que se utilizó (predominancia) por los participantes para definir el MCP.	148

Índice de tablas

Tabla 1. Insumos cartográficos vectoriales apropiados para el monitoreo de ecosistemas acuáticos.....	39
Tabla 2. Insumos de sensores remotos sugeridos para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos.....	41
Tabla 3. Características de la información para la definición de unidades de análisis.....	43
Tabla 4. Respuestas obtenidas en el formulario de presiones ejercidas sobre los ecosistemas acuáticos.....	44
Tabla 5. Jerarquía de las variables geomorfológicas y edafológicas.....	48
Tabla 6. Valoración de las variables de acuerdo con la escala de Saaty (1980) por parte de los participantes a la mesa.	50
Tabla 7. Porcentaje de uso y conocimiento de los indicadores nacionales.	64

Tabla 8. Variables físicas y porcentaje de priorización para el monitoreo.	67
Tabla 9. Variables químicas y microbiológicas-porcentaje de priorización para el monitoreo.	68
Tabla 10. Información disponible para el levantamiento edafológico.....	79
Tabla 11. Variables incorporadas actualmente y priorizadas para la inclusión en el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos.	80
Tabla 12. Ejercicio de priorización de variables e indicadores de procesos a regionalizar en relación con el componente suelos.	81
Tabla 13. Temáticas complementarias e indicadores utilizados y propuestos para el monitoreo de los ecosistemas marino costeros.	82
Tabla 14. Principales usuarios de las nuevas temáticas e indicadores planteados en la tabla anterior.	82
Tabla 15. Propósitos de uso de la información.....	83
Tabla 16. Variables para monitorear la función de captura o emisión de GEI en humedales.....	84
Tabla 17. Identificación (ID) de cambio ecológico en alteraciones sobre el régimen hídrico.	85
Tabla 18. Orden de magnitud en el que se considera que las alteraciones sobre el régimen hídrico ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera.....	88
Tabla 19. Identificación (ID) de cambio ecológico en alteraciones sobre la calidad del agua y biota.	89
Tabla 20. Orden de magnitud en el que se considera que las alteraciones sobre la calidad del agua y la biota ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera.....	93
Tabla 21. Variables relevantes para evaluar y monitorear la funcionalidad de los humedales como reservorios de carbono.....	94
Tabla 22. Variables biofísicas mínimas del recurso agua identificadas para el monitoreo nacional, en relación con los procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.	95
Tabla 23. Variables biofísicas mínimas del recurso suelo/ambiente identificadas para el monitoreo nacional en relación con los procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.....	96
Tabla 24. Grupos biológicos, por ecosistema acuático, identificados con mayor sensibilidad para la indicación de motores de cambio.	108

Tabla 25. Grupos mínimos de monitoreo de los ecosistemas acuáticos continentales.....	113
Tabla 26. Atributos hidrobiológicos mínimos para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos...	113
Tabla 27. Comunidades biológicas priorizadas para el ejercicio de regionalización.	115
Tabla 28. Criterios por tipo de ecosistema para el ejercicio de regionalización.....	116
Tabla 29. Obstáculos para el monitoreo de ecosistemas acuáticos.....	117
Tabla 30. Estrategias a priorizar para alcanzar los mínimos de monitoreo de ecosistemas acuáticos a escala nacional.	117
Tabla 31. Estrategias nacionales de validación de la información.....	118
Tabla 32. Grupos biológicos priorizados para procesos de validación de la información.	121
Tabla 33. Actividades agropecuarias relacionadas con la degradación de los ecosistemas acuáticos.	136
Tabla 34. Variables y/o atributos para el levantamiento de línea base, construcción y operación de hidroeléctricas.	144
Tabla 35. Periodicidad oportuna para el monitoreo de variables y/o atributos físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos.....	146
Tabla 36. Medidas de manejo, mitigación y/o compensación de impactos generados por las hidroeléctricas.	147
Tabla 37. Experiencias de los asistentes en procesos de MCP.....	149
Tabla 38. Consideraciones preliminares para realizar el proceso de recolección de información estadística.	154
Tabla 39. Nivel de conocimiento y consulta de información estadística nacional.	155

Introducción general

La degradación de los ecosistemas acuáticos constituye una realidad actual en el mundo entero. A pesar de que el conocimiento de las tasas y los patrones de pérdida y degradación es limitado en el país, es evidente que ambos procesos han avanzado considerablemente en los últimos 50 años, dada la mayor intensidad de actividades consideradas motores de cambio sobre estos ecosistemas (WWF-Colombia, 2017). Factores como sobreexplotación pesquera; desarrollo de infraestructura sin una evaluación adecuada de los impactos ambientales; drenaje; modificación de zonas de ronda hídrica; procesos de degradación y erosión del suelo en la cuenca; eutroficación, la contaminación química, orgánica y el cambio climático representan las principales problemáticas para los ecosistemas acuáticos epicontinentales, marinos, costeros e insulares (Naranjo *et al.*, 1999¹; Rodríguez *et al.*, 2012²).

Todo lo anterior ha generado la necesidad de avanzar en la construcción de modelos que permitan evaluar la pérdida y degradación de los ecosistemas acuáticos del país, lo cual implica ir más allá del alcance de los enfoques de calidad y cantidad, implementados hasta el momento en el marco del concepto de recurso, e integrar nuevos criterios que evidencien la degradación de aquellos aspectos funcionales que dan cuenta del estado del ecosistema.

En respuesta a esta necesidad y a los esfuerzos misionales del Ideam, en el año 2019 el Instituto se propuso como objetivo, desde la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, desarrollar el Proyecto de formulación del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, para lo cual se planteó el desarrollo de cuatro fases principales: Fase I (periodo 2019), identificación de bases técnicas para la formu-

1 Naranjo, L., Andrade, G., Ponce de León, E. 1999. Humedales interiores de Colombia: bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto Humboldt. ISBN 96529-6-4

2 Rodríguez, A., Rueda, M., Viaña, J., García, C., & F. Rico, L. G. y A. G. (2012). Evaluación y manejo de la pesquería de camarón de aguas profundas en el Pacífico colombiano 2010-2012. Santa Marta: INVEMAR, COLCIENCIAS, INCODER. Serie de publicaciones generales del INVEMAR No. 56.

lación del protocolo; Fase II (periodo 2020 - 2021), formulación del protocolo - documento propuesta; Fase III (periodo 2021 - 2022), validación mediante la implementación del protocolo en ventanas piloto y Fase IV (periodo final, 2022), socialización de resultados, oficialización y lanzamiento.

De esta forma, en el marco de la segunda fase, se consideró de gran importancia la socialización de la propuesta metodológica que se ha venido estructurando por el equipo de trabajo, con el apoyo de proyectos propios del instituto, como la actualización del *Protocolo del Agua* de la Subdirección de Hidrología, el Proyecto de estimación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Flujo de Carbono en Humedales de Alta Montaña de la Subdirección de Estudios Ambientales, en apoyo de Chemonics; el Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive de la Fundación Natura, que cuenta con el Ideam como uno de sus socios estratégicos, y el Proyecto Aicca, ejecutado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Condesan), que se viene implementando en Colombia en conjunto con el Ideam y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente).

En este contexto, se planeó el *Taller Internacional sobre Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos*, con

el objetivo de: socializar los avances de la propuesta metodológica del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*; identificar criterios, variables e indicadores mínimos para el monitoreo de estos ecosistemas; generar una ruta de articulación para su integración; conocer experiencias y recomendaciones de profesionales nacionales e internacionales, especialistas en las temáticas de unidades de análisis e indicadores hidrológicos, biofísicos, hidrobiológicos y socioeconómicos e incluir posibles estrategias de monitoreo participativo, para ajustar, cuando se considere necesario, la propuesta metodológica del protocolo.

El taller se llevó a cabo los días 23 de febrero; 2, 9, 16 y 23 de marzo, de 2021, y contó con la participación de expertos nacionales e internacionales, quienes realizaron presentaciones magistrales y mesas de trabajo sobre las temáticas mencionadas. Este documento presenta los resúmenes de las ponencias magistrales y las memorias del evento, así como las principales conclusiones de cada una de las mesas, las proyecciones para el avance procedimental del protocolo y las siguientes fases a desarrollar: consolidación de la propuesta, validación mediante implementación en ventanas piloto, socialización de resultados, oficialización y lanzamiento del mismo.

Estructura de sesiones y memorias

El *Taller Internacional sobre Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos* se desarrolló en 5 sesiones, según las temáticas identificadas como base para la propuesta metodológica del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, de la siguiente manera:

- Febrero 23 de 2021: componente SIG y unidades de análisis.
- Marzo 2 de 2021: componente hidrológico.
- Marzo 9 de 2021: componente biofísico.
- Marzo 16 de 2021: componente hidrobiológico.
- Marzo 23 de 2021: componente socioeconómico y proceso estadístico.

En cada una de las sesiones se llevaron a cabo 2 ponencias magistrales, fue presentado el avance de la propuesta del protocolo y se realizaron mesas de discusión y participación sobre la temática o temáticas indicadas. Además, se socializaron las principales conclusiones de dichas mesas.

Adicionalmente, en la sesión del 23 de febrero, a manera de apertura e introducción general al evento, fueron realizadas ponencias sobre experiencias en monitoreo y seguimiento de ecosistemas acuáticos de ámbito nacional (ecosistemas dulceacuícolas, marino costeros e insulares) e internacional, enmarcados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Convención Ramsar. En la sesión del 23 de marzo, como cierre del taller y en el marco de la conmemoración del día mundial del agua, celebrado el 22 de marzo, se realizó una conferencia sobre ecohidroinformática y sostenibilidad.

Este documento sigue la misma estructura y orden de las sesiones. De esta forma, se presentan capítulos para cada temática, con una breve introducción, los resúmenes de las ponencias generales, la síntesis y conclusiones de cada una de las mesas de trabajo y un compendio de la participación en la sesión. Al final, se presentan conclusiones del evento y proyecciones para la construcción del protocolo.

Además, se anexan las presentaciones de las ponencias y las conclusiones preliminares obtenidas tanto en sesiones plenarias como en mesas temáticas.

Sesión 1

Componente Sistemas de
Información Geográfica – SIG
y unidades de análisis



Imagen satelital *PlanetScope* (falso color) de la ciénaga de Zapatosa – Colombia.
Fotografía: *Norway's International Climate and Forest Initiative*(NICFI).

Introducción

MSc. Lina María Parada

Equipo de ecosistemas acuáticos
Grupo Suelos y Tierras
SEIA, Ideam.



Previo a la generación de la propuesta del diseño metodológico de zonificación de los ecosistemas acuáticos, se identificó la necesidad de definir unidades de análisis, como punto de partida, según lo establecido en los objetivos planteados en el *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país* y teniendo en cuenta un enfoque ecosistémico. Por tal razón, se optó, como línea base, por el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos a escala 1:100.000 (Ideam, 2017), debido a que es, entre los oficiales, el que clasifica ecosistemas acuáticos y terrestres a partir de aspectos de geopedología, coberturas terrestres y clima, fundamentales para el proceso de zonificación de los ecosistemas acuáticos.

En consecuencia, durante la primera sesión del taller se buscó contar con la experiencia de expertos en monitoreo de ecosistemas acuáticos para identificar insumos geográficos adicionales, discutir criterios de definición de las unidades de análisis, priorizar variables espaciales, valorar los criterios para la zonificación a partir del proceso analítico jerárquico y validar insumos y métodos de análisis de teledetección. De esta manera, desde el componente SIG del protocolo, se recopiló información que permitirá ajustar los procesos realizados a la fecha desde los demás componentes. Desde allí, se propone definir las unidades de análisis según su representatividad por extensión, categorización como ecosistemas estratégicos o evaluación de riesgos de degradación.

Resúmenes de ponencias

Particularidades y singularidades de la Colombia continental acuática, para el monitoreo de sus ecosistemas

MSc. Santiago Roberto Duque Escobar

Laboratorio de Manejo y Gestión de Humedales
Instituto Amazónico de Investigaciones, Imani
UNAL, sede Amazonía



La charla se dividió en: primero, qué tenemos; segundo, cómo son; y, tercero, qué les está pasando a los sistemas hídricos continentales de Colombia.

En el primer caso, hicimos una relación del conocimiento actual del área geográfica que representan los ecosistemas acuáticos de Colombia, refiriéndonos a sistemas lóticos (ríos, arroyos y arroyuelos), ambientes lénticos (buena parte de los llamados humedales) y ecosistemas transicionales en áreas de inundación fluvial. Una mirada a varias escalas muestra que las aproximaciones cartográficas

y geográficas no son muy favorables para el tamaño de los sistemas lóticos (en su gran mayoría son arroyos y arroyuelos que tienen menos de 100 m³/s), ni en los ecosistemas lénticos, buena parte de los cuales miden menos de 5 ha (<0,05 km²); por tanto, no son inventariados en los estudios de la mayoría de las entidades estatales, muchas de ellas pertenecientes al Sistema Nacional Ambiental- SINA. Si le incorporamos las nuevas predicciones de incluir la ronda hídrica en el entendimiento de todo sistema hídrico, solo considerando los 30 m del área aferente, se elevaría

sustancialmente la superficie de los ecosistemas acuáticos. Este simple ejercicio, sumado a un trabajo riguroso en tres pequeños sistemas lóticos de la Amazonia colombiana, indica que pasamos de 26%, a más de 40% del territorio nacional en cobertura de sistemas hídricos epicontinentales de Colombia.

En el segundo aspecto, hicimos un análisis de las condiciones geológicas que han afectado al norte del continente, y por tanto a Colombia, denotando una baja mineralización de las aguas medidas mediante la conductividad. Valores más altos no sobrepasan los 800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ y podemos tener muchos ambientes colombianos totalmente diluidos, incluso de 0,2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$, valor extremo más bajo en el mundo. Esto representa una condición digna

de tener en cuenta, tanto en la caracterización, como en la evaluación ambiental de los sistemas hídricos.

Para culminar, se mencionaron una serie de sensores que están afectando a todos los sistemas acuáticos del país; no solo a nivel superficial, sino en las relaciones con los acuíferos y aguas subterráneas. La mayoría de las variables tenidas en cuenta, los estándares de calidad y, por tanto, la interpretación de índices de calidad, tienen serias dificultades porque todo viene de estudios de otras regiones no tropicales del mundo, aplicados erróneamente en Colombia como realidad de la naturaleza acuática. Esto hace que la información que aún estamos generando pueda tener problemas de datos e interpretación.

Identificación y seguimiento de florecimientos fitoplanctónicos mediante el IOP índice, medidas para reducir el riesgo de transferencia de especies invasoras a través del transporte marítimo

Dra. Mary Luz Cañón Páez

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.
Dimar, Cartagena-Colombia



Está identificado que el incremento de la población mundial ejerce una enorme presión sobre las zonas costeras. Resultado inmediato de esta presión se relaciona con la presencia de eventos que degradan los ecosistemas, contaminan el agua, generan hipereutroficación, turbidez, entre otros. Estos eventos son cada vez más frecuentes e intensos y pueden tener un efecto negativo sobre los recursos naturales y otros servicios ecosistémicos ahí presentes. De allí nace la necesidad de realizar programas de monitoreo que puedan ser implementados de manera rutinaria y que contengan variables sensibles a los cambios del medio.

Dentro de estos programas, el monitoreo de la comunidad fitoplanctónica y de las propiedades ópticas en la columna de agua, ha permitido entender, con métodos más rápidos, la variabilidad de esta comunidad como consecuencia de los cambios ambientales actuales. Es así como el índice de propiedades ópticas inherentes (IOP Índice) se presenta como una herramienta para identificar y hacer seguimiento a florecimientos del fitoplancton. El IOP Índice se calcula a partir de las anomalías espaciales estandarizadas de los coeficientes de absorción del fitoplancton, el *detritus* y la materia orgánica disuelta coloreada. Va-

lores positivos del IOP índice indican condiciones de florecimiento, mientras que valores negativos indican condiciones de no florecimiento, siendo un florecimiento activo valores por arriba de dos desviaciones estándar.

Este índice fue validado para ambientes naturales (Estrecho de Gerlache, en la

Antártida) y para ambientes altamente afectados por el hombre (El Laguito, en Cartagena). Actualmente es una herramienta útil para el seguimiento de florecimientos, por parte de la autoridad marítima, de manera que se evita la transferencia de especies invasoras a través del agua de lastre, en las áreas afectadas por este tipo de eventos.

Monitoreo y gestión de los ecosistemas acuáticos en el marco de la convención sobre los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)



Dra. María Rivera

Secretaría de la Convención Ramsar sobre los Humedales.

El marco integrado para el inventario; la evaluación y el monitoreo de humedales son herramientas fundamentales que sientan las bases de muchos aspectos de la aplicación con éxito de la convención. Estas se centran en los propósitos e interrelaciones de distintos aspectos y herramientas sobre estos tres temas, disponibles en los documentos de orientaciones de la convención.

Esencialmente, el inventario de referencia de humedales se utiliza para reunir información que describa sus características ecológicas. Por su parte, la evaluación considera las presiones y los riesgos conexos de los cambios negativos en las características ecológicas; mientras que

el monitoreo puede incluir tanto estudios, como reconocimiento y brinda información sobre la cuantía de los cambios. Las tres son actividades de reunión de datos.

La convención sobre los humedales siempre ha reconocido la importancia del inventario nacional de humedales (INH), como una herramienta clave para informar las políticas nacionales y otras medidas que logren la conservación y el uso racional de los mismos. Esta decisión, de dar prioridad a los inventarios, también está relacionada con el compromiso de las partes contratantes de proporcionar datos sobre la extensión de los humedales, como parte de sus informes nacionales.

La convención es cocustodia, junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, del indicador 6.6.1 de los ODS, sobre el cambio en la extensión, a lo largo del tiempo, de los ecosistemas relacionados con el agua; utilizando los mismos datos proporcionados en los informes nacionales. De acuerdo con la clasificación de tipos de humedales de la convención, las partes reportan en tres ca-

tegorías: marinos o costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

Además de contribuir a los ODS, se espera que la medición de la extensión de los humedales en el marco de la convención contribuya significativamente al marco mundial de la diversidad biológica que se desarrolla como parte del convenio sobre la diversidad biológica y la década de las Naciones Unidas para la restauración.

Experiencias y herramientas para monitoreo en ecosistemas marinos, costeros e insulares en Colombia

Dra. Paula Cristina Sierra-Correa

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar).



El Sistema de Información Ambiental Marino de Colombia (SIAM), administrado por el Invemar, tiene como objeto desarrollar instrumentos de acopio, análisis y gestión de la información marina y costera de Colombia, incluyendo su articulación con las corporaciones autónomas regionales y demás entidades que depositen esta con sus respectivos metadatos, para hacerla visible y disponible dentro y fuera del país. Adicionalmente, el Invemar es responsable de reportar y aportar información al Sistema Estadístico Nacional (SEN), informar del estado de los recursos marinos y costeros a través del informe anual IER, a los ODS,

al Conpes bioceánico³ y a la década de los océanos 2021 – 2030, entre otros. El SIAM ha constituido en un referente en Latinoamérica y el Caribe, trascendiendo con ejemplos como el Atlas Marino del Caribe (CMA por sus siglas en inglés), los datos de biodiversidad que se surten a bases internacionales, como OBIS, y los aportes al desarrollo del *Ocean Info Hub* (OIH) para el decenio de las ciencias oceánicas 2021-2030.

El SIAM se articula al SIAC por medio de la provisión y gestión de información de una serie de subsistemas que monitorean diversos aspectos del medio marino y costero del país, los cuales incluyen diversas

3 Documento CONPES 3990: *Colombia Potencia Bioceánica 2030*

herramientas que alimentan el SIAM, con más de 40 millones de datos y 29 servicios en línea, incluida información de monitoreo de diversos aspectos relacionados con los ecosistemas marinos, costeros e insulares; algunos con más de 50 años en funcionamiento, como el monitoreo de la biodiversidad (SIBM), y otros con más de 20 años, como el monitoreo de los manglares y los monitoreos de recursos pesqueros y calidad de aguas.

La captura de datos georreferenciados y las herramientas utilizadas por el Invemar son diversas —desde el uso de algunas *in situ*, por medio de buceo con equipo autónomo, el uso de GPS, el empleo de drones como los Vehículos Aéreos Autónomos (UAV) y los Vehículos Submarinos Operados Remotamente (ROV)—, hasta campañas de investigación en buques oceanográficos, pesqueros y de otros tipos.

Las experiencias de Invemar en el monitoreo de ecosistemas marinos y costeros son variadas y se han centrado en sitios estratégicos en cuanto a su importancia ecológica y ambiental para el país; entre ellos, destaca el monitoreo de manglares de la zona deltaica estuarina del río Sinú, de la que también hacen parte las áreas emergidas adyacentes a la bahía de Cispatá, con información de la dinámica espacio temporal de la cobertura de manglar, desde el año 1957. De manera similar, se ha monitoreado la cobertura de la Ciénaga Grande de Santa Marta desde los años 50, donde se identifican cinco periodos, dife-

renciados por el tipo de insumos y métodos utilizados, que tienden al empleo de insumos visuales y métodos cada vez más automatizados, lo que resulta en información cartográfica con mayor nivel de detalle en la representación de las coberturas. Mediante modelos semiautomatizados —imágenes radar y ópticas, modelos topobatimétricos y captura de información *in situ* con corazonadores— se ha evaluado el contenido de carbono total de la biomasa aérea, raíces, necromasa y suelos, en los manglares de bahía Málaga y bahía de Cispatá, donde se han estimado el contenido de carbono total. Por otro lado, el instituto registra información en cinco estaciones oceanográficas distribuidas en el Caribe colombiano, que, entre otros aspectos, permiten reconocer eventos extremos como los ocasionados por el paso del huracán IOTA en noviembre de 2020. Respecto al monitoreo de cambio en la extensión de ecosistemas estratégicos, en el marco del Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SAMP), entre 2012 y 2015, se seleccionaron siete Áreas Marinas Protegidas (AMP) y fue evaluado el cambio en la extensión de los ecosistemas de manglar, playas, litoral rocoso, arrecifes de coral, pastos marinos y corales de profundidad.

Basado en la experiencia, el Invemar ha identificado algunas lecciones que se deben tener en cuenta a futuro:

1. En cuanto al establecimiento de información base para el desarrollo de

los monitoreos, un reto a superar es lograr información regional a la misma escala, pues es común que esta sea multiescalar.

2. Respecto al planteamiento de los monitoreos, se debe considerar que cada ecosistema presenta condiciones biofísicas específicas, con implicaciones tanto en su detección e identificación, como en la definición de sus límites; p. ej. el ecosistema de litoral rocoso es difícil de identificar por medio de sensores satelitales ópticos, por ello se deben usar sensores activos o radares y/o fotografías de áreas visualizadas con estereoscopia o puntos tomados con GPS en campo—para los corales de profundidad, los ROV son imprescindibles, pero presentan limitaciones cuando se requiere abarcar grandes áreas. Estos aspectos deben ser considerados para el establecimiento de umbrales y criterios para su delimitación.

Entre las iniciativas internacionales en las que participa el Invemar se encuentra la Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la gestión integrada del área costera Spincam, con información en siete indicadores regionales, presentada en

un atlas regional y otro nacional, en cada país participante. Por otro lado, se encuentra el CMA, que incluye 10 indicadores regionales para 8 países.

Como retos y oportunidades para el monitoreo de los ecosistemas marinos y costeros, son resaltados:

1. La necesidad de mapear más del 90% de los fondos marinos del país.
2. Es necesario predefinir umbrales y criterios para detectar y delimitar los ecosistemas, con base en sus características biofísicas.
3. Se deben definir niveles de incertidumbre en la información cartográfica generada.
4. Es necesario aprovechar los drones para acelerar los tiempos de captura de información en campo.
5. Urge una legislación especial para drones con fines de uso científico.
6. Se deben adquirir nuevos sensores para la medición automática de parámetros de calidad de agua, en combinación con tecnología satelital.
7. Es conveniente articular la información mediante ciencia de datos.

Avances en el monitoreo de las sabanas inundables de la Orinoquía colombiana



Dra. Diana Ramírez
Programa Riqueza Natural
Usaid-Ideam.

La propuesta metodológica para la identificación de cambios en las sabanas inundables de la Orinoquía colombiana se enmarca en el Proyecto *Detecciones Tempranas de Cambio en Ecosistemas Claves del Caribe y la Orinoquía Colombiana*⁴ y espera contribuir al *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*. Se parte de la definición de sabana

inundable del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (MEC-2017)⁵ y de una línea base para el año 2019, donde se identifican las diferentes coberturas de este ecosistema a 1 ha.

Con esta metodología se quiere hacer seguimiento a los cambios de cobertura de las sabanas inundables por causas antrópicas, así como a los cambios inherentes

4 Corresponde a una iniciativa del **Ideam** y el **programa Riqueza Natural** de **Usaid**, que pretende vincular a las autoridades ambientales regionales en el proceso de generación y uso efectivo de la información de pérdida y transformación de ecosistemas claves.

5 "Son aquellas que poseen una topografía y suelos característicos, que en épocas de más lluvias no permiten la evacuación del agua de manera expedita, permaneciendo anegadas por largos periodos de tiempo".

al ecosistema debidos a pulsos de inundación, estacionalidad hídrica y, en menor porcentaje, a quemadas naturales. Para ello se propone realizar el monitoreo a partir de la transformación espectral *Tasseled Cap* (Kauth y Thomas, 1976).

La transformación *Tasseled Cap* es un método de comprensión para reducir múltiples datos espectrales, concretamente de 6 bandas, en 3 que permiten caracterizar y analizar el ecosistema, al percibir cambios

en la vegetación, el suelo y las transformaciones producidas por los seres humanos.

Actualmente, nos encontramos identificando los umbrales de cambio de las diferentes coberturas que conforman las sabanas inundables en los 3 periodos establecidos (uno de sequía y dos de inundación), así como la leyenda de cambios para la generación de los respectivos reportes a la corporación.



Caño Cristales, La Macarena - Colombia.
Fotografías: *Claudia Andramunio Acero*

Mesas temáticas

Con el fin de definir las unidades de análisis, priorizar variables espacializables, valorar los criterios para la zonificación y validar los insumos y métodos de análisis de teledetección, fueron planteados cinco objetivos específicos, cada uno asociado a una mesa temática:

- Definir insumos cartográficos diferentes a los propuestos por el Ideam, en el avance del proceso del protocolo, e identificar las últimas tecnologías y sensores remotos que sean viables para el monitoreo a escala nacional.
- Ajustar los criterios para la priorización de ventanas piloto, e identificar principales procesos de degradación, asociados a ecosistemas acuáticos.
- Definir variables mínimas cartografiables del componente físico, a escala nacional, para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos.
- Definir la valoración de los criterios según el proceso analítico jerárquico (evaluación multicriterio), acorde con lo consultado a los expertos participantes.
- Identificar el tipo de metodologías de digitalización y clasificación de ecosistemas acuáticos con imágenes de sensores remotos.

Estos objetivos se abordaron en las siguientes mesas:

1. **Insumos cartográficos y de sensores remotos para el monitoreo de ecosistemas acuáticos;** moderada por Julio César Álvarez, profesional SIG, Proyecto Aicca, Condesan.
2. **Definición de unidades de análisis para el monitoreo en el marco del Protocolo;** Moderada por María Juliana Salcedo Hernández, profesional componentes socioeconómico y biofísico del SEIA, Ideam.
3. **Priorización de variables cartográficas;** moderada por Raúl Páez Mendoza, profesional temático suelos y geomorfología, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.
4. **Evaluación multicriterio y proceso analítico jerárquico para la zonificación de ecosistemas acuáticos;** moderada por Lina María Parada, profesional componente SIG, SEIA, Ideam.
5. **Detección temprana de cambios en ecosistemas claves del Caribe y la Orinoquía colombiana. Sistema de monitoreo de bosques y carbono;** moderada por Daniel Gama, profesional SIG, Programa Usaid – Riqueza Natural, Ideam.

Análisis de resultados de las actividades propuestas

En las mesas de trabajo se implementaron diferentes metodologías para recopilar datos e información que permita continuar con el proceso de diseño metodológico proyectado desde el componente SIG, como apoyo al *Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Estado de los Ecosistemas Acuáticos del país*.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la se-

sión que buscó la opinión de los asistentes en cuanto a los insumos y la definición de las unidades de análisis, acorde con las propuestas metodológicas planteadas dentro del protocolo. De esta forma, la información recopilada se organizó en tres temas: 1) insumos geográficos para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos; 2) unidades de análisis para el monitoreo de ecosistemas acuáticos; y 3) variables espacializables y propuesta metodológica para la zonificación de ecosistemas acuáticos:

1. Insumos geográficos para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos

El proceso de generación cartográfica de los ecosistemas acuáticos permite definir las necesidades de implementación de estrategias de conservación, debido a que el uso de diferentes métodos para su identificación, delimitación, monitoreo, análisis y modelamiento espacial, brindan las herramientas para hacer el seguimiento a diferentes escalas espaciales y temporales, a partir del uso de diferentes insumos geográficos de tipo vectorial y ráster. Asociado a esto, el estudio de las características principales ha determinado que los ecosistemas acuáticos generan un desarrollo de tipo social y económico, por proveer diferentes clases de servicios ecosistémicos, para el desarrollo y bienestar de las comunidades.

Para el protocolo, se han identificado diferentes necesidades respecto a la información geográfica de Colombia, con la que se debe contar para el monitoreo y segui-

miento de los ecosistemas acuáticos; sin embargo, debido a que en la mayoría de casos los datos no están disponibles y tampoco existe interoperabilidad entre estos, se debe tener adecuada articulación con las entidades ambientales del país, principalmente los institutos de investigación y las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR, para que los datos generados sean compartidos.

Por esta razón, mediante el diálogo con los participantes, fue complementada la información de una matriz creada con anterioridad, a partir de los insumos geográficos que se deben tener en cuenta para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos, la cual se ha diligenciado con información cartográfica básica y temática a escala nacional, regional y local. En la Tabla 1 se presenta la versión final de esta matriz, con la inclusión de nueva información de tipo vectorial, por parte de los asistentes a la mesa 1.

Tabla 1. Insumos cartográficos vectoriales apropiados para el monitoreo de ecosistemas acuáticos.

No	Nombre de capa	Fuente/ Geovisor	Entidad	Encargado	Escala	Año de generación		
1	Cartografía base 100 k	Geoportal IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	Subdirección cartografía y geografía	100 k	2017		
2	Suelos por departamento			Subdirección agrología				
3	Geología	Geoportal SGC	Servicio Geológico Colombiano	Geociencias básicas	500 k	2015		
4	Zonificación hidrográfica	Geoportal Ideam	Ideam	Subdirección de Hidrología	100 k	2013		
5	MEC_2.1			Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental		2017		
6	Clima Caldas-Lang	MEC 2017 2.1	Ideam	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	100 k	2014		
7	Coberturas de la Tierra 2010-2012					2012		
8	Geopedología					2014		
9	Estacionalidad climática	Repositorio SEIA	Ideam	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	100 k	2014		
10	Huella hídrica azul multisectorial, Estudio Nacional del Agua (ENA)	Geoportal Ideam	Ideam	Subdirección de Hidrología	100 k	2014		
11	Escorrentía media anual año medio ENA							
12	Índice retención y regulación hídrica ENA							
13	Huella hídrica verde sector agropecuario ENA							
14	Sistemas acuíferos de Colombia ENA							
15	Índice de presión hídrica ecosistemas ENA						500 k	2014
16	Áreas afectadas inundación Niña 2011						100 k	2011
17	Captación aguas superficiales y subterráneas SIRH							2013
18	Vertimientos cuerpos de agua superficiales SIRH	Datos abiertos Instituto Humboldt - ICDE	Instituto Humboldt	Infraestructura Institucional de Datos - I2D	100 k	2012		
20	Áreas prioritarias de con- servación					2008		

No	Nombre de capa	Fuente/ Geovisor	Entidad	Encargado	Escala	Año de generación
21	RUNAP	Datos abiertos PNN	PNN	Sistema de Información	100 k	2018
22	AICCA	Dept. SIA CAR	Cardique	Sistema de Información Ambiental	25 K	2018
23	Unidades Geomorfológicas de Cuencas Hidrográficas	Subdirección de Planeación	CAR	Subdirección de Planeación	25 K	2015
24	Áreas Críticas en las Cuencas Hidrográficas					
25	Índice del Uso del Agua en la Cuenca Hidrográfica					
26	Índice de retención y regulación hídrica en la Cuenca Hidrográfica					
27	Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento del recurso hídrico en la Cuenca Hidrográfica					
28	Modelo digital del terreno de la cuenca hidrográfica					
29	Unidades Geológicas de la Cuenca Hidrográfica					
30	IRCA	SIVICAP	Instituto Nacional de Salud		25 K	2010
31	Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca Hidrográfica	Subdirección de Planeación	CAR	Subdirección de Planeación	25 K	2015
32	Recarga de Acuíferos					
33	Vulnerabilidad de los acuíferos de la Cuenca Hidrográfica					
34	Zonas de importancia Hidrogeológica de la Cuenca Hidrográfica					
35	Cobertura vegetal en la Cuenca Hidrográfica					
36	Oferta hídrica Total de la Cuenca Hidrográfica					
37	Oferta hídrica disponible de la Cuenca Hidrográfica					

No	Nombre de capa	Fuente/ Geovisor	Entidad	Encargado	Escala	Año de generación
38	Uso del suelo en la Cuenca Hidrográfica	Subdirección de Planeación	CAR	Subdirección de Planeación	25 K	2015
39	Demanda de agua por uso doméstico en la Cuenca Hidrográfica					
40	Demanda de agua por uso agrícola en la Cuenca Hidrográfica					
41	Demanda de agua por uso pecuario en la Cuenca Hidrográfica					
42	Demanda de agua total en la Cuenca Hidrográfica					
43	Zonas por tipo de uso en la Cuenca					
44	Puntos de Captación en la Cuenca Hidrográfica					
45	Puntos de Vertimientos en la Cuenca Hidrográfica					
46	Índice de Calidad de Agua en la Cuenca Hidrográfica					

Fuente: elaboración propia (2021).

Con el fin de complementar lo aquí expuesto, se hizo el mismo ejercicio para datos de tipo ráster, por lo cual también

fue diligenciada la matriz (Tabla 2) con la información principal.

Tabla 2. Insumos de sensores remotos sugeridos para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos.

No	Tipo	Insumo	Fuente/Geovisor	Resolución espacial
1	Imágenes ópticas	Landsat 5	USGS / Cubo de datos / GEE	30 m
2	Imágenes ópticas	Landsat 7	USGS / Cubo de datos / GEE	30 m
3	Imágenes ópticas	Landsat 8	USGS / Cubo de datos / GEE	30 m
4	Imágenes ópticas	Sentinel-2	Copernicus / GEE	10 m
5	Imágenes ópticas	PlanetScope	Norway's International Climate and Forests Initiative (NICFI)	3.7 m
6	Imágenes ópticas	Landsat 4	USGS / Cubo de datos / GEE	30 m

Fuente: elaboración propia (2021).

La información geográfica presentada ha sido propuesta dentro del protocolo para realizar el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos. Además de los datos vectoriales disponibles en el país, se resalta la importancia del uso de imágenes de satélite, ya que brindan ventajas debido a sus características espaciales, espectrales y temporales, permitiendo desarrollar metodologías acordes a los objetivos de dicho protocolo.

En cuanto al monitoreo de los ecosistemas acuáticos, el procesamiento digital de imágenes de satélite y de otros sensores remotos, genera procesos a partir de los cuales se establece el estado de conservación en períodos de tiempo definidos, con los cuales se monitorean cambios de las coberturas vegetales, suelos, cuerpos de agua y factores antrópicos; entre otros, en un área de interés establecida, de acuerdo con los cambios presentados a lo largo del tiempo. El estudio y delimitación de las coberturas terrestres, dentro de los cuales están categorizados los ecosistemas acuáticos, generan indicadores sensibles de la degradación ambiental y permiten analizar los cambios entre períodos.

En este contexto, y a partir del formulario propuesto como metodología para la mesa 5, se obtuvieron las siguientes respuestas (porcentajes de acuerdo a la selección de los participantes):

- ¿Cuáles son los índices espectrales que recomendaría para el monitoreo de ecosistemas acuáticos?
 - Índice de Diferencia de agua normalizado modificado – MNDWI: 55%.
 - Índice diferencial de agua normalizado – NDWI: 25%.
 - Índice de vegetación de diferencia normalizada – NDVI: 20%.
 - Índice de clorofila – GCI: 0%.
- ¿Qué tipo de insumos de sensores remotos recomienda para el monitoreo de ecosistemas acuáticos?
 - Imágenes de satélite ópticas: 70%.
 - Imágenes de dron: 30%.
 - Imágenes de satélite de radar: 0%.
 - Datos LIDAR: 0%.
 - Fotografías aéreas: 0%.
- ¿Qué tipo de clasificación recomienda para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos?
 - Supervisada: 80%.
 - Algoritmos de clasificación: 20%.
 - No supervisada: 0%.
- ¿Ha tenido acceso a alguna plataforma libre para el procesamiento digital de imágenes de satélite? En caso de ser afirmativa su respuesta, ¿cuál plataforma?
 - *Google Earth Engine*.
 - Cubo de Datos de Colombia.
- ¿Qué temporalidad recomienda para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos con insumos de sensores remotos?
 - Cada año: 100%.
 - Cada 3 años: 0%.
 - Cada 5 años: 0%.

- ¿A qué escala espacial recomienda analizar los cambios en la extensión para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos de Colombia?
 - 1:25.000: 100%.
 - 1:10.000: 0%.
 - 1:100.000: 0%.

2. Unidades de análisis para el monitoreo de ecosistemas acuáticos

Con el incremento del uso y la explotación humana de los ecosistemas, se ha identificado la necesidad de conocer a detalle las potencialidades del espacio. Asociado a esto, se ha tomado conciencia de la interdependencia e interacción de los componentes del territorio, aplicándose este punto de vista al inventario de recursos y desarrollo de modelos de descripción integrada. La caracterización ecológica del medio se realiza mediante diferentes tipos de variables, incluyendo principalmente parámetros físicos, químicos, biológi-

cos y socioeconómicos. Las interacciones espaciales entre estos permiten definir unidades de análisis, sus limitaciones y potencialidades.

De esta forma, en la mesa de trabajo 2, referente a la definición de unidades de análisis para el *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, se recogieron diversas opiniones respecto a los criterios tenidos en cuenta hasta el momento, para identificar los ajustes espaciales necesarios. Dichas opiniones se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de la información para la definición de unidades de análisis.

Criterios actuales / Categorías	Características de la información			
	Cobertura	Escala cartográfica	Fuente	Periodicidad
Representatividad (extensión)*				
Ecosistemas Acuáticos Síntesis MEC, 2017	Nacional	1:100.000	Ideam	4-5 años 2008, 2012, 2017, 2021
Ecosistemas acuáticos estratégicos**				
Humedales Ramsar	Nacional	1:100.000	MADS	A medida que se incluyen o ajustan nuevas áreas
Cuencas priorizadas por las CAR, con fines de ordenación	Nacional (subzonas hidrográficas o subsiguientes)	1:100.000	MADS	A medida que se priorizan nuevas subzonas
EA priorizados por entidades según encuesta	Nacional	1:100.000	Ideam	Línea base 2020

Criterios actuales / Categorías	Características de la información			
	Cobertura	Escala cartográfica	Fuente	Periodicidad
Representatividad (extensión)*				
Ecosistemas acuáticos en riesgo de degradación				
Índice Integral del Agua (ENA).	Nacional (subzonas hidrográficas)	1:100.000	Ideam	Cada 4 años (ENA)
Índice presiones antrópicas basado en uso del suelo (homologación coberturas) y de aguas MCI (DANE, ANLA, Min. agricultura, Dimar)	Nacional: revisión información uso del suelo	1:100.000	ANLA DANE Minagricultura Dimar	Anual (encuesta nacional agropecuaria, anuario estadístico agropecuario) o menor (actualización polígonos ANLA, información tráfico marítimo Dimar)
Vulnerabilidad al cambio climático, Ideam	Nacional	1:100.000	Ideam	Cada 3 años (comunicaciones nacionales de cambio climático)
Otros***				
Conceptualización que dan las comunidades indígenas al agua				

* Diferenciar entre ecosistemas acuáticos y humedales, ya que para Invemar todos son ecosistemas acuáticos. La cuestión es qué define uno u otro; o confirmar para Invemar que para ellos todo es lo mismo [Sic]. ** Se debe ajustar en el caso de manglares del Caribe, desde la definición de bosque natural del Ideam, sin quitar del mapa los bosques de manglar del Caribe - "Mesas de carbono azul" (articular Ideam-Invemar) [Sic]. *** Las comunidades indígenas en el país les dan un manejo diferente a los ecosistemas y al agua, se debe tener en cuenta el consenso del país. Integrar a los criterios de análisis del protocolo [Sic].

Fuente: elaboración propia (2021).

Como segundo ejercicio se planteó un formulario referente a los diferentes tipos de presiones ejercidas sobre los ecosistemas acuáticos, y la pertinencia o necesidad

del monitoreo de dicha presión o proceso (siendo 1 la menor necesidad y 5 la mayor). Las respuestas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Respuestas obtenidas en el formulario de presiones ejercidas sobre los ecosistemas acuáticos.

Presión o proceso	Área hidrográfica continental				Áreas marino costeras e insulares
	Magdalena-Cauca y Caribe	Pacífico	Orinoco	Amazonas	
Contaminación (orgánica e inorgánica).	5	5	-	5	2
Pérdida de biodiversidad.	2 y 3	2	-	3	2 y 3

Presión o proceso	Área hidrográfica continental				Áreas marino costeras e insulares
	Magdalena-Cauca y Caribe	Pacífico	Orinoco	Amazonas	
Fragmentación.	2 y 5	1	-	4	N/A
Sedimentación – Terrización.	1	4	-	1	
Degradación por efectos del cambio climático.	3	3	-	2	
Degradación por efectos del cambio climático (erosión costera, ascenso del nivel del mar).	N/A				4
Tráfico marítimo (agua de lastre y bioincrustación - vectores de transferencia).	N/A				1

Fuente: elaboración propia, 2021.

Adicionalmente, se planteó una pregunta sobre los criterios que se deben tener en cuenta para la evaluación de los procesos de degradación y/o pérdida identificados, aparte de los expuestos en las primeras preguntas del cuestionario. A continuación, se resumen las respuestas para cada una de las áreas hidrográficas:

- **Magdalena-Cauca y Caribe:**

- Contaminación: vertimientos líquidos y sólidos sin tratar, residuos hormonales intratables, metales pesados, microplásticos, residuos agropecuarios, coliformes, mercurio, plaguicidas, aguas residuales domésticas, virus, fuentes difusas.
- Clima: fenómenos extremos, grandes precipitaciones, sequías pronunciadas, incremento y/o disminución pronunciada de la temperatura.
- Considerar la fragmentación como consecuencia de todas las actividades económicas y usos del suelo.

- Realizar monitoreo de sedimentos que, por mal manejo del suelo en actividades productivas y posiblemente por escorrentía, están impactando la calidad del agua y los ecosistemas.
- Frente a la pérdida de biodiversidad, el análisis de debe hacer en términos de su estructura, composición y función.
- Incluir contaminación de sustancias emergentes.
- Degradación por minería ilegal en las rondas hídricas.
- Alteración de microhábitats y hábitats en lechos de ríos, por minería y lechos de planos de inundación, por derrames de petróleo y vertimientos industriales.
- Expansión de la frontera agropecuaria y urbanística deseca humedales, ciénagas y páramos.
- Sobrepesca y malas prácticas.
- Deforestación de cuencas altas y medias.
- Pérdida de conectividad. A pesar de

hacer parte de la fragmentación, debe ser a nivel superficial y subterráneo, pues muchas veces no se considera en términos de su conexión con las zonas de recarga.

- Caudales ecológicos, dado el represamiento de ríos principales y secundarios.
- **Pacífico:**
 - Metales pesados, microplásticos.
- **Amazonas:**
 - Mercurio, glifosato.
 - Plásticos, microplásticos, aceites usados.
 - Contaminantes emergentes.
 - Quemadas del bosque.
 - Degradación de rondas hídricas.
- **Áreas marinas, costeras e insulares:**
 - Contaminación que reciben las zonas costeras y las que arrastran

las corrientes marinas hacia zonas insulares. Basura marina.

- Cambio climático: aumento de la temperatura del mar, acidificación oceánica, incremento de huracanes, aumento del nivel del mar, etc.
- Erosión en los arrecifes de coral, especialmente las crestas arrecifales de las barreras y arrecifes franjeantes; es decir, pérdida de estructuras coralinas que frenan el embate de las olas, lo que puede incrementar procesos erosivos costeros.
- Pérdida de cobertura de los bosques de manglar por tala indiscriminada.
- Explotación irracional o remoción de la capa vegetal para obras de infraestructura pública o privada.

3. Variables espacializables y propuesta metodológica para la zonificación de ecosistemas acuáticos

El proceso de revisión de datos geográficos y variables espacializables sirve como punto de partida para saber con qué tipo de información se cuenta para el país y el nivel de detalle al que se puede llegar según la escala cartográfica en que son representados; insumos de gran utilidad para la zonificación, el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos. Así, este debe ser el primer paso para identificar criterios técnicos sobre diseño metodológico de zonificación de ecosistemas acuáticos —acordes a la zonificación hidrográfica realizada por el

Ideam en 2013— donde se presentan las áreas, zonas y subzonas hidrográficas.

De acuerdo con la información revisada para la selección de estas variables espaciales, las políticas nacionales de información involucran directamente a quienes la generan, los usuarios institucionales, las organizaciones ciudadanas y la comunidad en general. De esta forma, se ha identificado la necesidad de promover medidas y acuerdos de carácter técnico, que permitan la producción y el uso de información idónea, oportuna, homogénea, interoperable y actualizada periódicamente.

Por lo anterior, dentro del protocolo, las variables identificadas a la fecha para la zonificación de ecosistemas acuáticos han permitido diseñar la propuesta metodológica, diferenciando criterios para la zonificación geográfica, proceso que tiene como objetivo principal dividir un área determinada en sectores homogéneos, según diferentes aspectos establecidos, que para este caso corresponden principalmente a la caracterización de coberturas terrestres, condiciones geomorfológicas aptas para la formación de superficies de agua, y a la inclinación del terreno, que corresponde a los valores de porcentaje de pendiente. Asimismo, en la mayoría de los casos, la zonificación de tierras está basada en los suelos, por lo cual también se ha incluido este aspecto a partir de la clase de paisaje y el tipo de relieve; es decir, la delimitación es principalmente física y tiene como finalidad agrupar unidades de tierra con características geomorfológicas similares.

Se proponen diferentes métodos relacionados con la evaluación multicriterio

(EMC), SIG y teledetección; herramientas muy populares para diferentes estudios de zonificación. A partir de la combinación de dichos métodos es posible tomar decisiones para la ubicación o zonificación óptima de los ecosistemas acuáticos, su seguimiento y monitoreo. Para esto, se seleccionó la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), dentro de múltiples métodos de toma de decisiones, desde criterios correspondientes a diferentes temáticas y categorías de estudio.

Así, como primera actividad, en la mesa 3 se presentó una matriz de priorización de variables geomorfológicas y edafológicas acorde a tres tipos de características (generales, intermedias y específicas). El objetivo de la realización de esta actividad fue poder ordenar de forma jerárquica, de acuerdo con la importancia, las variables presentadas, según la priorización que se les debe dar para el proceso de monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos. En la Tabla 5 se presenta la matriz en su versión final.

Tabla 5. Jerarquía de las variables geomorfológicas y edafológicas.

Característica	Componente	Indicador	Variable	Prioridad	
General	Geomorfológico	Sistema de clasificación del terreno	Geoestructura	Menor	
			Paisaje		
			Tipo de relieve		
			Forma del terreno (posición y características)		
		Ambiente morfogenético	Categoría del sistema		
		Geoforma	Categoría del sistema		
Intermedia	Geomorfológico	Unidad climática	Categoría del sistema		
		Pérdida de suelo	Erosión /sedimentación		
	Edafológico	Unidad de suelos	Unidad cartográfica (fase de manejo)		
			Taxonomía		
Específica	Edafológico	Aumento consistencia	Estabilidad estructural		Mayor
		Retención de agua	Mineralogía de arcillas		
		Incremento del <i>value</i> y <i>chroma</i> del suelo	Moteados redox		
		Cambio de altura	Nivel freático (profundidad)		
		Grado de compactación	Densidad aparente		
		Fertilidad natural	Saturación de aluminio		
			Capacidad de intercambio catiónico		
			Saturación de bases		
			Bases totales		
			pH		
			Fósforo		
			Materia orgánica		
Carbono orgánico					

Fuente: elaboración propia (2021).

Respecto a la propuesta metodológica de zonificación de ecosistemas acuáticos, se ha planteado una opción inicial que debe ser revisada y ajustada, a medida que se vayan identificando diferentes necesi-

dades, con el desarrollo e implementación del protocolo. Partiendo de la revisión de la metodología de la generación del mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC), a escala

1:100.000 (2017) surge la importancia de realizar la adecuada integración de las variables definidas para la zonificación de los ecosistemas acuáticos del país, pues deben ser comparadas en una matriz de asociación de variables, a partir de la cual se hace el análisis multicriterio, basado en la obtención de información base. El objetivo principal de un proceso de zonificación, es considerar la aptitud que tiene un territorio determinado para que, de acuerdo con sus características físicas y espaciales, tenga un uso racional y adecuado para los ecosistemas acuáticos. Así, la zonificación permitirá conocer su estado, con el fin de poder mitigar impactos ambientales en las diferentes áreas hidrográficas del país.

Durante el proceso de evaluación multicriterio se adicionan múltiples capas de información geográfica para producir salidas cartográficas que representan la zonificación de aquellos terrenos apropiados

para realizar diferentes actividades; en este caso particular, los terrenos corresponden a las áreas a partir de las cuales se realizará el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos de Colombia. Habiendo definido los objetivos de este estudio, se identifican los criterios que cumplan con las necesidades del protocolo, para así determinar cuáles son más relevantes frente a los otros, en beneficio de los objetivos.

En este caso, los criterios son factores que influyen en la viabilidad del objetivo: identificar áreas aptas para la formación y permanencia de los ecosistemas acuáticos. Por tanto, con la metodología implementada en la mesa de trabajo 4, se creó un formulario que incluía preguntas relacionadas con la valoración que se le debe dar a las variables incluidas en el PAJ, para generar la matriz de comparaciones de criterios sobre la importancia relativa de cada uno (Tabla 6).

Tabla 6. Valoración de las variables de acuerdo con la escala de Saaty (1980) por parte de los participantes a la mesa.

Valoración	Respuesta	Porcentaje
Cobertura terrestre vs. Material parental (suelos)	3 - Ligeramente más importante	0
	5 - Notablemente más importante	10
	7 - Demostrablemente más importante	80
	9 - Absolutamente importante	10
Cobertura terrestre vs. Tipo de relieve	3 - Ligeramente más importante	0
	5 - Notablemente más importante	0
	7 - Demostrablemente más importante	30
	9 - Absolutamente importante	70
Cobertura terrestre vs. Pendiente	3 - Ligeramente más importante	0
	5 - Notablemente más importante	40
	7 - Demostrablemente más importante	30
	9 - Absolutamente importante	30
Material parental (suelos) vs. Tipo de relieve	3 - Ligeramente más importante	0
	5 - Notablemente más importante	0
	7 - Demostrablemente más importante	0
	9 - Absolutamente importante	100
Material parental (suelos) vs. Pendiente	3 - Ligeramente más importante	0
	5 - Notablemente más importante	0
	7 - Demostrablemente más importante	70
	9 - Absolutamente importante.	30
Tipo de relieve vs. Pendiente	3 - Ligeramente más importante.	0
	5 - Notablemente más importante.	10
	7 - Demostrablemente más importante.	30
	9 - Absolutamente importante.	60

Fuente: elaboración propia (2021).

Con esta valoración se realizará un nuevo ejercicio de zonificación, el cual también será ajustado con la inclusión de diferentes variables, principalmente de tipo socioeconómico, tal como se mencionó en el apartado sobre unidades de análisis.

Conclusiones

- Se debe tener en cuenta la información cartográfica que generan CAR, POT, Pomcas, PORH.
- Sería muy importante que la información cartográfica repose en un sistema gene-

ral, para que las corporaciones puedan acceder a estos insumos; sobre todo aquellas que tienen falencias en SIG.

- Es importante analizar las capas geográficas generadas por las corporaciones, que podrían articularse para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos del país.
- Se requiere definir el concepto de ecosistemas acuáticos respecto al concepto de humedales, ya que para ecosistemas costeros e insulares puede ser lo mismo, pero no para continentales.
- Tener en cuenta la conceptualización que hacen las comunidades indígenas frente al agua y los ecosistemas acuáticos, para tener un consenso nacional sobre el manejo de estos en el país.
- Es importante investigar un poco más sobre la biología del suelo, dado que la información que tenemos se queda corta al lado de la escala que se necesitaría para hacer el monitoreo de los diferentes tipos de ecosistemas. Esto debido a que es un complemento de gran importancia para el análisis geomorfológico y biológico.
- Se deberían hacer ventanas o pilotos para aplicar el *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, con la previa necesidad de hacer la caracterización edafológica, ya que permite a futuro ver cambios para lograr planes y programas de monitoreo a diferentes escalas espaciales y temporales.
- Los participantes comunicaron que es complejo escalar las variables en el ámbito nacional, respecto a la información cartográfica disponible, y que se debería considerar más de un protocolo, especialmente para escalas locales. La priorización depende también de las características y escalas particulares de cada región.
- Otras de las variables que deberían ser incluidas son las unidades climáticas como precipitación y temperatura, Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) y geología.
- Se debe realizar la eliminación de valores anómalos, para garantizar la calidad de la información generada.
- Los índices (brillo, verdor y humedad) de *Trasseled Cap*, permiten revisar cómo se están comportando el agua, suelo y la vegetación.
- Se considera pertinente el uso de *Tasseled Cap*, ya que la información que presenta es muy completa para el monitoreo de ecosistemas acuáticos.
- Los procesos realizados a partir de imágenes satelitales deben ser verificados en campo, lo cual permite identificar necesidades de mejora en las metodologías propuestas.



Comunidad La Playa. Lagos de Yahuaraca, Leticia - Colombia.

Fotografía: Claudia Andramunio Acero

Sesión 2

Componente hidrológico



Parque Nacional Natura Puracé, Cauca/Huila - Colombia.
Fotografías: María Juliana Salcedo Hernández.



Introducción

MSc. Claudia Patricia Andramunio Acero

Equipo de ecosistemas acuáticos
Grupo Suelos y Tierras
SEIA, Ideam.



Dentro del proceso de construcción del *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, el componente hidrológico tiene como objetivo definir los criterios, indicadores y variables que hacen parte del monitoreo de la calidad y cantidad del recurso hídrico colombiano, con el fin de generar una ruta de articulación con los diferentes actores y sistemas que integran esta información a escala nacional. Para dar respuesta a este objetivo, es importante preguntarse qué insumos mínimos son necesarios para garantizar el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos nacionales y si existe en el país un listado oficial de variables, índices o indicadores que sean usados, o se puedan usar, para evaluar de forma integral el estado de estos.

El taller es el espacio idóneo para, en conjunto con el consenso de expertos nacionales e internacionales, empezar a dar

respuesta a estos interrogantes, enfocando los análisis en dos líneas de acción: la primera, establecer los mínimos de monitoreo nacional que puedan ser monitoreados por cualquier entidad ambiental, independientemente de las limitaciones en sus recursos (técnicos, económicos y operativos), para garantizar la construcción y mantenimiento de bases de datos en el tiempo; y, la segunda, identificar esos vacíos o necesidades de mejora y actualización de información, principalmente de la alojada en el SIAC. Estas dos acciones, en conjunto, nos pueden acercar un poco más al conocimiento y entendimiento de la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, que, sumado a los componentes hidrobiológicos, biofísicos y socioeconómicos, nos brindarán una visión y reporte integral del estado de los ecosistemas del país, para una mejor gestión.

Resúmenes de ponencias

Indicadores de calidad física y química de sistemas acuáticos

Dr. (c). Diego Alejandro Chalarca Rodríguez

Escuela Ambiental
Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia.



En Colombia, el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) se creó para dar respuesta a la necesidad de contar con un monitoreo sistemático, coherente y apropiado, que soportara la implementación y seguimiento de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PN-GIRH), mejorando así la información y el conocimiento sobre el agua. En el marco del PNMRH se definen dos tipos de redes de monitoreo: la red básica nacional, operada por el Ideam y las redes regionales o complementarias, aplicadas por las autoridades ambientales competentes, en sus áreas de jurisdicción, y cuyo propósito es, entre otros, el monitoreo de la calidad del recurso hídrico.

Como resultado de dicho monitoreo, tanto en el ámbito nacional, por medio del ENA, como regionalmente, mediante las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA), se ha establecido el uso de índices físicos y químicos para evaluar la condición de calidad de los sistemas acuáticos, siendo el Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA) el recomendado por el Ideam para su implementación en ambos contextos. Este índice se ha calculado desde el 2005 a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Desde 2009 se incluyó también la relación entre el nitrógeno

total y el fósforo total. Adicionalmente, el Ideam recomienda que en las redes regionales se incluya la variable Coliformes totales, para establecer así un índice básico de 7 variables.

Pese a que el ICA ha sido recomendado por el Ideam, no existe consenso nacional sobre las variables físicas y químicas mínimas que se deben medir para establecer la calidad del agua de los sistemas acuáticos, como tampoco se ha acogido por la totalidad de las autoridades ambientales la implementación de este índice. Por el contrario, se ha evidenciado que, en su autonomía, y según sus necesidades, las autoridades ambientales han implementado en su jurisdicción diferentes índices físicos y químicos, que no necesariamente incluyen todas las variables mínimas básicas que recomienda el Ideam, lo cual ha dificultado que la información medida en las redes regionales se pueda

utilizar como insumo en el análisis de la red básica nacional.

Adicional a la implementación de diferentes índices de calidad del agua, se suman una serie de errores conceptuales en la implementación de las variables físicas, químicas y microbiológicas que se deben de medir para calcularlos. Algunos de estos errores son, por ejemplo, el uso del nitrógeno total Kjeldahl en vez del nitrógeno total; se confunden variables como los fosfatos, ortofosfatos y fósforo reactivo soluble, fósforo ácido hidrolizable y el fósforo total. De forma similar, y en cuanto a las variables microbiológicas, se han usado indistintamente los coliformes fecales y la *Escherichia coli*, sin claridad sobre sus métodos de medición, usando de igual forma, en el cálculo de los índices, las unidades formadoras de colonia (UFC) y el número más probable (NMP).

Oferta hídrica y calidad del agua

MSc. Fabio Andrés Bernal Quiroga

Grupo de Modelación y Pronóstico
Subdirección de Hidrología
Ideam.



El Ideam, como instituto encargado del reporte del estado y la calidad del recurso hídrico del país, presenta una amplia red de estaciones operadas a través de 11 áreas operativas distribuidas en todo el territorio nacional. En estas se realizan mediciones y registros de forma directa (manual, mecánica y automática) y su operación se da a través de los módulos de la plataforma DHIME, donde se genera el flujo de la información. En la actualidad, el Instituto cuenta con varios procesos de estadísticas hidrológicas certificadas por el DANE. En relación con el monitoreo de la calidad del agua, se realizan diversas actividades, incluyendo la obtención, procesamiento y validación de la información, en cuanto a variables de cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas; así como sobre su demanda. Para

esto se cuenta con una red de 148 estaciones de monitoreo de calidad, operadas por 132 estaciones presentes en 11 áreas operativas; 13 estaciones operadas por el Laboratorio de Calidad Ambiental, y tres estaciones de alta montaña, que hacen parte de la SEIA del instituto. Actualmente, el país cuenta con 627 estaciones hidrológicas e hidrometeorológicas que permiten evaluar el estado, la dinámica del agua en Colombia y sus afectaciones.

En cuanto a la oferta hídrica superficial, esta se calcula para estimar la cantidad de agua disponible en forma de escorrentía superficial, en un espacio y tiempo definidos, a través de una aproximación multianual. Estas proyecciones son desarrolladas en el Centro Nacional de Modelación de la Subdirección de Hidrología, basado en la metodología de insumos geo-

gráficos Modelo Digital de Terreno (DEM por sus siglas en inglés), insumos meteorológicos, bases de datos con distribución mensual de la precipitación, temperatura y radiación, insumos hidrológicos, series históricas medias mensuales de caudal (Q) e insumos geográficos de áreas aferentes a las estaciones hidrológicas. Toda esta información está articulada con el SIRH, sistema encargado de reportar la información hidrológica del país para: orientar la toma de decisiones, hacer inventario

y caracterización de cantidad y calidad del recurso hídrico, seguir el resultado del control de la contaminación, asignar de concesiones, evaluar la disponibilidad del recurso hídrico, proveer información para el análisis y la gestión de los riesgos asociados al recurso hídrico y promover estudios hidrológicos e hidrogeológicos. En 2018, en la última versión del Estudio Nacional del Agua (ENA), el Ideam incorporó el uso de nuevas tecnologías para el cálculo de variables hidrológicas.



Atardecer sobre el Río Amazonas, Leticia - Colombia.

Fotografías: María Juliana Salcedo

Mesas temáticas

Con el propósito de identificar y reconocer los indicadores que hacen parte de los estudios y políticas nacionales, así como las limitaciones y necesidades de mejora de estos, en conjunto con un ejercicio de priorización de mínimos nacionales para evaluar y monitorear el estado de la calidad y cantidad del recurso hídrico del país, se plantearon cuatro objetivos específicos, asociados al mismo número de mesas temáticas:

- Identificar la pertinencia, uso y periodicidad de los indicadores del Estudio Nacional del Agua y la política, en términos de suficiencia para el monitoreo del recurso hídrico en Colombia.
- Revisar la pertinencia de rangos actuales para el monitoreo, e identificar las necesidades de mejora a escala nacional, teniendo en cuenta la zonificación hidrológica del país.
- Definir las variables físicas y químicas a escala nacional para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos.
- Identificar los indicadores de las ERA y cómo estos se articulan con el análisis de la dinámica de las cuencas y facilitan el proceso de formulación y actualización

de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (Pomca).

Las mesas planteadas para cada objetivo fueron:

- 1. Indicadores Hídricos Estudio Nacional del Agua:** moderada por Claudia Nicol Tetay Botía; profesional, Subdirección de Hidrología, Ideam.
- 2. Identificación de rangos normativos para análisis físicos y químicos en agua:** moderada por Claudia María Ávila Laverde, coordinadora, Laboratorio de Calidad Ambiental, Ideam; y Julián Darío Guerrero, profesional, Grupo de Acreditación, Subdirección de Estudios Ambientales, Ideam.
- 3. Variables mínimas de monitoreo a escala nacional para el análisis hidrológico:** moderada por Claudia Patricia Andramunio Acero; profesional componentes hidrobiología y calidad del agua, SEIA, Ideam.
- 4. Análisis e interpretación de indicadores hidrológicos. Caso de estudio:** moderada por María Carolina Obando Vargas; profesional técnico local, Proyecto Aicca, Condesan.

Análisis de resultados de las actividades propuestas

Para dar respuesta a los objetivos planteados, se invitó a los asistentes a responder los ejercicios bajo el interrogante, ¿cómo garantizar que en el ámbito nacional se muestree y registre la información hidrológica mínima para poder realizar (en conjunto con los demás enfoques) la evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos del país? Para esto, asumieron el rol de una autoridad ambiental regional o una organización interesada en contribuir con el monitoreo, pero con los mínimos recursos técnicos, tecnológicos, económicos y de tiempo para la gestión de los ecosistemas acuáticos dentro de su jurisdicción, bajo la premisa costo eficiente y oportuno. Esta información constituye un insumo para que el equipo de ecosistemas acuáticos del Gru-

po de Suelos y Tierras de la SEIA del Ideam identifique, según el consenso experto, variables, índices e indicadores que hacen parte de la batería de monitoreo hidrológico del país; actores responsables; necesidades de articulación y ajustes de estos procesos en el marco normativo; en aras de que estos respondan a la necesidad real nacional de monitoreo para evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos del país.

Los resultados obtenidos en las discusiones de las mesas, así como mediante formularios, se sintetizaron en dos temas: primero, indicadores de estudios y políticas nacionales; sus necesidades de articulación y mejora, y segundo, variables hidrológicas mínimas nacionales para garantizar el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país:

1. Indicadores de estudios y políticas nacionales y sus necesidades de articulación y mejora

La PNGIRH se materializa a partir del Plan Hídrico Nacional, y uno de los programas establecidos en este plan es el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. En este contexto, ¿qué oportunidad ve con la formulación e implementación del Programa Nacional o Regional de Monitoreo?:

- La oportunidad de que las comunidades y las instituciones tengan información ambiental más cercana a la realidad del territorio, para así tomar decisiones efectivas de monitoreo, manejo y conservación.
- La regionalización del país a partir de las

características de sus recursos, pues no se puede seguir planeando el recurso hídrico como si fuera y se comportara como uno solo en todas las áreas hidrográficas.

- Es una valiosa oportunidad en la unificación de la información, además de vincular diferentes actores en el reconocimiento, formulación e implementación para el monitoreo del recurso.

Frente al conocimiento del Programa Institucional Regional de Monitoreo de Cantidad y Calidad del Agua (PIRMA), la mayoría de los participantes desconoce su alcance y

componentes, para lo cual sería importante que, por parte de las entidades encargadas, se desarrollaran jornadas de presentación y capacitación de los diferentes procesos que se adelantan en el país y que permitiría una mejor articulación de esfuerzos para replicar de manera más adecuada los procesos en el ámbito nacional y regional. Para el caso de las ERA, que permiten fortalecer el conocimiento del estado del recurso hídrico en la región (complementan el ENA), se evidenciaron las oportunidades que traen estas evaluaciones a las diferentes regiones y necesidades de mejora para su correcto uso:

Oportunidades:

- Generación de una línea base para el ordenamiento, uso y control del recurso hídrico.
- Brindan un contexto general y nos acercan desde el ámbito local a los parámetros básicos o mínimos para tener una mejor gestión de los ecosistemas acuáticos.

Necesidades de mejora:

- La elaboración de las ERA debe ser rigurosa y llevadas a cabo por profesionales expertos en recurso hídrico, de tal forma que la información que se genere desde lo regional muestre la realidad del recurso, sobre todo porque complementan los ENA.
- Como oportunidad de mejora, se debe divulgar a los actores que hacen parte de la gestión del recurso hídrico. Los laboratorios ambientales no reciben formación al respecto por parte

del Ideam, lo que sería primordial poder hacer regularmente.

- Se deben unificar términos o nombres de programas/evaluaciones y demás, pues se prestan para confundir el objetivo al que cada uno apunta. Además, sería importante que se alimente un solo sistema nacional ambiental, ya que eso permitiría una mejor gestión del recurso.

En cuanto a los indicadores que hacen parte del Sistema Hídrico Nacional, se identificaron los siguientes usos y limitaciones para implementar en las regiones, por tratarse de una metodología nacional:

A nivel regional es escaso o no se conoce a fondo este tipo de información, ya que los altos costos de aplicación no permiten su uso.

- La limitación consiste en que estos índices deben ser adaptados a los usos del suelo que circundan los cuerpos de agua monitoreados, y, aunque en las regiones existen autoridades ambientales que ya tienen sus índices adaptados, no es información conocida por los laboratorios ambientales acreditados desde el Ideam. Por lo tanto, se están dando solo resultados de índices del orden nacional y, para efectos de gestión de la calidad del recurso, no se sabe qué tan útil pueda resultar la herramienta.
- No se puede seguir con ejercicios intermitentes, al azar y con levantamiento de información puntual que ni siquiera es cargada y actualizada en los sistemas de

información del país. Se necesitan atributos unificados y mejoras en los sistemas de reporte del país.

En relación con la pregunta sobre el

uso de los indicadores nacionales para la evaluación del recurso hídrico, en la Tabla 7 se presentan los resultados con los porcentajes de uso para cada uno de ellos.

Tabla 7. Porcentaje de uso y conocimiento de los indicadores nacionales.

Índice	% Usado	% No lo conocen
Índice de calidad del agua (ICA)	89	0
Índice de aridez (IA)	56	
Índice del uso del agua superficial (UA)	44	22
Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento (IVH)	33	11
Índice de eficiencia en el uso del agua (IEUA)		33
Índice de retención y regulación hídrica (IRH)		
Índice de sequía y precipitación (SP)		
Índice de presión hídrica al ecosistema (IPHE)		
Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC)	22	
Índice de alteración potencial a la calidad del agua (IACAL)		
Índice de extracción de agua subterránea (IEAS)		
Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)		
Índice de rendimiento medio de sedimentos (IRS)	11	22
Índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de aguas subterráneas (IVICAS)		
Índice integral del uso del agua (IIUA)	0	44
Índice de agua subterránea para abastecimiento público con respecto al número de habitantes (IASAP)		

Fuente: elaboración propia (2021).

Adicionalmente, los participantes destacaron el uso de estos índices en los siguientes tipos de evaluaciones del recurso hídrico (listado presentado según orden de priorización):

- Pomcas y PORH.
- Evaluación del estado ecológico de ríos.
- Análisis en áreas protegidas.
- Catastro multipropósito.
- Análisis de Riesgo.
- Plan Estratégico Cuencas Amazonas y Orinoco.

Finalmente, para la temática de índices, se evidencian las ventajas y/o dificultades para su uso y reporte a nivel nacional:

Ventajas:

- Generar una línea base para el monitoreo del recurso hídrico en áreas protegidas.
- Tener series temporales y espaciales de todas las variables asociadas al índice.
- Los usos permiten incluir información de suelos para mantenimiento de caudal ambiental base.

Dificultades:

- Estandarización de los datos.
- Interpretación de las particularidades de la región.
- Los valores reportados por los laboratorios no son confiables. Muchos solo indican *no detectados* o rangos por debajo o por encima de un valor estándar (p.e. Fósforo total <0,1 mg P/L o sólidos suspendidos totales <5 mg/L) lo que limita su uso y hace que se calculen mal los índices.

En relación con la temática de la identificación de rangos normativos para análisis físicos y químicos en agua, frente a la pregunta de si contamos con la capacidad para el análisis de estas variables en el país, se identifica que:

- Actualmente, el país cuenta con 228 laboratorios acreditados por el Ideam en las matrices agua, suelo, aire, biota continental y marina, lodo, sedimento, residuos peligrosos, aceites dieléctricos y biosólidos.
- El alcance de las variables acreditadas en la actualidad aún no incluye variables solicitadas en Proyectos específicos, como Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), metilmercurio, etc.
- En gran parte de los casos, el alcance de los laboratorios está orientado a cumplir con la mayoría de las variables solicitadas por las resoluciones 0631 de 2015 y 883 de 2018 (ambas control de vertimientos en aguas), entre otras, dejando por fuera muchos de los procesos que también afectan este recurso a nivel nacional.

Para la interpretación de los límites de detección y de cuantificación para análisis físicos y químicos en agua, así como la correlación de estos con las comunidades hidrobiológicas, se debe tener en cuenta:

Debilidades:

- Los informes ambientales emitidos por los laboratorios, en algunas ocasiones, se limitan a ser descriptivos y no hay correlación de la información. Esto no ayuda a analizar la situación de los eco-

sistemas acuáticos y, por tanto, no se toman medidas efectivas para su gestión.

- Muchas de las variables se asumen como contaminantes, sin realizar un ejercicio de regionalización, p. ej. los sólidos totales disueltos pensados para el control de vertimientos, sin tener en cuenta que muchos ecosistemas, de forma natural, pueden tener una alta carga.
- Los indicadores no están pensados para responder a la diversidad de ecosistemas acuáticos del país.

Necesidades:

- Tener en cuenta el problema de las limitaciones económicas para el monitoreo y seguimiento.
- Todos los laboratorios de las autoridades ambientales regionales deben estar acreditados y tener sus variables e indicadores ajustados a la realidad (natural y antrópica) de su territorio.

Propuestas:

- Necesidad de una línea base nacional para cada variable.
- Se recomienda revisar la curva funcional (la cual se obtiene de datos tomados en campo y es una función matemática) de la variable y su aplicabilidad a los ecosistemas acuáticos, más que en la clasificación, esto con el fin de pensar en una zonificación y línea base de una zona específica, para no “castigar” información que arrojan las variables al tener un solo dato, sino analizarla dentro el contexto y la integralidad en la que se encuentra.

- Aunque la modelación es un método dispendioso, ayudaría mucho a predecir escenarios y tomar buenas y acertadas decisiones sobre los EA. Se debe fortalecer esto en el país, dado que es la base sobre la que se va a poder trabajar en futuros escenarios.
- Correlacionar los resultados físicos y químicos con las comunidades hidrobiológicas, pero teniendo en cuenta que no todas las variables se pueden ordenar de esta forma, pues sus dinámicas responden a tiempos diferentes, y así mismo su incidencia en los sistemas.
- Se deben incorporar variables hidroclimáticas a los ejercicios de correlación.
- Tener en cuenta los parámetros necesarios para evaluar el ecosistema, más allá del recurso y sus condiciones mínimas para uso humano.
- Frente al interrogante sobre si es viable variar los límites en la legislación a partir de una zonificación ambiental, se concluye que:

Debilidades:

- La normatividad actual considera muy pocos parámetros para evaluar la calidad del agua frente a la preservación de la flora y fauna.
- Se aplican los índices para evaluar cosas para lo cual no fueron diseñados y lo peor, es que se empiezan a asumir esos errores como línea nacional.
- No hay un consenso real para el análisis de los límites. La interpretación varía si varía el límite.

Necesidades:

- Debería haber una sola guía/protocolo nacional para garantizar que todos los actores ambientales muestreen y monitoreen los ecosistemas acuáticos bajo los mismos mínimos nacionales y regionales.
- Es indispensable que todo lo que se formule frente a la gestión de los ecosistemas, no solo los acuáticos, responda a un ejercicio de regionalización. En el caso de los ecosistemas

acuáticos, debe empezar a hacerse por lo menos a nivel de áreas hidrográficas, con distinción de los más representativos en cada una de ellas.

Propuestas:

- En los protocolos/guías se deben incluir las pautas para el análisis de los límites de detección de las variables.
- La acreditación no debe ser solo para los laboratorios, sino que se deben hacer evaluaciones por competencias para los analistas.

2. Variables hidrológicas mínimas nacionales para garantizar el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país e índices más usados en Colombia.

En las Tablas 8 y 9 se presentan, en orden de importancia, las variables físicas (A) y químicas y microbiológicas (B) seleccionadas durante el ejercicio de priorización

nacional, para el monitoreo del estado de los ecosistemas acuáticos del país y otras variables sugeridas para cada grupo.

Tabla 8. Variables físicas y porcentaje de priorización para el monitoreo.

Variables*	Porcentaje de priorización		
	Mínimo	Intermedio	Complementario
Profundidad	79	21	0
Precipitación		14	7
Sólidos disueltos totales			
Ancho y longitud del cauce	71	29	0
Caudal natural			
Temperatura del agua		21	7
Tipos de sustratos		14	14
Temperatura del ambiente	64	29	7
Sólidos suspendidos totales			
Dimensión del espejo de agua		14	21
Evapotranspiración			

Variables*	Porcentaje de priorización		
	Mínimo	Intermedio	Complementario
Velocidad de la corriente	57	43	0
Transparencia		36	7
Mareas		21	21
Sedimentos		50	0
Pendiente	50	36	14
Velocidad del viento		21	29
Oleaje		21	29
Tiempo de residencia (embalses)	43	50	7
Características del lecho	36	64	0
Caudal líquido y sólido de entrada (embalses)		50	14
Escorrentía hídrica		21	50
Granulometría para fondos blandos	29	21	50
Sólidos inorgánicos totales	21	71	7

* Entre otras variables físicas sugeridas los participantes indicaron: volumen y batimetría para ecosistemas lénticos (con priorización intermedia y complementaria respectivamente), morfometría (intermedia), tipo de intervención (mínima), radiación solar, humedad y temperatura del suelo (sin priorización en estos casos).

Tabla 9. Variables químicas y microbiológicas-porcentaje de priorización para el monitoreo.

Variables*	Porcentaje de priorización		
	Mínimo	Intermedio	Complementario
pH	100	0	0
Oxígeno disuelto		0	0
Conductividad eléctrica	93	0	7
Fósforo total	86	14	0
Coliformes totales		14	0
Nitrógeno total	79	21	0
Salinidad		7	14
Carbono orgánico total	71	29	0
Alcalinidad	64	36	0
Plaguicidas		29	7
Grasas y aceites		21	14
Mercurio		21	14
Demanda química de oxígeno		43	0
Metales pesados	57	36	7
Porcentaje de saturación		36	7
Dureza	50	50	0
Nitratos		50	0
Materia orgánica disuelta	50	50	0

Variables*	Porcentaje de priorización		
	Mínimo	Intermedio	Complementario
Nitritos	43	57	0
Fosfatos			
Sulfatos		50	7
Calcio			
Plomo	36	64	0
Cloruros			
Materia inorgánica disuelta			
CO ₂ en agua		50	14
Metano			
Amonio			
Hidrocarburos aromáticos	29	64	7
Coliformes termotolerantes			
Sílice		57	14
Cobre			
Hierro	21	71	7
Magnesio			
Zinc			

* Entre otras variables químicas sugeridas los participantes indicaron: Carbono Orgánico Disuelto (COD), GEI en embalses, DBO₅, y en vertimientos proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, detergentes, antibióticos y contaminantes emergentes.

Fuente: elaboración propia (2021).

Se resalta, de acuerdo a las intervenciones de los participantes, que es muy importante que las variables mínimas de monitoreo nacional respondan en su totalidad a un ejercicio de regionalización, el cual proponen realizar según el siguiente orden de priorización:

- Área hidrográfica.
- Subzona hidrográfica y/o el nivel subsiguiente si se puede.
- Ecosistema (lénticos, lóticos, humedales, artificiales y marinos).
- Análisis a nivel de cuenca.
- Uso del suelo y presiones antrópicas.
- Características geológicas; patrones climáticos; geoquímica del agua.

- Sector económico de demanda de agua predominante.

Conclusiones

Para esta sesión temática es importante resaltar la numerosa participación, tanto en las charlas magistrales como en las mesas de trabajo, evidenciando que este es un tema de gran interés para el territorio nacional. Como resultado final de esta temática se concluye:

- Es necesario articular las variables marinas y costeras y sus índices de calidad de aguas a las evaluaciones nacionales del recurso hídrico, para tener mejores resultados en la gestión de este recur-

so a nivel nacional. No se debe olvidar que Colombia también es mar.

- Aunque la calidad y cantidad del agua como recurso son algunas de las características más analizadas en el país, hay debilidad en la identificación de indicadores sostenidos en el tiempo, por lo que es urgente la generación de líneas base para poder evaluar el estado y realizar proyecciones asertivas sobre el recurso.
- Los indicadores deben ser formulados con base en los usos del suelo del área circundante a los cuerpos de agua —no todas las afectaciones son por vertimientos—; es necesario empezar a articular diferentes motores de transformación para un análisis integral de los ecosistemas acuáticos.
- En el ámbito nacional existe una gran necesidad de realizar ajustes normativos para la regulación del recurso hídrico. Los valores de los límites de detección de las variables no están ajustados a la necesidad y realidad de nuestros ecosistemas acuáticos y se están tomando decisiones erradas que ponen en peligro la estabilidad de este vital recurso para el país.
- Es importante reconocer el esfuerzo de las diferentes entidades ambientales en el monitoreo del agua y en el registro de su información en los diferentes SIA; sin embargo, hay muchos vacíos en estas series de datos y en la validación de la información consignada en los sistemas. Es urgente que el país haga un ejercicio de evaluación de la calidad de la información para garantizar que realmente responda a la realidad física, química y microbiológica del recurso.
- Las evaluaciones nacionales del agua deberían incluir la información levantada por las corporaciones regionales, pero para esto es necesario realizar mejoras y ajustes al SIRH, a fin de garantizar la calidad de la información solicitada.
- Finalmente, es importante que a nivel nacional se pueda garantizar el monitoreo, sostenido en el tiempo, de las variables mínimas físicas, químicas y microbiológicas identificadas, para poder realizar la evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos, y que el análisis de estas variables responda a un proceso de regionalización, reflejando la realidad de este recurso en el país.

Sesión 3

Componente biofísico



Río Amazonas: entre Leticia y Puerto Nariño - Colombia / Buenaventura, Valle del Cauca-Colombia.

Autora: Claudia Andramunio-A.

Introducción

MSc. Raúl Páez Mendoza
Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive
Fundación Natura.



Dentro del proceso de construcción del protocolo, el componente biofísico ha sido orientado a la identificación de indicadores y variables que permitan el entendimiento de los procesos y cambios actuales en la forma de la superficie terrestre, así como de sus posibles transformaciones futuras, tomando como base los procesos geomórficos que interactúan según el ambiente morfogenético específicos donde se desarrollan y el tiempo de duración de la acción de los mismos. Además, este enfoque contempla la inclusión de indicadores relacionados con factores climáticos: regímenes de precipitación y sequía, fenómeno ENOS, cambio climático, de importante incidencia en el estado de los ecosistemas acuáticos del país.

Teniendo en cuenta la geomorfología, el suelo y el clima como factores clave a integrar en el monitoreo, para el equipo de trabajo del protocolo ha sido evidente la pertinencia de establecer un modelo de análisis de base desde el componente biofísico, donde confluyan aspectos como la geomorfología, la hidrología, el suelo, el agua, la cobertura vegetal, la fauna y los aspectos sociales y económicos. De acuerdo con estos avances, El equipo considera de gran importancia evaluar de manera consensuada con expertos la propuesta actual, así como los indicadores y las variables identificadas en el proceso y su integración al protocolo.

Resúmenes de ponencias

Monitoreo y seguimiento de los principales procesos de degradación del suelo en Colombia y sus impactos en los ecosistemas acuáticos



Dr. (c). Javier Otero García
Grupo de Suelos y Tierras
SEIA, Ideam.

Los suelos son un elemento importante constitutivo de los ecosistemas. Son la transición entre la litosfera, la atmósfera y la biosfera. El suelo es un “ente vivo”, dinámico, donde se producen procesos químicos, físicos y biológicos que cumplen funciones y prestan servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta. El suelo es parte esencial de los ciclos biogeoquímicos en los cuales hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía, necesarios para la vida en el planeta. Los suelos son fundamentales para el territorio y las culturas: dan soporte a la vida y a las actividades humanas.

La degradación de suelos se refiere a los cambios en sus propiedades, que disminuyen las funciones ecológicas y afectan negativamente los servicios ecosistémicos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD por sus siglas en inglés), el proceso de degradación está relacionado con las actividades humanas que causan incapacidad a la Tierra para sostener adecuadamente sus funciones ecológicas originales y/o económicas. Los principales procesos de degradación de suelos son: erosión, salinización, compac-

tación, desertificación y pérdida de materia orgánica, entre otros.

En la última década, el Ideam ha realizado estudios nacionales de los procesos de degradación de suelos por erosión y salinización. El país tiene 40% del territorio con algún grado de erosión, siendo el 2,9% entre severo y muy severo. La salinización afecta el 11,8% y 2,4% en grado severo, a muy severo.

Los suelos de los ecosistemas acuáticos, pese a ser diversos, tienen las siguientes propiedades en común: textura con tendencia fina (arcillosa), drenaje pobre a muy pobre, colores grises, verdes o azules, debido a la reducción por falta de oxígeno; profundidad efectiva superficial, debido al nivel freático, alto contenido de materia orgánica, pH con tendencia neutra a alca-

lina, CIC alta y saturación de bases media a muy alta.

Los principales impactos de la degradación de los suelos en los ecosistemas acuáticos han sido: mayor sedimentación y colmatación, fluctuaciones mayores del nivel freático, mayores procesos de oxidación y tendencia a la acidificación, disminución de la actividad biológica, mayor liberación de gases, mayor metabolismo y pérdida de materia orgánica, acumulación de sales y pérdida de productividad. La adecuación de tierras para sistemas de drenaje y riego afecta los ecosistemas acuáticos, así como la contaminación de las aguas y el mayor uso de agroquímicos. En zonas secas, los ecosistemas acuáticos sufren un avance significativo de la desertificación.

Evaluación hidráulica y morfodinámica como indicador del estado de los sistemas acuáticos



Dra. Lilian Posada García

Facultad de Ingeniería
UNAL, sede Medellín.

La evaluación hidráulica y morfodinámica debe considerar los aspectos geomórficos del sistema acuático: forma del cauce; materiales del lecho y bancas; posición en el sistema fluvial; características de variables del flujo. Asimismo, los procesos asociados en cada zona dinámica: producción, transporte o transferencia y depositación. Los parámetros hidrológicos y morfométricos son, entre otros, la conectividad, el régimen hidrológico-hidráulico fluvial, la morfometría del cauce y zonas ribereñas, virus y bacterias, fitoplancton y zooplancton, macroinvertebrados y peces.

La conectividad ocurre y debe ser evaluada en tres ejes: transversal, vertical y en

la dirección del flujo. El régimen hidrológico-hidráulico fluvial implica cambios en la descarga a lo largo del tiempo y del espacio, y determina los pulsos de inundación. La productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica están reguladas principalmente por el régimen hidrológico, que condiciona la velocidad de los procesos, las condiciones de máxima circulación de la energía y el balance entre acumulación y transferencia de elementos dentro del sistema. La morfometría del cauce y de las zonas ribereñas está ligada al concepto de conectividad y a procesos de transporte de sedimentos: abrasión, acorazamiento, imbricación, formación de dunas, rizos, ba-

rras, islas, entre otros). La identificación de virus y de bacterias como *E. coli*, así como la estructura y función de las comunidades de fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces, se utilizan para conocer la calidad del agua. Los primeros se relacionan directamente con la procedencia de aguas servidas humanas, pero no son eficientes para aguas servidas provenientes de animales. Las comunidades planctónicas se usan más comúnmente en estudios de ecosistemas lénticos. Por otra parte,

los macroinvertebrados responden a los cambios en la cobertura de la vegetación de la cuenca.

Entre los métodos de campo para evaluar los componentes hidráulico y morfodinámico, se deben tener en cuenta: la medición de cargas de sedimentos de fondo y en suspensión, la caracterización de sedimentos del lecho, el aforo líquido y sólido, perfiles de velocidad, la medición de resistencia al flujo en canales de lecho móvil, entre otros.

Mesas temáticas

Para esta temática se plantearon 3 objetivos específicos, los cuales se abordaron en 5 mesas temáticas, en las que se discutió sobre variables e indicadores mínimos a considerar, en relación con las características geomorfológicas, edafológicas y climáticas, que influyen en la zonificación de los ecosistemas acuáticos del país y las que deben ser monitoreadas. Dichos objetivos fueron:

- Identificar variables e indicadores clave, relacionados con el componente de suelos y geomorfológico (especialmente con los procesos de sedimentación, terrización, erosión y cambio de uso) a integrar en el *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país* a escalas nacional y regional.
- Conocer los indicadores biofísicos para el monitoreo de ecosistemas marinos, costeros e insulares e identificar posibles variables y/o indicadores complementarios para procesos de monitoreo y seguimiento a nivel nacional y regional.
- Establecer variables e indicadores clave que permitan evaluar los procesos de contaminación por materia orgánica, pérdida de conectividad y cambio climático, y sus efectos sobre la degradación de los ecosistemas acuáticos, a escalas nacional y regional.

Las 5 mesas desarrolladas durante la sesión fueron:

1. Geomorfología: sistema de clasificación del terreno, ambiente morfogené-

tico, unidad geomorfológica (erosión, sedimentación): moderada por Raúl Páez Mendoza, profesional temático suelos y geomorfología, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

2. Monitoreo y evaluación de la degradación de suelos y sus impactos en los ecosistemas acuáticos:

moderada por Javier Otero García, experto en suelos, Grupo de Suelos y Tierras, SEIA, Ideam.

3. Cambio climático e indicadores de degradación de ecosistemas acuáticos:

moderada por Diana Jiménez, profesional Afolu Alta Montaña, programa Páramos y Bosques, SEA, Ideam.

4. Indicadores biofísicos para el monitoreo de ecosistemas marinos, costeros e insulares:

moderada por Diana Isabel Gómez López, jefe de línea Organización y Dinámica de Ecosistemas, programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM); y Lizbeth Janet Vivas Aguas, jefe línea de investigación Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros, programa Calidad Ambiental Marina (CAM), Invemar.

5. Transformación por procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad:

moderada por María Juliana Salcedo Hernández, profesional componentes socioeconómico y biofísico y Claudia Patricia Andramunio Acero, profesional componentes hidrobiología y calidad del agua, SEIA, Ideam.

- **Análisis de resultados de las actividades propuestas**

Los resultados de las discusiones y actividades relacionadas se sintetizaron en tres bloques, a saber: primero, variables relacionadas con los componentes de

geomorfología y suelos; segundo, indicadores biofísicos para el monitoreo de ecosistemas marinos, costeros e insulares; y, tercero, indicadores y variables biofísicas relacionadas con procesos de degradación y pérdida de ecosistemas acuáticos:

1. Variables relacionadas con los componentes de geomorfología y suelos

- Insumos de levantamiento edafológico y disponibilidad de la información

A los participantes a las mesas, y demás profesionales que desarrollaron las ac-

tividades propuestas, se les indagó sobre la información disponible en sus instituciones en relación con esta temática. Las respuestas obtenidas se agruparon en la Tabla 10.

Tabla 10. Información disponible para el levantamiento edafológico.

Tipo de levantamientos edafológicos que realizan	Frecuencia de los levantamientos	Tipo de material generado	Disponibilidad de la información	Perfil profesional de quien analiza la información
Semidetallado (1:25.000)	Anual	Principalmente cartográfico	A solicitud del usuario	Geólogo, Agrónomo, Especialista en geomorfología, Ingeniero Agrícola, Ingeniero Agrónomo.
	A solicitud de los usuarios.			
	Mensual			
	Semestral	Documental		

Fuente: elaboración propia (2021).

Adicionalmente, como resultado de las discusiones se resaltó el poco conocimiento sobre metodologías y alcances de estudios detallados y semidetallados de suelos.

- **Variables que se incorporan en el análisis del componente suelos y variables, e indicadores que deben ser incorporados al análisis del estado de los ecosistemas acuáticos.**

En la Tabla 11 aparecen resaltadas en azul las variables comunes, incorporadas a los estudios de suelos y que deben ser consideradas para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos, y en negrilla las que fueron más mencionadas por los participantes.

Tabla 11. Variables incorporadas actualmente y priorizadas para la inclusión en el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos.

Variables que se incorporan al análisis	Variables e indicadores a incorporar en el proceso de monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos
Físicas*	
<ul style="list-style-type: none"> • Erosión. • Drenaje Natural • Pendiente • Profundidad efectiva • Textura • Tipo de suelo • Sedimentación • Aportes de salinidad en regiones costeras • Capacidad de intercambio catiónico (CIC) • Conductividad • Densidad aparente • Estabilidad estructural • Nivel freático • Retención de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Erosión (grado, tipo y clase).</u> • Drenaje natural • Pendiente (fases de pendiente) • Profundidad efectiva • Textura • <u>Tipo de suelo</u> • Carbono/nutrientes • Oxígeno disuelto • Mineralogía (tipo de mineral dominante en la fracción arcilla y arena) • Infiltración • Compactación <u>Indicador:</u> cantidad de agua
Químicas	
<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados (plomo) • pH • Cadmio • Cobre • Hierro • Magnesio • Manganeso • Nitrógeno total Kjeldahl • Sales • Zinc 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbono • Nutrientes • Oxígeno disuelto

* Como complemento al análisis físico, fue mencionada por los asistentes la necesidad de realizar evaluaciones de los acuíferos que aportan a la cuenca. Es importante aclarar que, aunque se considera de gran importancia este tipo de estudios, la información actual se ha obtenido principalmente a partir de estimaciones y no de cuantificaciones o mediciones, debido al alto costo de estas últimas.

Fuente: elaboración propia (2021).

- Procesos de degradación de suelos y variables biológicas y físicas mínimas a tener en cuenta en el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos del país

En relación con estos procesos y variables, los participantes analizaron y priorizaron la necesidad de regionalización. Los resultados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Ejercicio de priorización de variables e indicadores de procesos a regionalizar en relación con el componente suelos.

Priorización	Necesidad de regionalización	
Procesos de degradación del suelo (mínimos a tener en cuenta)		
1. Grado de erosión	Tanto los procesos, como las variables asociadas a las propiedades del suelo (biológicas y físicas), deben surtir regionalización para la correcta interpretación de resultados.	
2. Grado de pérdida de materia orgánica		
3. Grado de compactación		
4. Grado de salinización		
Propiedades biológicas del suelo (variables mínimas)		
1. Número o poblaciones de microorganismos (bacterias, hongos, algas)		
2. Número de mesoorganismos (insectos, lombrices, invertebrados, etc.)		
3. Cantidad de hojarasca (<i>litter</i>)		
Propiedades físicas del suelo (variables mínimas)		
1. Densidad aparente		
2. Densidad real		
3. Porosidad		
4. Conductividad hidráulica		
5. Infiltración		
6. Nivel freático		
7. Color (condiciones redoximórficas)		
8. Retención de humedad (capacidad de campo, punto de marchitez, saturación)		
9. Resistencia a la penetración		

Fuente: elaboración propia (2021).

2. Indicadores biofísicos para el monitoreo de ecosistemas marinos, costeros e insulares

En las Tablas 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos para el ejercicio de identificación de temáticas e indicadores a

tener en cuenta en el monitoreo de los ecosistemas acuáticos del país, así como los principales usuarios de esta información.

Tabla 13. Temáticas complementarias e indicadores utilizados y propuestos para el monitoreo de los ecosistemas marino costeros.

Temas complementarios al monitoreo	Indicadores para el monitoreo del estado de los ecosistemas o especies
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer cómo se usa el territorio y qué se exige a quienes hacen uso. • Incluir indicadores relacionados con fondos blandos o sedimentarios. • Dar relevancia a la zona pelágica, en donde hay tráfico de embarcaciones, pesca industrial, plataformas off-shore petroleras. • Hace décadas hay datos sobre plancton del Pacífico, en una malla de puntos, usado exclusivamente para fines académicos de evaluación – ENOS. Podría replicarse en el Caribe. 	<ul style="list-style-type: none"> • Índices de condición y tendencia de bosques de manglar, praderas fanerógamas y áreas coralinas. • Litorales rocosos y arenosos - indicadores de la iniciativa Nagisa. Limitación: no consideran datos físico-químicos. Posibilidad de mejora. • Aguas costeras y pelágicas (y aplica para agua dulce), fitoplancton y zooplancton, Macro y microbentos. • No limitar levantamiento de información a áreas protegidas, las zonas de uso requieren urgentemente datos de monitoreo para tomar acciones. • Índice de calidad de las aguas marinas – ICAM. • Sistema de soporte al monitoreo de las áreas coralinas (SIMAC).

Fuente: elaboración propia (2021).

Tabla 14. Principales usuarios de las nuevas temáticas e indicadores planteados en la tabla anterior.

Usuario / Sector	Uso
Ambiente	Máximo
Salud	
Turismo	
Portuario	
Educación	Intermedio
Industria	
Minero	
Saneamiento básico	
Ciencia y tecnología	Mínimo
Defensa	
Económico	
Agrícola	
Energético	
Otros	

Fuente: elaboración propia (2021).

En la Tabla 15 se presentan los principales propósitos de uso de la información

identificados por los participantes.

Tabla 15. Propósitos de uso de la información.

Propósito	Uso
Planificación ambiental	Máximo
Investigación	
Análisis de coyuntura para toma de decisiones en el corto plazo	Intermedio
Análisis y tendencias para la formulación de políticas a largo plazo	
Propósitos académicos	Mínimo
Análisis sectorial y toma de decisiones empresariales	
Planificación territorial	
Formulación, control y seguimiento de políticas sectoriales	

Fuente: elaboración propia (2021).

3. Indicadores y variables biofísicas relacionadas con algunos de los principales procesos de degradación y pérdida identificados para los ecosistemas acuáticos del país: contaminación por materia orgánica, pérdida de conectividad y cambio climático

a. Cambio climático e indicadores de degradación de ecosistemas acuáticos

En primera instancia, durante el desarrollo de la mesa, se consultó a los participantes sobre su conocimiento en relación con esta temática.

- ¿Ha participado en ejercicios de medición y/o monitoreo de emisiones de GEI en humedales?

La mayoría (62%) indicaron no haber participado en este tipo de ejercicios. Entre el porcentaje restante, se mencionaron algunos proyectos como programa Humedales de Vida y Estimación de Carbono Azul en Ecosistemas de Manglares.

- ¿Considera que existe diferencia en la función de captura de carbono entre los tipos de humedales del país?

Todos los participantes respondieron positivamente. En cuanto a la justificación, refirieron que la diferencia en la función de captura de carbono entre los tipos de humedales depende de la composición estructural y funcional de los mismos; de las dinámicas de regulación; de su extensión y localización; de la biomasa vegetal que albergan y del tipo de suelo; así como de las actividades de gestión que se realizan sobre los humedales y de los cambios en el uso del suelo.

A modo de ejemplo, se indicó que existen humedales dulceacuícolas que no poseen considerable cobertura vegetal (acuática o de galería terrestre); en tanto que existen humedales marino costeros, sobre los cuales se asocia vegetación como pastos marinos y bosques de manglar, que poseen un porcentaje mayor (de hasta 5 veces más) en la captura y retención de carbono. De esta forma, un hu-

medal puede ser sumidero o fuente de carbono en un momento determinado, dependiendo de varios factores clave.

En la Tabla 16 se presentan las variables más relevantes en la función de captura o emisión de GEI como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y/u óxido nitroso (N₂O) en humedales identificadas por los participantes.

Tabla 16. Variables para monitorear la función de captura o emisión de GEI en humedales.

Variables	Orden de relevancia
Tipo de vegetación	Máximo
Tipo de humedal	
Tipo de suelo	Intermedio
Tipos de uso / conversión de la tierra	
Extensión del humedal (cambios en la superficie)	
Cantidad de fertilizantes	
Profundidad del nivel freático	
Profundidad del humedal (según Ramsar)	Mínimo
Localización del humedal	
Tipo de nutrientes agrícolas	
Tipo de sustancias químicas utilizadas para la actividad antrópica	

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Qué tipo de cambio ecológico, que puede ocurrir en cada alteración sobre el régimen hídrico, representaría aumento de emisiones de GEI por humedales?

En su orden: la infraestructura para urbanización, carreteras, viviendas y fá-

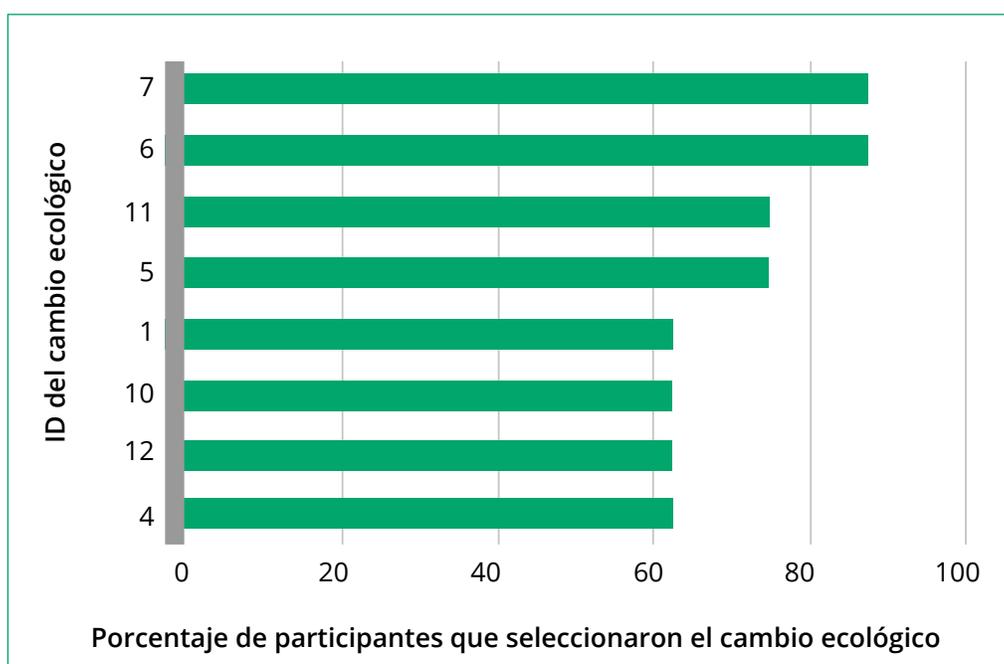
bricas; la infraestructura para minería y para adecuación de terrenos agrícolas; la desecación y el drenaje; son las alteraciones sobre el régimen hídrico que, según los participantes, generan más cambios ecológicos y que representan un aumento de las emisiones en los humedales.

Tabla 17. Identificación (ID) de cambio ecológico en alteraciones sobre el régimen hídrico.

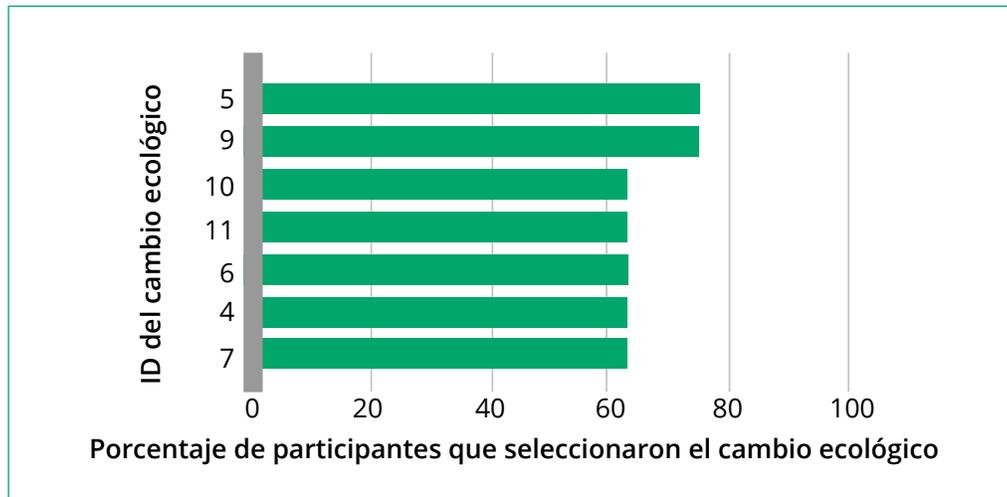
ID	Cambio ecológico
1	Compactación de suelos
2	Disminución de aportes por afluentes
3	Disminución del nivel de agua
4	Disminución del nivel freático
5	Disminución o pérdida de unidades ecológicas de humedales
6	Eliminación de cuerpos de agua
7	Fragmentación
8	Reducción del período de anegamiento
9	Oxidación-reducción y mineralización de suelos
10	Pérdida de la vegetación
11	Pérdida de superficie de humedales
12	Reducción de la frecuencia de anegamiento
13	No se presenta el cambio ecológico correspondiente

Fuente: elaboración propia (2021).

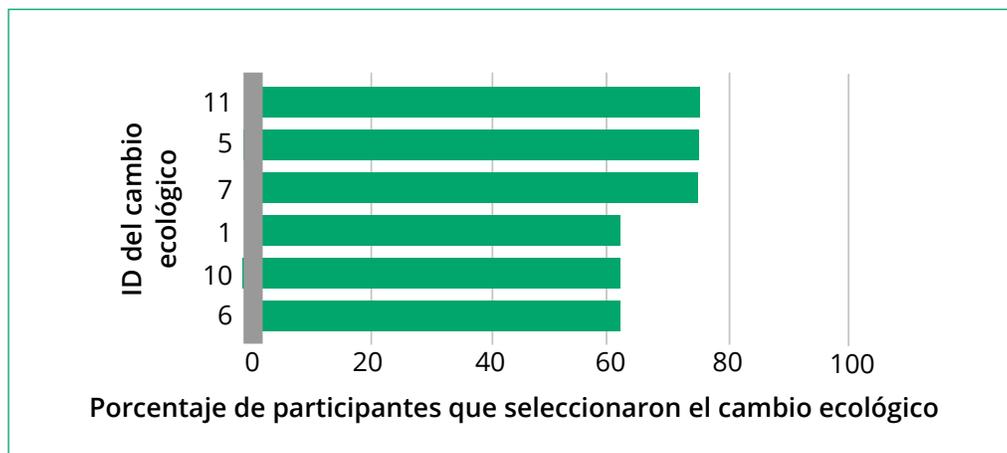
Infraestructura para urbanización carreteras, viviendas, fábricas



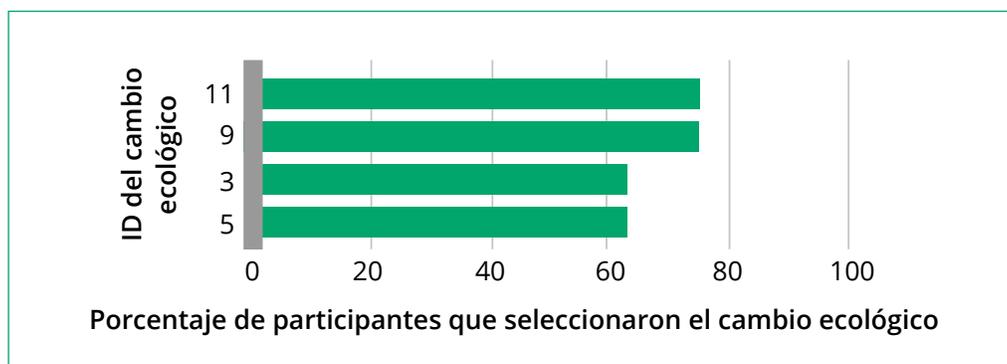
Infraestructura para minería



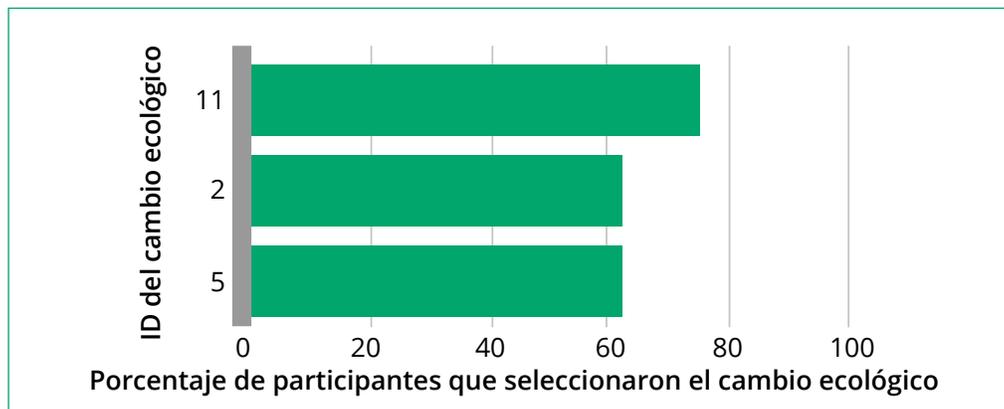
Infraestructura para adecuación de terrenos agrícolas



Canales para desecación



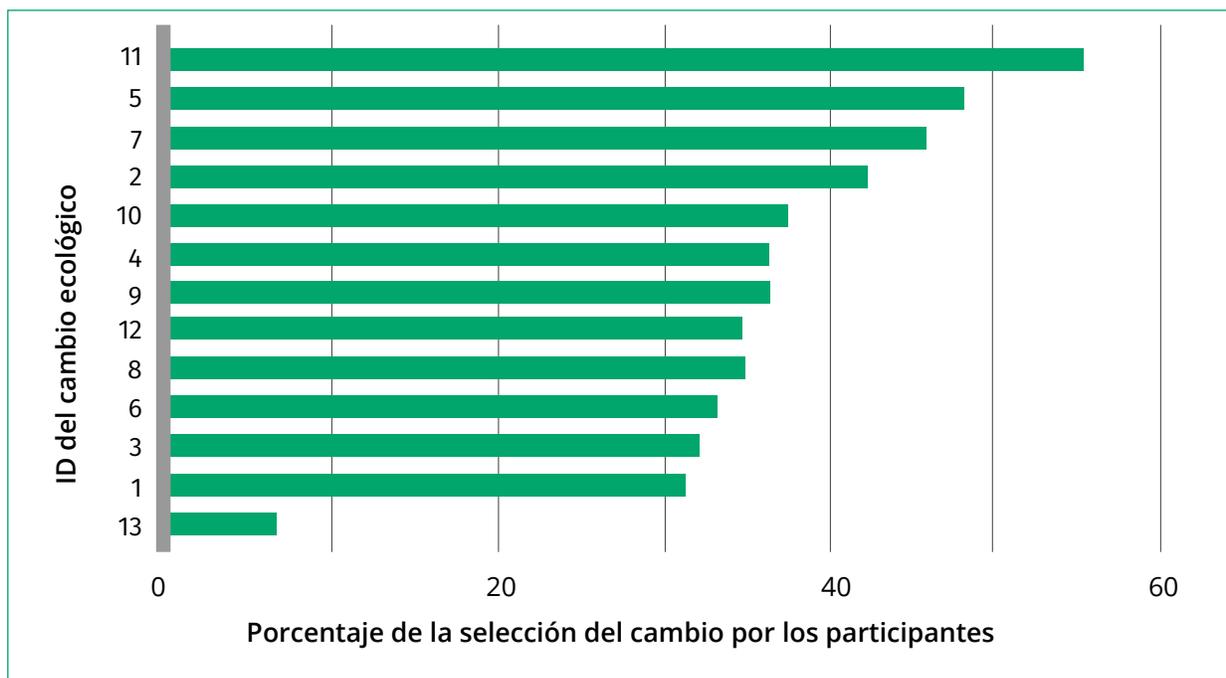
Drenajes



- **Figura 2.** Cambios ecológicos que puede ocurrir en las principales alteraciones sobre el régimen hídrico identificadas y que representaría un aumento de emisiones de GEI en humedales.
- **Fuente:** elaboración propia (2021).

En términos generales, entre los cambios ecológicos derivados de las alteraciones de régimen hídrico evaluadas se identificaron como más relevantes: pérdida

de superficie de humedales (11), disminución o pérdida de unidades ecológicas de humedales (5), fragmentación (7) y disminución de aportes por afluentes (2):



- **Figura 3.** Cambios ecológicos que representan aumento de GEI por alteraciones sobre el régimen hídrico en humedales.
- **Fuente:** elaboración propia (2021).

- ¿En qué orden de magnitud considera que estas alteraciones sobre el régimen hídrico ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera?
 1. Perturbación puntual: pueden llegar a afectar la integridad o carácter ecológico del humedal en un espacio limitado y en tiempo restringido. Usualmente se mantiene el carácter ecológico original.
 2. Perturbación severa: sin destruir completamente el humedal, afectan su integridad o carácter ecológico y cuando persisten en el espacio y el tiempo dan paso a la transformación total del ecosistema.
 3. Transformación total o conversión: casos en los que las intervenciones determinan la desaparición total de los humedales, cambiando completamente su carácter ecológico. Esta transformación en muchos casos es irreversible, aunque a veces subsisten condiciones físicas que eventualmente permitirían su restauración (Naranjo et al.1999⁶).

6 Naranjo, L., Andrade, G., Ponce de León, E. 1999. Humedales interiores de Colombia: bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto Humboldt. ISBN 96529-6-4.

Tabla 18. Orden de magnitud en el que se considera que las alteraciones sobre el régimen hídrico ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera.

Alteración	Orden de magnitud (porcentaje de selección por los participantes)			
	No potencial de emisión	1. Puntual	2. Severa	3. Total o conversión
Infraestructura para urbanización	10	10	20	60
Canales para desecación	0	0	44	56
Compuertas	13	38	38	13
Diques para retención de agua	13	38	38	13
Dragados	11	22	33	33
Drenajes	13	38	13	38
Explotación RH curtiembres	0	44	33	22
Infraestructura acuicultura	22	33	22	22
Infraestructura minería	0	9	27	64
Infraestructura y adecuación terrenos agrícolas	0	27	36	36
Infraestructura distritos riego	0	18	45	36
Represas	11	11	33	44

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Considera otra(s) alteración(es) sobre el régimen hídrico que podría(n) ocasionar emisiones de GEI a la atmósfera a corto, mediano o largo plazo? ¿Cómo ocasionan emisiones?
 - Emisiones a corto y largo plazo, aguas abajo de la apertura de compuertas de embalses.
 - Al momento de las desecaciones de los cuerpos de agua en los períodos de verano extensos, los ganaderos suelen incrementar la población de semovientes y densificar el suelo, afectando seriamente el área que le corresponde al humedal.
 - Infraestructura y adecuación de terrenos para uso agrícola, pecuario (ganadero) y turismo.
 - La actividad acuícola que está en aumento en todo el país.
 - Remoción de la cobertura vegetal y deforestación del bosque de galería.
- ¿Qué tipo de cambio ecológico, que puede ocurrir en cada alteración sobre la calidad del agua y biota, representaría aumento o reducción de emisiones de GEI por humedales?

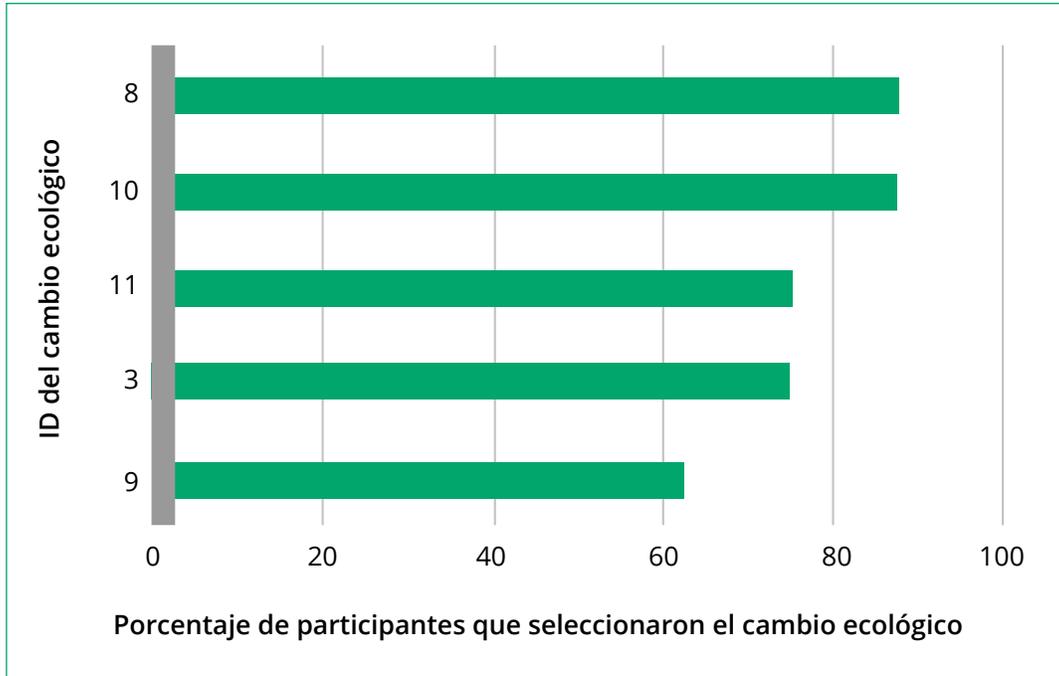
En orden, la deforestación, la disposición de basuras, la extracción de suelo para actividades agrícolas, la descarga de aguas de curtiembres y de industrias lecheras sin tratamiento previo o insuficiente, son las alteraciones sobre la calidad del agua y la biota que, según los participantes, generan más cambios ecológicos y representan un aumento en las emisiones en los humedales.

Tabla 19. Identificación (ID) de cambio ecológico en alteraciones sobre la calidad del agua y biota.

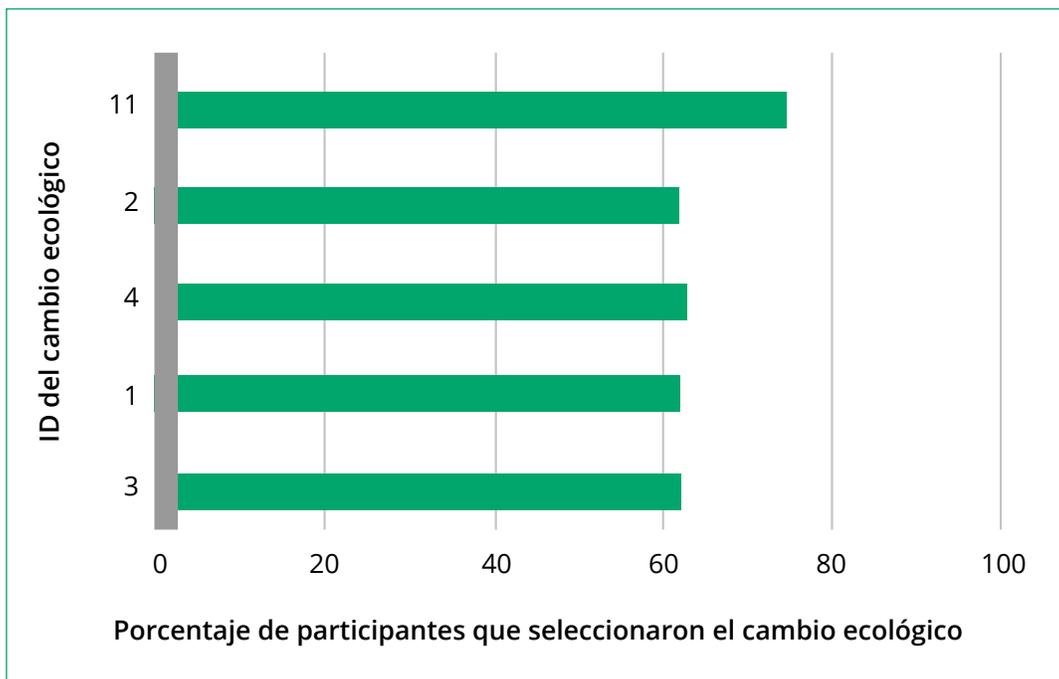
ID	Cambio ecológico
1	Adición de nitratos al suelo
2	Aumento del aporte de nutrientes
3	Aumento del aporte de sedimentos
4	Aumento de la turbidez
5	Contaminación con pesticidas
6	Contaminación por residuos de industrias de curtiembres
7	Contaminación por residuos de industrias lecheras
8	Desestabilización de las reservas de carbono del suelo
9	Eliminación de biomasa aérea
10	Eliminación de hábitat
11	Emisiones de GEI a la atmósfera
12	No se presenta el cambio ecológico correspondiente

Fuente: elaboración propia (2021).

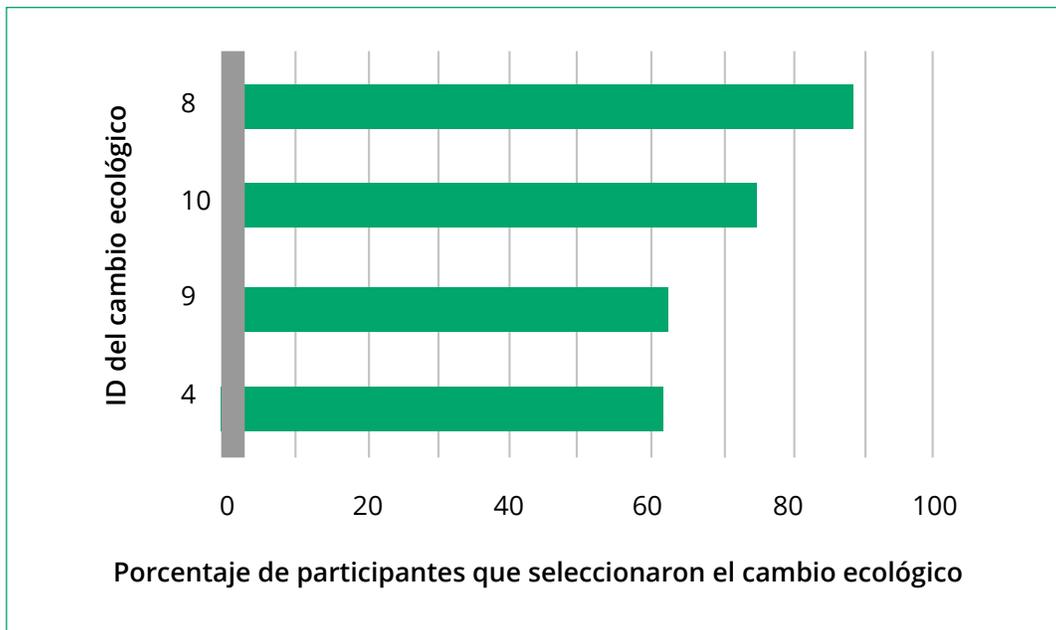
Deforestación



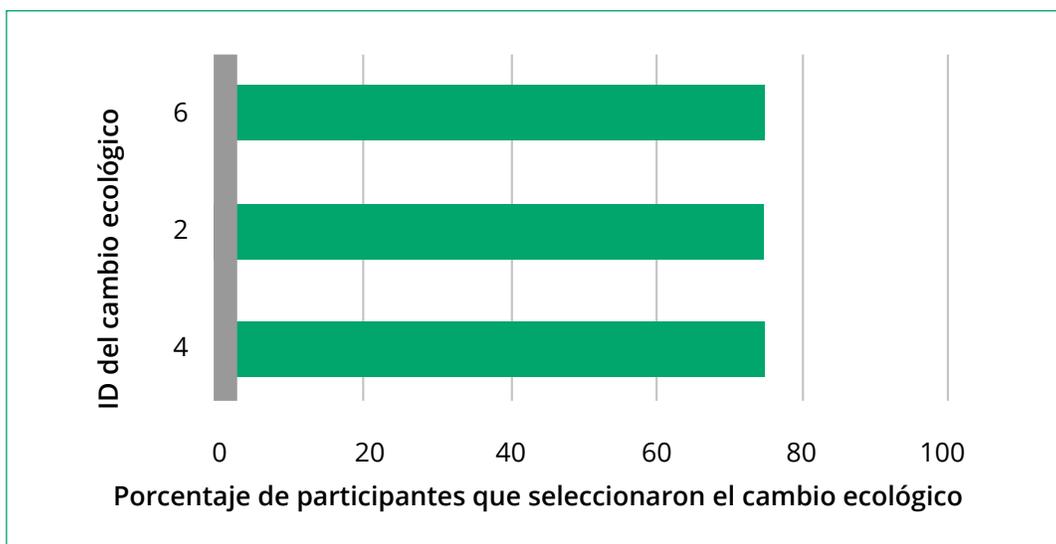
Disposición de basuras



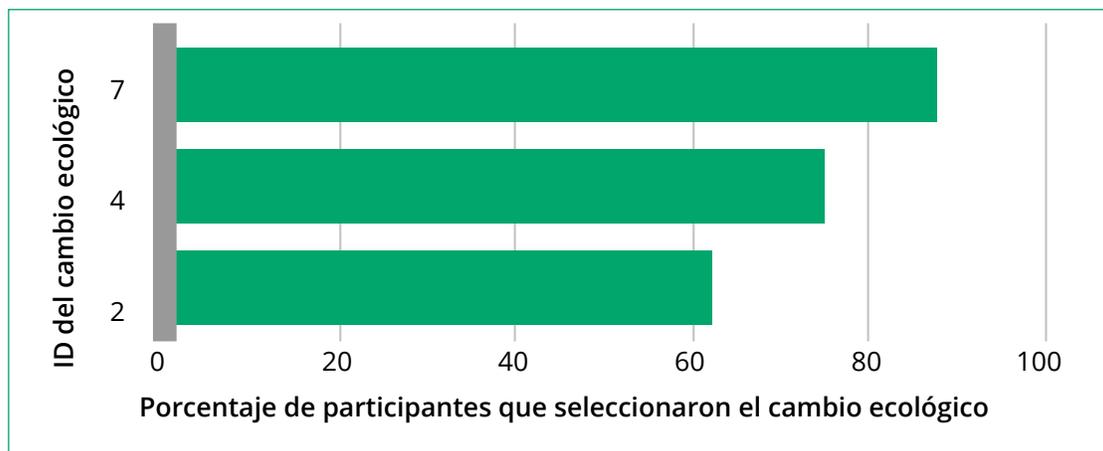
Extracción de suelo para actividades agrícolas



Descarga de aguas de curtiembres sin tratamiento previo o insuficiente



Descarga de aguas de industrias lecheras sin tratamiento previo o insuficiente



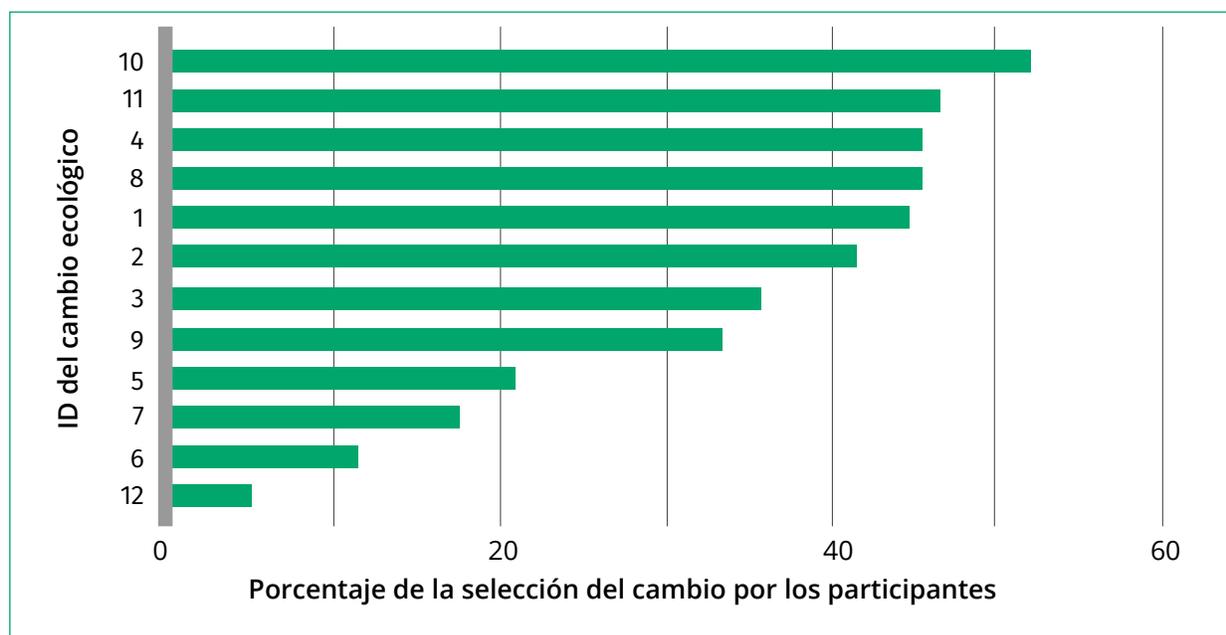
• **Figura 4.** Cambios ecológicos que pueden ocurrir en las principales alteraciones sobre la calidad del agua y la biota y que representaría un aumento o reducción de emisiones de GEI en humedales.

• **Fuente:** elaboración propia (2021).

Entre los cambios ecológicos derivados de tales alteraciones, se seleccionaron como los más importantes: eliminación de hábitat

(10), emisiones de GEI a la atmósfera (11), aumento de la turbidez (4) y desestabilización de las reservas de carbono del suelo (8).

Cambios ecológicos que representan aumento o disminución de GEI por alteraciones de la calidad de agua y biota en humedales



• **Figura 5.** Cambios ecológicos que representan aumento de GEI por alteraciones sobre la calidad del agua y la biota en humedales.

• **Fuente:** elaboración propia (2021).

- ¿En qué orden de magnitud considera que estas alteraciones sobre la calidad del agua y la biota ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera?

1. Perturbación puntual: pueden llegar a afectar la integridad o carácter ecológico del humedal en un espacio limitado y en tiempo restringido. Usualmente se mantiene el carácter ecológico original.
2. Perturbación severa: sin destruir completamente el humedal, afectan su integridad o carácter ecológico.

Cuando persisten en el espacio y el tiempo dan paso a la transformación total del ecosistema.

3. Transformación total o conversión: casos en los que las intervenciones determinan la desaparición total de los humedales y cambian completamente su carácter ecológico. Esta transformación en muchos casos es irreversible, aunque a veces subsisten condiciones físicas que eventualmente permitirían su restauración (Naranjo et al. 1999⁷).

7 Naranjo, L., Andrade, G., Ponce de León, E. 1999. Humedales interiores de Colombia: bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto Humboldt. ISBN 96529-6-4.

Tabla 20. Orden de magnitud en el que se considera que las alteraciones sobre la calidad del agua y la biota ocasionan degradación en los humedales y emisiones de GEI a la atmósfera.

Alteración	Orden de magnitud (porcentaje de selección por los participantes)		
	1. Puntual	2. Severa	3. Total o conversión
Deforestación	31	31	38
Descarga de aguas de curtiembres sin tratamiento previo o insuficiente	23	46	31
Descarga de aguas de industrias lecheras sin tratamiento previo o insuficiente	27	45	27
Descarga de fertilizantes para agricultura	10	70	20
Descarga de pesticidas para agricultura	10	60	30
Descarga de residuos del ciclo productivo ganadero	25	50	25
Disposición de basuras	33	42	25
Explotación de vegetación del humedal	40	40	20
Extracción de suelo para actividades agrícolas	8	50	42
Extracción de turba	17	50	33

Alteración	Orden de magnitud (porcentaje de selección por los participantes)		
	1. Puntual	2. Severa	3. Total o conversión
Introducción de especies exóticas de peces para acuicultura	30	40	30
Quema de vegetación del humedal	21	36	43
Reforestación con especies exóticas	33	33	33

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Considera otra(s) alteración(es) a la calidad del agua y la biota del humedal que podría(n) ocasionar emisiones de GEI a la atmósfera a corto, mediano o largo plazo? ¿Cómo ocasionan emisiones?
 - Construcción de embalses.
 - Desección de humedales.
 - Emisión de contaminantes descargados a afluentes de humedales.
- Actividad acuícola.
- Alteración de la dinámica hídrica - conectividad.

En la Tabla 21 se presentan las variables consideradas relevantes por los participantes para evaluar y monitorear la funcionalidad de los humedales como reservorios de carbono.

Tabla 21. Variables relevantes para evaluar y monitorear la funcionalidad de los humedales como reservorios de carbono.

Variable	Orden de relevancia
Contenido de Carbono Orgánico del suelo	Máximo
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	
Estructura del suelo	Intermedio
Temperatura	Mínimo
pH del suelo	
Edad del humedal	
Nivel del agua	
Densidad aparente del suelo	
Textura del suelo	
Nivel freático	
Contenido de nitrógeno	

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Qué otra(s) variable(s) incluiría para evaluar y monitorear la funcionalidad de los humedales como reservorios de carbono? Por favor detallar las razones.
 - Frecuencia de inundación.
 - Análisis físicos y químicos del suelo.
 - Radiación solar.
 - Oxígeno disuelto.
 - Morfometría.
 - Biomasa aérea.
 - Precipitación.
 - Tipo de humedal.

Los humedales, como se conocen hoy, han variado respecto a hace 500 años. Tener referencias de los no intervenidos sería apropiado como punto de partida para

conocer las especies de flora y fauna predominantes. Sin embargo, los páramos (turberas) y bosques (andino, pie de monte y llanura) han sido en gran parte destruidos para imponer modelos productivos de minería, ganadería y agricultura. Se debe trabajar en la restauración de estas áreas.

b. Contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad

En la Tabla 22 se presenta la calificación de variables biofísicas mínimas del recurso agua identificadas para el monitoreo nacional de procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.

Tabla 22. Variables biofísicas mínimas del recurso agua identificadas para el monitoreo nacional, en relación con los procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.

Variable biofísica	Porcentaje de selección por los participantes	
	Contaminación por materia orgánica	Pérdida de conectividad
Color	100	0
Sólidos disueltos totales		
Sólidos inorgánicos totales		
Sólidos suspendidos totales		
Sólidos volátiles totales		
Transparencia	67	33
Profundidad		
Temperatura del agua	50	50
Caudales líquidos y sólidos de entrada (embalses)		
Cobertura del sustrato del lecho		
Tiempo de residencia (embalses)	40	60
Evapotranspiración		
Granulometría de fondos blandos	25	75
Mareas		
Nivel del agua		

Variable biofísica	Porcentaje de selección por los participantes	
	Contaminación por materia orgánica	Pérdida de conectividad
Área superficial	17	83
Ancho del cauce húmedo	0	100
Caudal		
Oleaje		
Precipitación		

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Qué otras variables biofísicas considera importante incluir en el análisis del recurso agua y bajo qué enfoque las clasificaría (contaminación por materia orgánica y/o pérdida de conectividad)?

Contaminación por materia orgánica

- pH.
- DQO.
- Carbono Orgánico Total.
- Coliformes totales.
- Residuos sólidos orgánicos.
- Metales y agroquímicos en tejidos y vísceras de peces.

Pérdida de conectividad

- Rutas alternativas de migración de peces.
- Presencia de peces migratorios.
- Ictioplancton de especies migratorias.
- Evaluación de flujos en ciénagas.
- Tapones y colmatación en ciénagas y caños.

En la Tabla 23 se presenta la calificación de variables biofísicas mínimas del recurso suelo/ambiente identificadas para el monitoreo nacional de procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.

Tabla 23. Variables biofísicas mínimas del recurso suelo/ambiente identificadas para el monitoreo nacional en relación con los procesos de contaminación por materia orgánica y pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos.

Variable biofísica	Porcentaje de selección por los participantes	
	Contaminación por materia orgánica	Pérdida de conectividad
Consistencia del suelo	80	20
Intensidad lumínica		
Densidad aparente del suelo		
Materia Orgánica Muerta	75	25
Temperatura del ambiente		
Temperatura del suelo		

Variable biofísica	Porcentaje de selección por los participantes	
	Contaminación por materia orgánica	Pérdida de conectividad
Espesor del horizonte A (epipedon)	60	40
Humedad del suelo		
Mineralogía de arcillas		
Nivel freático	50	50
Altitud	40	60
Drenaje natural	33	67
Unidad de suelos		
Cambios en la línea de costa		
Unidad climática	25	75
Ambiente morfogenético	0	100
Pendiente		
Unidad geomorfológica		

Fuente: elaboración propia (2021).

- ¿Qué otra variable biofísica considera importante incluir en el análisis del recurso suelo/ambiente y bajo qué enfoque las clasificaría (contaminación por materia orgánica y/o pérdida de conectividad)?

Contaminación por materia orgánica

- pH del suelo.
- Metales pesados.
- Carbono Orgánico Total en sedimentos.

Pérdida de conectividad

- Colmatación o pérdida de volumen por sedimentación.
- Cobertura del suelo, p. ej. natural o en buen estado, con cultivos, sin cobertura.
- Índices de capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

Es necesario anotar que en la discusión (tanto de este aspecto, como del recur-

so agua) se planteó la escasez de recursos y capacidades técnicas y profesionales de las autoridades ambientales regionales, para implementar variables adicionales de análisis por fuera de las evaluadas actualmente.

- ¿Considera importante que las variables mínimas de monitoreo nacional para el enfoque biofísico respondan a un ejercicio de regionalización? Si su respuesta es afirmativa, por favor mencione con base en qué información realizaría el proceso de regionalización (p. ej.: área hidrográfica, bioma, paisaje, ecosistema).

Todos los participantes respondieron afirmativamente.

Entre las opciones de regionalización se presentaron con mayor porcentaje (igual entre sí) el área hidrográfica y los ecosiste-

mas. No obstante, se mencionaron también unidades integrales en suelos, como marcos pedológicos IGAC, variables de suelo y paisaje.

Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas de las discusiones realizadas en las mesas y los resultados de las actividades propuestas se especifican a continuación:

- Existe una estrecha relación entre la geomorfología y los suelos. Las diferencias significativas entre las regiones del país hacen necesaria su caracterización detallada en relación con los ecosistemas acuáticos.
- Procesos como la erosión, sedimentación y terrización deben ser analizados e integrados al monitoreo, pues aportan información valiosa sobre fenómenos relacionados con la degradación de ecosistemas acuáticos, como la pérdida de los suelos.
- Desde el conocimiento de la capacidad de uso del suelo se establecen las directrices para su conservación y manejo, por lo cual es necesario hacer estudios más detallados.
- Las pocas investigaciones del componente suelo fueron manifiestas en estas mesas temáticas dada la baja participación, cuando son prioritarias para el análisis de los ecosistemas acuáticos.
- Las principales temáticas, variables y/o indicadores biofísicos planteados para complementar el monitoreo de los ecosistemas marinos y costeros son: la caracterización de los usos de los ecosistemas marinos y costeros, el estudio de fondos blandos o sedimentarios, dar relevancia a la zona pelágica, incluir los datos históricos de plancton del pacífico que se han recopilado a través de estudios académicos para evaluación del fenómeno ENOS, y no limitar el levantamiento de información a áreas protegidas.
- Para hacer un análisis nacional, se recomienda enfocar los esfuerzos en el conocimiento y monitoreo de los ecosistemas que comparten las dos áreas marino costeras del país (Caribe y Pacífico): fondos blandos y manglares.
- El levantamiento de información en el área marina requiere unir esfuerzos tecnológicos, técnicos y presupuestales con autoridades e instituciones académicas, para mejorar la labor de ampliar la información relevante. Al respecto, se sugiere construir una agenda nacional de actores clave, que priorice temas a desarrollar conjuntamente, así como adelantar procesos de gestión de recursos e investigación.
- Se hace necesario integrar la información a los sistemas nacionales (SIAM-SIAC) y aprovecharla, considerando metodologías estandarizadas que permitan comparar los datos.
- Las variables identificadas como más relevantes en la función de captura o emisión de GEI —como el dióxido de

carbono, metano y/u óxido nitroso en humedales— son: el tipo de vegetación, de humedal, de suelo y de uso / conversión de la tierra.

- Las emisiones de GEI en humedales deben considerarse variables clave a incorporar en el monitoreo, pues se relacionan con múltiples alteraciones sobre el régimen hídrico, la biota y la calidad del agua, como la construcción de infraestructura, canales y drenajes, la deforestación y transformación del suelo, la disposición de residuos sólidos y vertimientos.
- Entre las variables mínimas a incorporar en el monitoreo de la pérdida de conectividad en ecosistemas acuáticos se encuentran: la presencia de peces migratorios, la evaluación de flujos en ciénagas, los procesos de sedimentación y terrización y el cambio en las coberturas de la tierra en la cuenca.
- Para monitorear la contaminación por materia orgánica en ecosistemas acuáticos se plantearon como variables clave: el pH, la demanda química de oxígeno, el carbono orgánico total en sedimentos, los coliformes totales y los residuos sólidos orgánicos.



Humedal artificial, Girardot - Colombia.
Fotografías: Claudia Andramunio Acero

Sesión 4

Componente
hidrobiológico



Floración algal / aves de humedal, Girardot, Cundinamarca - Colombia.

Fotografías: Claudia Andramunio Acero

Introducción

MSc. Claudia Patricia Andramunio Acero
Equipo de ecosistemas acuáticos
Grupo Suelos y Tierras
SEIA, Ideam.

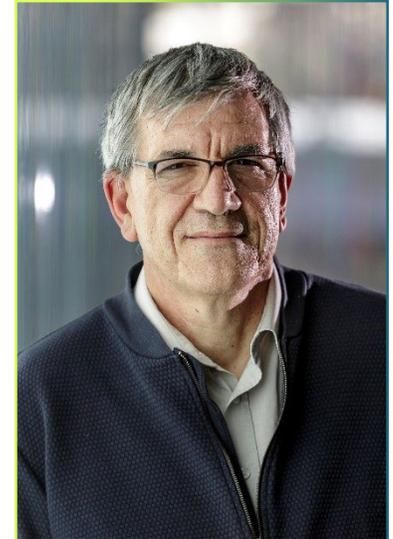


¿Cuáles son los grupos hidrobiológicos que se encuentran definidos y/o regulados como bioindicadores para conocer el estado de los ecosistemas acuáticos del país? ¿Qué atributos mínimos deben y pueden analizarse en relación con estos grupos, que sean realmente efectivos para su monitoreo y reporte por cualquier entidad ambiental en Colombia? Para dar respuesta a estos interrogantes, el protocolo tiene como objetivo generar el marco técnico conceptual y operativo para la identificación de las variables, índices e indicadores mínimos que desde el componente hidrobiológico permitan conocer y evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos del país.

Luego de la identificación de los grupos hidrobiológicos de monitoreo mínimos, intermedios y complementarios, a escala nacional y regional, para los ecosistemas acuáticos, y del análisis de los principales índices e indicadores aplicados en Colombia, El equipo de trabajo de ecosistemas acuáticos se realizó una propuesta de priorización de estos para el protocolo y se expusieron ante los expertos los avances, necesidades y vacíos identificados para este componente, con el propósito de obtener mayores insumos para el establecimiento de esos mínimos nacionales que conformarán el modelo integrador de variables, por medio del cual se proyecta hacer la evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos del país.

Resúmenes de ponencias

Indicadores biológicos como herramientas de monitoreo y gestión de calidad del agua



Dr. Narcis Prat

Grup de Recerca, Freshwater Ecology and Management (FEM)
Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals
Universitat de Barcelona.

Los estudios sobre indicadores biológicos como herramienta de monitoreo y para la gestión de la calidad de las aguas, se han incrementado en los últimos años en todo el globo. Especialmente interesante ha sido el desarrollo de los mismos en Latinoamérica. Después del trabajo publicado en 2009, con un resumen bastante completo de los índices usados hasta aquel momento, los trabajos se han sucedido, y, actualmente, aunque de forma muy general, se usan los índices derivados del sistema IBMWP, que forman parte de los índices unimétricos; también se encuentran ejemplos de índices multimétricos, adaptados a diferentes regiones o cuencas. Otras metodologías han sido utilizadas o propuestas y, en los

últimos años, cobra fuerza el uso de la taxonomía molecular para la generación de datos para estos índices, aunque no hay todavía metodologías estandarizadas. Sigue habiendo un campo amplio para la investigación en este tema, especialmente, en el uso de los indicadores en ríos temporales que se puedan secar en algún momento, que tiene en estos momentos un *boom* de trabajos con la vista puesta en los efectos del cambio climático.

Más limitado es el uso de estos índices para la gestión del agua, por parte de las autoridades en los diferentes países o regiones latinoamericanas. El ejemplo de la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA), en Europa, muestra las ventajas de un sistema que permite, a la

vez, una visión general del estado de las aguas en un territorio amplio y mantener las posibles peculiaridades de los sistemas utilizados para medir dicho estado, que sean adecuados para cada cuenca o región hidrográfica en los diferentes países. La larga experiencia de 20 años en implementación de la DMA (permite ver las luces y sombras de este ambicioso Proyecto; también sus consecuencias en la gestión

De lo que se puede estar seguro, hoy en día, es que no es difícil diseñar un sistema de clasificación de los cuerpos de agua y evaluación de su estado en cualquier cuenca del mundo, usando esta unidad de análisis, partes de la misma, o incluso varias de las características similares. Para ello se elaboró un decálogo de buenas prácticas, que puede servir de referencia en cualquier sistema de monitoreo y lugar del mundo.

Potencialidades y limitaciones del uso de indicadores biológicos en el monitoreo de los ecosistemas acuáticos. La experiencia de la directiva marco europea



Dr. Sergi Sabater

Instituto Catalán de Investigaciones del Agua
Universitat de Girona, España.

La DMA establece un marco normativo de obligado cumplimiento para todos los estados miembros de la Unión Europea. La novedad de la DMA en el momento de su implementación (año 2000) radicó especialmente en el establecimiento de los elementos de calidad biológica, que se unían a la descripción de la calidad química y física (geomorfológica) como definidores del llamado *estado ecológico*. Este modelo ha permitido el seguimiento y evaluación de las masas de agua, y ha requerido de la armonización de procedimientos y escalas de referencia entre todos los países. Sin embargo, actualmente se han descri-

to limitaciones en la aplicación de la DMA, especialmente al considerar presiones simultáneas sobre las masas de agua. Estas limitaciones sugieren la necesidad de intensificación del monitoreo, mejor integración de distintas redes y frecuencias de monitoreo y revisión de los indicadores actualmente usados para describir el estado ecológico de las masas de agua. La ponencia describió posibilidades existentes para implementar algunos indicadores funcionales, que puedan proporcionar información complementaria a los ya existentes, y así facilitar una mejora en la diagnosis del estado ecológico de las masas de agua.

Mesas temáticas

Con el propósito de lograr una identificación conjunta de los principales motores de cambio que afectan los ecosistemas acuáticos, grupos biológicos y las variables más relevantes para el análisis de dichas afectaciones y el estado actual de la inclusión y validez de la información hidrobiológica en el SIAC, se plantearon 4 objetivos específicos:

- Identificar los principales motores de cambio, y cómo hacer uso de las comunidades hidrobiológicas, para el seguimiento de la afectación de dichos motores sobre los ecosistemas acuáticos.
- Identificar variables e indicadores clave relacionados con el componente hidrobiológico —haciendo énfasis en los mínimos de monitoreo nacional y su respuesta a factores de pérdida y degradación— a integrar en el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos continentales, marinos, costeros e insulares.
- Conocer las estrategias nacionales que desde diferentes instituciones se realizan para validar la información ambiental del país y cómo es, o podría ser, este proceso para las comunidades hidrobiológicas en ámbitos nacional y regional.
- Conocer el proceso de fortalecimiento del SIAC para la matriz hidrobiota, por parte del Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive y su interrelación con la oficialización del dato, en línea con el Plan Estadístico Nacional, desde la formulación de las hojas metodológicas.

El abordaje de estos objetivos se realizó en 5 mesas temáticas:

- 1. Variables hidrobiológicas mínimas de monitoreo a escala nacional, para el análisis del estado de los ecosistemas acuáticos continentales:** moderada por Claudia Patricia Andramunio Acero, profesional componentes hidrobiología y calidad del agua, SEIA, Ideam.
- 2. Fortalecimiento SIAC – hojas metodológicas:** moderada por Juan David Serna, profesional indicadores SIRH-SIAC, Proyecto GEF Magdalena Cauca-Vive, Fundación Natura.
- 3. Principales motores de cambio que afectan la estructura y función de los grupos biológicos:** moderada por María Juliana Salcedo Hernández, profesional componentes socioeconómico y biofísico, SEIA, Ideam.
- 4. Estrategias de validación de información hidrobiológica en los SIA del país:** moderada por Angélica Batista, investigadora adjunta, Instituto Humboldt.
- 5. Variables hidrobiológicas mínimas a escala nacional para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos marino costeros e insulares:** moderada por Lizette Quan Young, profesora, Universidad CES.

- **Análisis de resultados de las actividades propuestas**

Para dar respuesta a los objetivos planteados, los asistentes asumieron el rol de una autoridad ambiental regional o una organización interesada en contribuir con el monitoreo, pero con los mínimos recursos técnicos, tecnológicos, económicos y de tiempo para la gestión de los ecosistemas acuáticos dentro de su jurisdicción, bajo las premisas costo-eficiente y oportuno. Esta información constituye un insumo para que el equipo de Ecosistemas Acuáticos del Grupo de Suelos y Tierras de la SEIA

del Ideam identifique, según el consenso experto, los principales motores de cambio sobre la estructura y función de los grupos biológicos de los ecosistemas acuáticos del país, así como el uso bioindicador de los mismos.

Los resultados obtenidos en las discusiones de las mesas, así como mediante formularios, se sintetizaron en dos temas: primero, motores de cambio y variables indicadoras (bioindicadores) y, segundo, estrategias de validación de la información hidrobiológica y sistemas de información ambiental.

1. Motores de cambio y variables indicadoras (bioindicadores)

- En Tabla 24 se relacionan los grupos biológicos identificados como indicadores y los motores de cambio a los

cuales presentan mayor sensibilidad, resaltando en negrilla los principales motores reconocidos para cada grupo:

Tabla 24. Grupos biológicos, por ecosistema acuático, identificados con mayor sensibilidad para la indicación de motores de cambio.

Ecosistemas continentales lénticos (incluye humedales)	
Grupo	Motores de cambio
Fitoplancton	Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Contaminación por materia orgánica Eutrofización
Algas perifíticas	Eutrofización Contaminación por materia orgánica
Zooplancton	Eutrofización
Macroinvertebrados bentónicos	Contaminación por hidrocarburos Contaminación por residuos sólidos Contaminación por materia orgánica Contaminantes emergentes
Macroinvertebrados pleustónicos	Contaminación por materia orgánica

Ecosistemas continentales lénticos (incluye humedales)	
Grupo	Motores de cambio
Ictiofauna	Pérdida de conectividad Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Sedimentación – terrización Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por pesticidas y herbicidas Contaminación por hidrocarburos Contaminación por residuos sólidos Contaminación por materia orgánica Contaminantes emergentes Eutrofización Cambio de uso del suelo
Flora acuática	Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Sedimentación – terrización
Flora semiacuática	Sedimentación – terrización
Vegetación de ribera	Pérdida de conectividad Sedimentación – terrización
Anfibios	Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático)
Aves	Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático)
Mamíferos acuáticos	Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático)
Ecosistemas continentales lóticos	
Grupo	Motores de cambio
Bacterias	Contaminación por vertimientos
Hongos	Contaminación por vertimientos
Algas perifíticas	Sedimentación – terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por vertimientos Aumento en la temperatura del agua (cambio climático). Contaminación por residuos sólidos Cambio de uso del suelo
Fitoplancton	Sedimentación – terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático)

Ecosistemas continentales lóticos (incluye humedales)	
Grupo	Motores de cambio
Zooplancton	<p>Sedimentación - terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por hidrocarburos</p>
Macroinvertebrados bentónicos	<p>Sedimentación - terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por vertimientos Contaminación por residuos sólidos Cambio de uso del suelo</p>
Macroinvertebrados pleustónicos	<p>Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático)</p>
Ictiofauna	<p>Sedimentación - terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por hidrocarburos Contaminación por vertimientos Pérdida de conectividad Especies introducidas e invasoras Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por residuos sólidos</p>
Flora acuática	<p>Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por mercurio y metales pesados Especies introducidas e invasoras</p>
Flora semiacuática	<p>Sedimentación - terrización Incremento de eventos extremos de inundación y sequía (cambio climático) Contaminación por residuos sólidos Cambio de uso del suelo</p>
Vegetación de ribera	<p>Cambio de uso del suelo</p>
Anfibios	<p>Contaminación por hidrocarburos Contaminación por vertimientos</p>
Aves.	<p>Contaminación por hidrocarburos. Pérdida de conectividad. Cambio de uso del suelo.</p>
Mamíferos acuáticos.	<p>Contaminación por hidrocarburos. Contaminación por vertimientos. Pérdida de conectividad.</p>

Ecosistemas marinos, costeros e insulares	
Grupo	Motores de cambio
Bacterias	Contaminación por residuos sólidos Contaminación por vertimientos Contaminación por hidrocarburos
Hongos	Contaminación por residuos sólidos Contaminación por vertimientos Contaminación por hidrocarburos
Fitoplancton	Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por hidrocarburos Contaminación por vertimientos Incremento en nivel de salinidad (cambio climático) Vectores de transferencia (aguas de lastre y bioincrustación)
Zooplancton	Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por hidrocarburos Contaminación por vertimientos Incremento en nivel de salinidad (cambio climático) Vectores de transferencia (aguas de lastre y bioincrustación)
Nemátodos	Vectores de transferencia (aguas de lastre y bioincrustación).
Poliquetos	Especies invasoras Contaminación por hidrocarburos
Sipúnculos	Contaminación por hidrocarburos
Moluscos (gasterópodos y bivalvos)	Contaminación por hidrocarburos
Crustáceos (cangrejos)	Especies invasoras Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por residuos sólidos Contaminación por vertimientos Vectores de transferencia (aguas de lastre y bioincrustación)
Macroalgas	Especies invasoras Contaminación por vertimientos
Pastos marinos	Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por residuos sólidos Contaminación por vertimientos Sedimentación y erosión costera Incremento de eventos extremos: huracanes, mareas, oleajes (cambio climático) Incremento del nivel del mar (cambio climático) Incremento en nivel de salinidad (cambio climático) Tráfico marítimo

Ecosistemas continentales lénticos (incluye humedales)	
Grupo	Motores de cambio
Ictiofauna	Especies invasoras Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por residuos sólidos Contaminación por grasas y aceites
Arrecifes (corales)	Especies invasoras Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por residuos sólidos Contaminación por vertimientos Sedimentación y erosión costera Incremento de eventos extremos: huracanes, mareas, oleajes (cambio climático) Incremento del nivel del mar (cambio climático) Incremento en nivel de salinidad (cambio climático) Tráfico marítimo
Manglares	Aumento en la temperatura del agua (cambio climático) Incremento en la acidez (cambio climático) Contaminación por mercurio y metales pesados Contaminación por hidrocarburos Contaminación por residuos sólidos Sedimentación y erosión costera Incremento de eventos extremos: huracanes, mareas, oleajes (cambio climático) Incremento del nivel del mar (cambio climático)
Reptiles (tortugas)	Contaminación por residuos sólidos Tráfico marítimo
Aves playeras	Contaminación por residuos sólidos
Mamíferos acuáticos	Contaminación por grasas y aceites Tráfico marítimo

Fuente: elaboración propia (2021).

Partiendo de la identificación de los motores de cambio, se presentan los grupos que, según criterio de los participantes, se reconocen como indispensables para el monitoreo mínimo de los

ecosistemas acuáticos continentales a escala nacional (Tabla 25). Es importante aclarar que estos son seleccionados siempre bajo la premisa: costo eficiente y oportuno.

Tabla 25. Grupos mínimos de monitoreo de los ecosistemas acuáticos continentales.

Lóticos	Lénticos
Algas perifíticas	Algas perifíticas
Anfibios	Anfibios
Aves	Aves
Bacterias	Bacterias
Clorofila a	Clorofila a
Diatomeas	Flora acuática y semiacuática
Flora acuática y semiacuática	Fitoplancton
Ictiofauna	Macroinvertebrados acuáticos
Macroinvertebrados acuáticos	Producción primaria
Protozoos	Vegetación de ribera
Zooplancton	Zooplancton

Fuente: elaboración propia (2021).

También se realiza una identificación de los atributos mínimos indispensables para cada grupo hidrobiológico de moni-

toreo continental, marino costero e insular; a escala nacional, enlistándose según porcentaje de importancia (Tabla 26).

Tabla 26. Atributos hidrobiológicos mínimos para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos.

Ecosistemas continentales	
Atributos	Porcentaje (%)
Composición de macroinvertebrados	86
Composición de vegetación de ribera	81
Coberturas de la tierra de la vegetación de ribera	76
Riqueza del zooplancton	74
Abundancia de macroinvertebrados	71
Abundancia de vegetación de ribera	

Ecosistemas continentales	
Atributos	Porcentaje (%)
Composición de algas perifíticas	65
Riqueza de algas perifíticas	
Grupos morfológicos de algas perifíticas	
Composición de fitoplancton	
Composición de ictiofauna	
Riqueza de macroinvertebrados	
Hábitos tróficos de macroinvertebrados	63
Potencial de invasión de flora acuática y semiacuática	62
Riqueza de fitoplancton	61
Abundancia de fitoplancton	60
Composición de flora acuática y semiacuática	
Abundancia de ictiofauna	
Densidad del zooplancton	
Composición de moluscos	58
Abundancia de algas perifíticas	57
Hábitos tróficos de ictiofauna	
Producción de oxígeno para estimación de producción primaria	
Biomasa del zooplancton	
Riqueza de aves	56
Riqueza de ictiofauna	
Abundancia de aves	
Biomasa de ictiofauna	53
Anidación (tortugas) de reptiles	
Concentración de clorofila a	52
Abundancia de flora acuática y semiacuática	
Otros atributos sugeridos	
Diversidad de bacterias	
Cangrejos de agua dulce	
Diatomeas	
Ictioplancton	

Ecosistemas marinos, costeros e insulares	
Atributos	Porcentaje
Abundancia y distribución de peces	100
Cobertura y composición de pastos marinos	
Cobertura y composición de manglares	
Distribución y abundancia de Invertebrados bentónicos	
Datos pesquerías	
Diversidad del fitoplancton	75
Biomasa de Zooplancton	
Diversidad de Zooplancton	
Abundancia y distribución de aves marinas	
Abundancia y distribución de tortugas marinas	
Cobertura y composición de corales pétreos	
Biomasa y diversidad de microorganismos	
Clorofila a	
Otros atributos sugeridos	
Medidas de carbono azul en suelos	
Riqueza de especies de peces	
Abundancia de ictioplancton enfocado para algunas familias como <i>Lutjanidos milias</i>	

Fuente: elaboración propia (2021).

En la Tabla 27 se presentan, según orden de priorización, las comunidades para las que, a criterio de los participantes, se considera necesario realizar un

ejercicio de regionalización para la adecuada interpretación de sus atributos en los diversos tipos de ecosistemas acuáticos del país:

Tabla 27. Comunidades biológicas priorizadas para el ejercicio de regionalización.

Priorización	Ecosistemas continentales	Ecosistemas marinos, costeros e insulares
1	<ul style="list-style-type: none"> • Macroinvertebrados bentónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrecifes (corales) • Manglares
2	<ul style="list-style-type: none"> • Ictiofauna • Flora acuática • Vegetación de ribera • Anfibios 	<ul style="list-style-type: none"> • Fitoplancton • Zooplancton • Moluscos (gasterópodos y bivalvos) • Macroalgas • Pastos marinos • Ictiofauna • Aves playeras

Priorización	Ecosistemas continentales	Ecosistemas marinos, costeros e insulares
3	<ul style="list-style-type: none"> • Macroinvertebrados pleustónicos • Flora semiacuática • Mamíferos acuáticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias • Crustáceos (cangrejos)
4	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias • Hongos • Algas perifíticas • Fitoplancton • Zooplancton • Aves 	<ul style="list-style-type: none"> • Hongos • Nemátodos • Poliquetos • Sipúnculos • Reptiles (tortugas)

Fuente: elaboración propia (2021).

También se presentan los criterios bajo los cuales se propone este ejercicio de regionalización hidrobiológica para cada tipo de ecosistema acuático, resal-

tando las áreas hidrográficas y las ecorregiones como los más adecuados para el proceso (Tabla 28).

Tabla 28. Criterios por tipo de ecosistema para el ejercicio de regionalización.

Ecosistemas continentales	Ecosistemas marino costeros e insulares
<ul style="list-style-type: none"> • Área hidrográfica • Tipología de los ecosistemas lóticos. • Gradiente altitudinal • Formación geológica • Macrocuencas • Cuencas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ecorregiones • Ambientes onshore y offshore • Cuenca McBean para pastos marinos • UAC Caribe Insular • Tipo de ecosistema

Fuente: elaboración propia (2021).

- **Facilidad de monitoreo a escala nacional:**
 - Todas las comunidades son sencillas de monitorear (macroinvertebrados, macrófitas, fitoplancton, perifiton, zooplancton), pero en todos los grupos hay dificultad para la identificación taxonómica y se requiere capacidad técnica, recursos y tiempo para lograr validez en los registros.
 - En el caso de las diatomeas solo se requiere limpiar y un buen microscopio.

- No requiere cultivos para determinar a especie (algas verdes) o molecular (cianobacterias).
- Para algunas comunidades, son costosos los monitoreos (sobre todo el acceso a los sitios) y hay poca información de los grupos para el país.
- En términos económicos, para las autoridades ambientales regionales es difícil la implementación de más de un bioindicador.

- Se debe aspirar a fortalecer la investigación en otros grupos; obligarnos a ampliar la capacidad instalada.

En las Tablas 29 y 30 se presentan los principales obstáculos y estrategias para el monitoreo hidrobiológico a escala nacional.

Tabla 29. Obstáculos para el monitoreo de ecosistemas acuáticos.

Obstáculos	Porcentaje
Capacitación a los equipos humanos para el monitoreo	22
Profesionales idóneos para la identificación taxonómica de cada grupo	
No hay seguimiento en la contratación	
Recursos para el seguimiento	16
Falta de bases de datos confiables a nivel nacional (no hay validación en consultoría)	6
Poco seguimiento en la calidad de la información (consultoría)	4
Falta de claves de identificación neotropical	2
Priorización desde los planes de gestión y de acción corporativos	
Problemas de orden público	
Recursos para el seguimiento de las CAR, no solo un muestreo concreto	

Fuente: elaboración propia (2021).

Tabla 30. Estrategias a priorizar para alcanzar los mínimos de monitoreo de ecosistemas acuáticos a escala nacional.

Estrategia	Priorización
Ecosistemas continentales	
Generar sistemas unificados de información	Indispensable
Garantizar una red sostenida de observatorios	
Incluir datos de ciencia ciudadana participativa	
Intercambiar información con plataformas globales	
Incluir observaciones satelitales	Necesaria
Ecosistemas marinos, costeros e insulares	
Socialización e implementación de protocolos	Indispensable
Generar sistemas unificados de información	
Aumentar el uso de equipos autónomos: vehículos sumergibles operados remotamente, plataformas a bordo	

Estrategia	Priorización
Ecosistemas continentales	
Incluir observaciones satelitales	Necesaria
Intercambiar información con plataformas globales	
Garantizar una red sostenida de observatorios	
Incluir datos de ciencia ciudadana participativa	Recomendable

Fuente: elaboración propia (2021).

2. Estrategias de validación de la información hidrobiológica y Sistemas de Información Ambiental

En la Tabla 31 se relacionan las es-

trategias de validación de la información, utilizadas desde las entidades de los participantes a la mesa para los diferentes grupos de monitoreo hidrobiológico.

Tabla 31. Estrategias nacionales de validación de la información.

Estrategias para validación de la información	Lénticos	Lóticos	Marinos, costeros e insulares
Almacenamiento (a): sistema de información	Algas perifíticas, peces	Fitoplancton, peces	Arrecifes, aves playeras, bacterias, hongos, ictiofauna, mamíferos acuáticos, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, pastos marinos, poliquetos, reptiles (tortugas), sipúnculos.
Almacenamiento (b): excel o informes	Fitoplancton, macroinvertebrados, mamíferos, peces, zooplancton	Fitoplancton, zooplancton	Arrecifes, aves playeras, bacterias, crustáceos (cangrejos), fitoplancton, hongos, ictiofauna, macroalgas, mamíferos acuáticos, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, pastos marinos, poliquetos, reptiles (tortugas), sipúnculos, zooplancton.
Reporte (a) sib colombia - sibm - otro	Algas perifíticas, peces	Peces, zooplancton	Arrecifes, bacterias, crustáceos (cangrejos), fitoplancton, hongos, ictiofauna, mamíferos acuáticos, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, pastos marinos, poliquetos, reptiles (tortugas), sipúnculos, zooplancton
Calidad de datos (a): auditoria / verificación, supervisión			Arrecifes, bacterias, crustáceos (cangrejos), hongos, mamíferos acuáticos, moluscos (gasterópodos y bivalvos), pastos marinos, reptiles (tortugas), sipúnculos.

Estrategias para validación de la información	Lénticos	Lóticos	Marinos, costeros e insulares
Calidad de datos (b): uso de rutinas automáticas			Arrecifes, aves playeras, bacterias, fitoplancton, hongos, ictiofauna, macroalgas, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, pastos marinos, poliquetos, zooplancton
Laboratorio: equipos/catálogos/ claves	Hongos, algas perifíticas, fitoplancton, zooplancton	Algas Perifíticas, macroinvertebrados	Arrecifes, aves playeras, bacterias, crustáceos (cangrejos), fitoplancton, hongos, ictiofauna, macroalgas, mamíferos acuáticos, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, poliquetos, reptiles (tortugas), sipúnculos, zooplancton
Metadatos: darwincore -specify - esquema propio		Zooplancaton	Arrecifes, aves playeras, fitoplancton, ictiofauna, macroalgas, pastos marinos, zooplancton
Captura: métodos de colecta estandarizados	Algas perifíticas, fitoplancton, flora acuática y semiacuática, peces, zooplancton	Macroinvertebrados, peces, zooplancton	Arrecifes, aves playeras, fitoplancton, ictiofauna, macroalgas, manglares, pastos marinos, zooplancton
Plan: diseño de muestreo establecido	Peces, ictioplancton, flora acuática y semiacuática, vegetación de ribera, anfibios	Macroinvertebrados, peces, zooplancton	Arrecifes, aves playeras, crustáceos (cangrejos), fitoplancton, macroalgas, manglares, moluscos, (gasterópodos y bivalvos), pastos marinos, zooplancton
Registro en campo: fichas para diligenciar captura digital	Macroinvertebrados, flora acuática y semiacuática, vegetación de ribera, anfibios, aves acuáticas, mamíferos	Algas perifíticas, fitoplancton, macroinvertebrados Bentónicos, peces, vegetación de ribera, anfibios, aves acuáticas, Mamíferos acuáticos, reptiles	Arrecifes, aves playeras, crustáceos (cangrejos), ictiofauna, macroalgas, mamíferos acuáticos, manglares, moluscos (gasterópodos y bivalvos), nemátodos, pastos marinos, poliquetos, reptiles (tortugas), sipúnculos
Análisis: hojas metodológicas			Arrecifes, manglares, pastos marinos

Fuente: elaboración propia (2021).

Las categorías *a* y *b* de algunas estrategias responden a las relacionadas con los sistemas de información ambiental del país (almacenamiento *a* y reporte *a* y *b*), procesos internos (almacenamiento *b*), rutinas auditadas y supervisadas (ca-

lidad de datos *a*) y rutinas automáticas (calidad de datos *b*). Es importante resaltar que para la consulta del reporte *b*, relacionado con la disposición de información hidrobiológica en el SIRH, no hubo respuestas.

- **Las siguientes, corresponden a las bases de datos y/o plataformas más consultadas para el trabajo con los grupos hidrobiológicos en el país:**

- SiB Colombia.
- Algaebase, Fishbase, Diatombase.
- SiBM.
- Ebirds.
- SIAM, INVEMAR.
- GEOVISOR, Ideam.
- Instituto Ciencias Naturales, UNAL.
- Simac y Redcam.

- **Consecuencias de tener información disponible para aplicar los mínimos de monitoreo a nivel nacional, por orden de prioridad:**

- a. Toma más acertada de estrategias de gestión de los recursos.
- b. Fortalecimiento de capacidades de funcionarios de diferentes instituciones (antes, durante, después).
- c. Existencia de datos que sirvan para apoyar la ciencia.
- d. Sensibilizar a la sociedad.
- e. Estandarizar y robustecer la toma de información para que sea comparable.
- f. Aprovechamiento de la información preexistente a la que sería más fácil acceder.
- g. Evitar que continúe el deterioro de los ecosistemas acuáticos.
- h. Incidir como estrategia de conservación (no solo recurso hídrico).
- i. Evita duplicidad de esfuerzos.

- **Principales causas de los problemas de validación de datos hidrobiológicos en el país y alternativas propuestas:**

Los principales problemas corresponden al poco conocimiento de los protocolos; a protocolos no estandarizados, ni diferenciados para la diversidad de ecosistemas del país; al bajo nivel de compatibilidad de la información obtenida; a la falta de capacitación y de métodos normalizados. Las alternativas propuestas para subsanar los problemas de validación son:

- Curadores de la información ingresada a los sistemas.
- Capacitación en esquemas de monitoreo y gestión de datos e información.
- Mejorar la sistematización de la información.
- Aplicación de métodos de muestreo y validación que se empleen uniformemente a nivel nacional.
- Implementar la toma de fotografías como evidencia de la presencia o condición del ambiente.
- Mejoramiento de la espacialización geográfica de las especies.
- Depuración de la información biológica de los sistemas (nombres actualizados, revisión taxonómica, etc.).

Se presentan, en orden de prioridad (Tabla 32), los grupos taxonómicos para los que, a criterio de los participantes, se considera necesario desarrollar estrategias de validación de información para su uso como potenciales bioindicadores nacionales:

Tabla 32. Grupos biológicos priorizados para procesos de validación de la información.

Priorización	Grupo
1	Vegetación de ribera
2	Macroinvertebrados bentónicos
3	Fitoplancton
	Zooplancton
	Ictiofauna
	Flora acuática
	Aves
	Mamíferos acuáticos
4	Algas perifíticas
	Invertebrados móviles
	Flora semiacuática
	Anfibios
5	Bacterias
	Hongos

Fuente: elaboración propia (2021).

Se resalta la importancia que tienen sistemas de información como SIRH, SiB, SIAC, servidores y bases de datos internas, como los repositorios de información, donde las instituciones registran los datos de las comunidades hidrobiológicas del país. Durante la sesión también se destacó que muy pocas corporaciones tienen sistemas de información internos, aunque actualmente varias de ellas están desarrollando bases de datos especializadas, así como enlaces para cargar la información en línea. No obstante, la mayoría está dispuesta a articular sus datos con el SIAC.

Además, se anotó que la mayor parte de información registrada a nivel nacional corresponde a datos físicos y químicos, pero que, internamente, se

cuenta con información hidrobiológica que puede ser cargada a los sistemas de información.

- Finalmente, se presentan los resultados sobre la opinión de los participantes sobre la calidad de los datos consignados en estos sistemas, como soporte técnico que ayude a la toma de decisiones:
- La calidad de la información de los datos alojados en el SIAC en general es buena; sin embargo, se dificulta su acceso y no refleja la totalidad de la información que manejan las autoridades ambientales regionales u otras entidades ambientales, p. ej. los resultados del Ideam, en algunos casos, no están disponibles, como el ENA en formato *Shapefile*.

- En las plataformas del SIAC se dificulta el acceso y consulta de información.
- Se requiere hacer capacitación sobre el uso y manejo de las plataformas de los sistemas de información donde se alojan los datos de indicadores físicos y químicos y/o hidrobiológicos que se generan en el país.
- Se deben articular los diferentes sistemas de información del SIAC y la información que registran las autoridades ambientales regionales.
- Algunas corporaciones usan el MEC como referencia general.

Conclusiones

- Es importante tener presente la realidad del país en estos procesos de construcción nacional, principalmente en términos del déficit económico y técnico que tiene el sector ambiental, reflejado en la imposibilidad de realizar esfuerzos continuos de monitoreo. Un ejemplo de esto es la dificultad en la implementación de más de un bioindicador, por los altos costos que esto genera a corto y mediano plazo a las autoridades regionales.
- Se debe fortalecer la investigación en otros grupos hidrobiológicos que puedan brindar mejor información sobre el estado de los ecosistemas acuáticos; no solo son algas, peces y macroinvertebrados los que habitan el agua.
- Contar con personal especializado para el muestreo y análisis de las comunidades hidrobiológicas es un aspecto primordial para garantizar una correcta evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos. El país tiene un déficit alto en formación de taxónomos.
- Es necesario unificar las escalas y hacer cumplir los tiempos mínimos de monitoreo nacional y regional de las comunidades hidrobiológicas.
- Los principales problemas de validación de datos hidrobiológicos en el país corresponden al poco conocimiento de los protocolos; a protocolos no estandarizados ni diferenciados para la diversidad de ecosistemas; al bajo nivel de compatibilidad de la información obtenida; a la falta de capacitación y métodos normalizados.
- Se sugiere establecer una guía nacional para orientar los procesos de monitoreo, con otros de gestión, coordinación, comunicación y articulación; asociados a las fortalezas y misiones, para tener un resultado costo eficiente óptimo.
- Se propone que los datos oceanográficos se incluyan en los procesos de monitoreo y se robustezcan los datos y su disponibilidad, en lugar de que se concentren en los buques oceanográficos.
- En general, la calidad de la información de los datos alojados en el SIAC es buena; sin embargo, se dificulta su acceso y no refleja la totalidad de la información que manejan las autoridades ambientales regionales u otras entidades ambientales.
- Se requieren capacitaciones continuas sobre el uso y manejo de las plataformas de los sistemas de información donde se

alojan los datos de indicadores físicos y químicos y/o los datos hidrobiológicos que se generan en el país.

A partir del trabajo de las mesas temáticas se concluye que los aportes generados en esta sesión serán de gran ayuda para continuar con el proceso de construcción

del protocolo, como una herramienta de carácter técnico, conceptual y metodológico para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país, que oriente las directrices para su gestión, a partir del uso de las comunidades hidrobiológicas como bioindicadores.



Embalse Peñol-Guatapé, Antioquia - Colombia.

Fotografías: Claudia Andramunio Acero.

Sesión 5

Componente
socioeconómico y
proceso estadístico



Embalse Hidroprado; Prado, Tolima-Colombia / Minería en el río Atrato; Quibdó, Chocó-Colombia.
Autora: María Juliana Salcedo Hernández

Introducción

Componente socioeconómico

MSc. María Juliana Salcedo Hernández

Equipo de ecosistemas acuáticos
Grupo Suelos y Tierras
SEIA, Ideam.



El componente socioeconómico ha sido integrado al proceso de formulación del protocolo, a través de dos objetivos generales: primero, identificar las principales presiones actuales sobre estos ecosistemas, las actividades socioeconómicas relacionadas de manera directa e/o indirecta con dichas presiones y la información existente, con el fin de evaluar su inclusión en el marco de la propuesta metodológica; segundo, definir lineamientos para viabilizar procesos de monitoreo comunitario participativo en las ventanas piloto de implementación del protocolo.

Este enfoque ha permitido identificar información clave (fuentes oficiales y datos, variables, índices, indicadores) para el análisis

del estado y el monitoreo, en relación con los servicios ecosistémicos que proveen los ecosistemas acuáticos, así como con las tendencias sectoriales, demográficas y de calidad de vida de la población, que pueden representar un mayor riesgo de degradación y pérdida de estos ecosistemas.

De acuerdo con estos avances, el equipo de ecosistemas acuáticos consideró de gran importancia evaluar de manera consensuada con expertos las variables y/o indicadores socioeconómicos que deben ser priorizados en el modelo de análisis del protocolo, con base en la experiencia de los especialistas a nivel nacional e internacional, criterio fundamental para dar soporte al proceso.

Proceso estadístico



Dr. (c). Edwin Andrés Cruz Pérez
Proyecto GEF Magdalena Cauca-vive
Fundación Natura.

Asegurar la calidad de la información estadística es un requisito que se debe cumplir para obtener resultados confiables en el *Protocolo de monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*; por tanto, resulta necesario establecer los criterios estadísticos mínimos para la incorporación de los indicadores ambientales requeridos.

En Colombia, la entidad responsable de definir los lineamientos, estándares y

normas técnicas para la producción de estadísticas oficiales es el DANE, el cual precisa los criterios para el desarrollo de la operación estadística y estandariza sus prácticas en los documentos *Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, versión 2* (DANE, 2020) y *Guía para la elaboración de documentos metodológicos estándar de las operaciones estadísticas* (DANE, 2012), referencia para la construcción del protocolo.

Resúmenes de ponencias

Instrumentos para la gestión integral del recurso hídrico en el licenciamiento ambiental

Dra. Esther Julia Olaya Marín

Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo
Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites, Ambientales.
ANLA.



En el marco de la Gestión Integral del Recurso Hídrico continental y marino costero, la ANLA cuenta con diferentes instrumentos para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos que conforman el patrimonio ambiental del país:

1. Centro de Monitoreo de Recursos Naturales, donde se viene trabajando desde tres ámbitos la modelación del recurso hídrico: superficial, subterráneo y calidad. Este centro está contemplado en su funcionamiento en cuatro fases:

Fase 1: consolidación y apropiación de la información (estudios de impacto ambiental, de licencia, planes de manejo e informes de cumplimiento ambiental) en una única base de datos corporativa que permita estandarizar y unificar la información generada por las diferentes entidades y que son suministradas a la entidad.

Fase 2: acoplar todo lo generado en la fase I, con estaciones de monitoreo automáticas, tanto para variables hidroclimáticas, como para calidad de agua y medio biótico, de tal forma que se pueda tener un control y seguimiento más pertinente en territorio.

Fase 3: acoplar los modelos desarrollados en el Centro de Monitoreo de Recursos Naturales con la información generada y recopilada, para que se ejecuten modelaciones automáticas, y así dilucidar potenciales afectaciones y generar alertas para la toma de acciones correctivas en el tiempo propicio.

Fase 4: interoperatividad del Centro de Monitoreo con las demás entidades del SINA, para que el sistema de monitoreo ambiental del país sea más robusto hacia la gestión integral del recurso hídrico.

2. Términos de referencia para ecosistemas acuáticos, los cuales están reglados por el artículo 2.2.2.3.3.3. del *Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente 1076* (Minambiente, 2015), el cual los define como “los lineamientos generales que la autoridad ambiental señala para la elaboración y ejecución de los estudios ambientales que deben ser presentados a la autoridad competente”. En relación con los ecosistemas acuáticos, los términos de referencia establecen la información que es de gran importancia para la toma de decisiones sobre este componente. El primer objetivo es obtener la información sobre la caracterización de las comunidades hidrobiológicas. De la misma manera, se busca que el usuario presente los análisis en los cuales identifique las comunidades hidrobiológicas como indicadores de calidad biológica del agua. Los análisis de este tipo de comunidades están enfocados en perifiton, macroinvertebrados bentónicos, fauna íctica, plancton y macrófitas en sistemas lénticos. Otros objetivos de la información requerida están asociados con la identificación de fauna íctica de mayor importancia ecológica y económica; así como la identificación de especies migratorias, en veda y/o endémicas.

3. Jerarquización y estandarización de impactos, mediante el cual se definen las principales categorías de impactos

por sector, subsector de los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento. Este instrumento permite optimizar el uso de la información en el marco de las evaluaciones de impacto ambiental en la gestión integral del recurso hídrico, toda vez que datos homogéneos permiten mayor eficiencia a la hora de ser cuantificados, compartidos, y almacenados. Dicho instrumento será incorporado en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA) (ANLA, 2018), la cual será actualizada anualmente.

4. Reportes de alerta de análisis regional, es un ejercicio multidisciplinar, materializado en un documento elaborado a partir de un análisis regional integral, que permite generar alertas sobre el estado, presión sobre el uso y aprovechamiento de recursos naturales, ecosistemas y sensibilidad ambiental, para la toma de decisiones de la entidad. El principal reto analítico de los reportes de alertas es identificar de qué manera los impactos potenciales de un Proyecto, obra o actividad (POA), podrían combinarse, de forma acumulativa y/o sinérgica, con los impactos existentes y potenciales asociados a otros POA, así como a situaciones naturales de estrés tales como sequías o eventos climáticos extremos; y formular las correspondientes medidas de manejo para prevenirlos antes de que se produzcan.

Desarrollo e implementación de indicadores ambientales en Colombia



Dr. Ricardo Valencia Ramírez
Subdirección general
DANE.

En los últimos años, el Minambiente ha estado implementando la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC), la cual consiste en un sistema de producción y consumo que promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía; teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales, a través de innovaciones tecnológicas, alianzas entre actores y el impulso de modelos de negocio que respondan a los fundamentos del desarrollo sostenible. En este contexto, el DANE, por medio del SEN, avanza en la consolidación de metodologías de medición que permitan contar con información estadística relevante para ilustrar el nivel de circularidad del país. De esta forma, se ha realizado la selección de aproximadamente 100 indicadores (de en-

tre cerca de 500 existentes en el ámbito global) para diagnosticar la presión que los sistemas productivos imponen a los ecosistemas, la capacidad de conservar el valor de los materiales dentro de los sistemas productivos y para minimizar la demanda de recursos y la disposición de residuos, mediante tratamientos de conservación y restauración. Entre los objetivos de la implementación de esta metodología en el país, se resalta el de unificar indicadores de tipo ambiental con indicadores socioeconómicos y de producción. Actualmente, a través de los indicadores seleccionados, se está monitoreando: la presión por la demanda de bienes y servicios ecosistémicos (entre otros, se evalúan la disponibilidad de reservas mineras, la tasa de extracción de recursos minero-energéticos, la variación

del *stock* de las reservas mineras y el consumo de servicios energéticos por los hogares); la conservación o pérdida de valor de los materiales en el sistema productivo (p. ej. mediante el análisis de la productividad hídrica en la industria manufacturera, la tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos generados, el análisis de aguas residuales industriales tratadas de

manera segura y las encuestas de prácticas para reducir el consumo de agua y energía eléctrica en el hogar) y la presión en los ecosistemas por la disposición de residuos (analizando, entre otros, las toneladas de residuos dispuestos por la industria manufacturera y la participación e intensidad de la generación de emisiones GEI por actividades económicas).

Ecohidroinformática y sostenibilidad

Dr. Nelson Obregón Neira
Instituto Javeriano del Agua
Pontificia Universidad Javeriana.



Se revisan tres conceptos fundamentales: ecohidrología, sistemas socioecológicos e hidroinformática. El primero se reconoce por parte del Programa Hidrológico Internacional de la Unesco como un paradigma de la sostenibilidad del recurso hídrico, en el que se enfatiza el monitoreo y la modelación acoplada de los ciclos biogeoquímicos claves para el agua, tales como el hidrológico, el del carbono, nitrógeno y fósforo. De igual forma, en esta ponencia se describe la evolución del concepto de hidrosistema hacia la noción de sistema socioecológico: el primero tiene una connotación histórica desde la ingeniería, en el contexto del aprovechamiento del recurso hídrico; mientras que el segundo propende por un entendimiento de las interrelaciones entre las dinámicas ecosisté-

micas y las de carácter socioeconómico. En este último aspecto, se menciona la necesidad de hacer las consideraciones necesarias para avanzar hacia el entendimiento de la función, la estructura y la biodiversidad, de tal forma que el conocimiento de la oferta, producción y consumo de los servicios ecosistémicos se logre en forma apropiada, lo que facilita la interrelación con los medios de vida y capitales del territorio. Finalmente, la hidroinformática se revisa desde la idea de paradigma tecnológico desde el cual se aprovechan todos los avances y oportunidades que brindan las tecnologías de información y comunicación para la gestión integral del agua. Se revisa la noción de sistemas hidroinformáticos, como sistemas de soporte para la toma de decisiones, según la cual los sistemas de

información y los artefactos de modelación representan un componente importante de ellos. En relación con esto último, se proveen ejemplos de herramientas de modelación de naturaleza abiótica, biótica y social. Por ejemplo, se muestran resultados vía animaciones hidrosedimentológicas y

de *particle tracking*, que pueden simular el comportamiento del ictioplancton. Al final, se dan conclusiones, comentarios y recomendaciones centradas en las consideraciones anteriores y el rol que estas juegan en el diseño y ejecución de los protocolos de monitoreo ecosistémico.

Mesas temáticas

El abordaje de las temáticas relacionadas con los sectores agropecuario, minero e hidrocarburos y energético, en el marco del protocolo, así como de la implementación de estrategias de monitoreo comunitario participativo y de las operaciones estadísticas asociadas al monitoreo de los sistemas acuáticos, se desarrolló en cinco mesas, a partir de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los principales efectos ambientales de los sectores agropecuario, acuícola, minero, de hidrocarburos y energético (hidroeléctricas), sobre los ecosistemas acuáticos, así como las variables e/o indicadores clave a ser integrados en el marco del monitoreo.
- Dar a conocer los retos y oportunidades del monitoreo comunitario participativo y su integración en la implementación del protocolo en ventanas piloto.
- Identificar los criterios de implementación de operaciones estadísticas asociadas al monitoreo de los sistemas acuáticos, en relación con los lineamientos del proceso estadístico en el SEN.

Las mesas temáticas efectuadas fueron:

- 1. Indicadores sector agropecuario:** moderada por María Juliana Salcedo Hernández, profesional componentes socioeconómico y biofísico, SEIA, Ideam; y Carlos Felipe Torres T., líder técnico Monitoreo, Reporte y Verificación del sector agropecuario, Grupo Cambio Climático, SEA, Ideam.
- 2. Indicadores sector minero y de hidrocarburos:** moderada por Lady Vargas Porras, investigadora principal componente ambiental, IIAP y Diana Rocío Padilla Rivera, líder de proyectos, Consultoría y Gestión Ambiental S.A.S.
- 3. Indicadores sector hidroeléctrico:** moderada por Ana Lucía Estrada Posada, profesional ambiental, Gerencia de Producción de Energía, Isagen.
- 4. Monitoreo comunitario participativo:** moderada por Ana Celyn León Rincón, coordinadora C3, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura; y Luz Helena Hernández, profesional social, Proyecto Aicca, Condesan.
- 5. Lineamientos operaciones estadísticas del SEN:** moderada por Edwin Andrés Cruz Pérez, profesional temático estadístico, Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, Fundación Natura.

- **Análisis de resultados de las actividades propuestas**

Mesas 1, 2 y 3. Indicadores sector agropecuario, minero y de hidrocarburos e hidroeléctrico.

En relación con la identificación de los principales efectos ambientales del sector agropecuario sobre los ecosistemas acuáticos y las variables e/o indicadores clave a ser integrados en el marco del monitoreo, se obtuvieron las siguientes respuestas (se subrayan las más destacadas por quienes participaron del ejercicio):

- **Actividades agropecuarias como motor de riesgo de degradación sobre ecosistemas acuáticos**

Todos los participantes consideran las actividades agrícolas y/o pecuarias como un motor de riesgo para los ecosistemas acuáticos. A continuación, se resumen las principales razones:

- **Incremento de la demanda hídrica:**
 - ✓ Distritos de riego.
 - ✓ Requerimientos de monocultivos.
 - ✓ Crecimiento de la población.
- **Pérdida de conectividad y transformación:**
 - ✓ Intensificación de procesos de erosión y sedimentación (prácticas nocivas: agricultura intensiva con labranza; de ladera; siembra en pendiente).
 - ✓ Implementación de monocultivos.

- ✓ Ampliación de la frontera agropecuaria.
- ✓ Siembra en zonas de ronda hídrica.
- ✓ Desviación de aguas.
- ✓ Uso de diques para desecación.

- **Contaminación orgánica e inorgánica:**

- ✓ Uso de agroquímicos: lixiviación de abonos químicos, plaguicidas, pesticidas y fertilizantes.
- ✓ Aporte de residuos sólidos y líquidos: mal manejo de residuos poscosecha.
- ✓ Aporte de materia orgánica vía lixiviación de excrementos: ausencia de gestión de excrementos de animales.
- ✓ Implementación de monocultivos.
- ✓ Contaminantes emergentes: fármacos utilizados para la actividad pecuaria.
- ✓ Bioacumulación de contaminantes.
- ✓ Prácticas nocivas: uso de porcinoza para riego de pastos, acuicultura en sistemas abiertos.

- **Cambio climático y conflictos de uso del suelo**

- ✓ Emisión de GEI.
- ✓ Capacidad del suelo vs. uso del suelo.
- ✓ Degradación del suelo.

En la Tabla 33 se presentan las principales actividades agrícolas y pecuarias que, según los participantes, favorecen la degradación de los ecosistemas acuáticos del país (resaltadas las más mencionadas):

Tabla 33. Actividades agropecuarias relacionadas con la degradación de los ecosistemas acuáticos.

Actividades agrícolas	Actividades pecuarias
Tipos de cultivos <ul style="list-style-type: none"> • Palma africana • Cereales • Caña • Papa • Hortalizas • Arroz • Algodón • Soya • Banano • Cultivos de aguacate 	Tipos de ganado <ul style="list-style-type: none"> • Ganadería vacuna • Porcicultura • Ganado bufalino
Prácticas <ul style="list-style-type: none"> • Monocultivos • Agricultura de ladera • Agricultura intensiva con labranza • Agricultura industrial • Cultivos transitorios y permanentes 	Prácticas <ul style="list-style-type: none"> • Ganadería semiestabulada • Acuicultura en sistemas abiertos

Fuente: elaboración propia (2021).

- **Variables clave a incluir en el monitoreo, con el fin de establecer posibles efectos de degradación sobre los ecosistemas acuáticos, a causa de la actividad ganadera o agrícola** (se subrayan las más destacadas en las respuestas):

- **Físicas:**

- ✓ Concentración de sólidos (disueltos, suspendidos) en agua.
- ✓ Capacidad de uso o potencial de uso del recurso suelo.
- ✓ Densidad aparente suelo.
- ✓ Estimación de degradación de suelos por erosión.
- ✓ Residuos sólidos en agua.
- ✓ Superficie o extensión del humedal.

- ✓ Conectividad.
- ✓ Sedimentación.

- **Químicas:**

- ✓ Residuos de agroquímicos, herbicidas, plaguicidas (en agua y en sedimentos), fertilizantes en agua, pesticidas, Pesticidas Orgánicos Persistentes (POP), pesticidas organoclorados y organofosforados.
- ✓ Emisión de gases de efecto invernadero (metano, dióxido de carbono).
- ✓ Contenidos de carbono orgánico tanto en suelos como en biomasa aérea y subterránea.
- ✓ Sales.
- ✓ Materia orgánica.

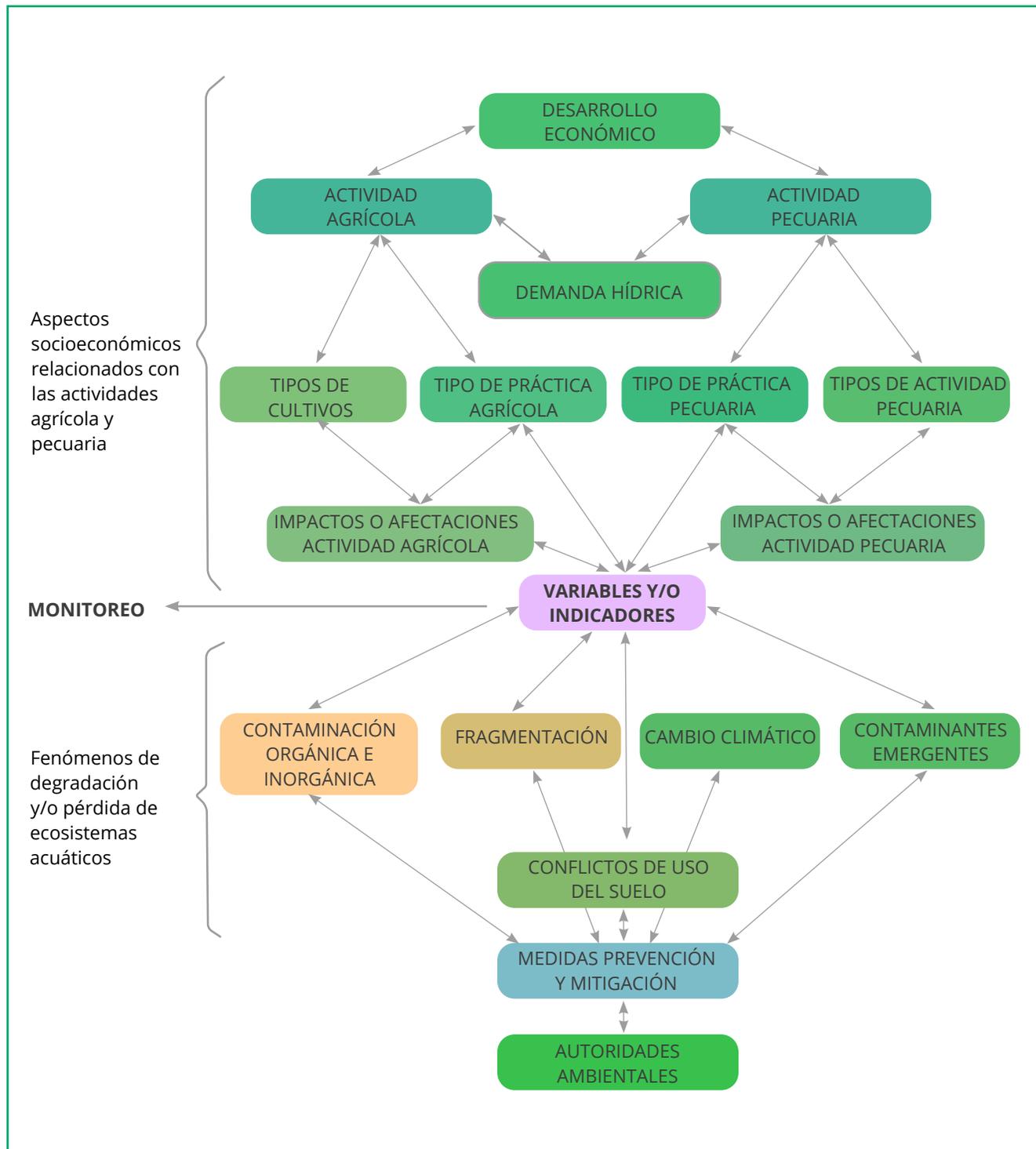
- ✓ Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- ✓ pH.
- ✓ Oxígeno disuelto.
- ✓ Nutrientes.
- **Biológicas:**
 - ✓ Comunidades hidrobiológicas (grupos funcionales).
 - ✓ Biodiversidad.
 - ✓ Bacterias multirresistentes en sistemas acuáticos de zonas periurbanas.
- **Socioeconómicas**
 - ✓ Uso del suelo.
 - ✓ Prácticas de manejo del estiércol.
 - ✓ Tipo de prácticas agropecuarias (intensidad y frecuencia de la práctica).
 - ✓ Demanda hídrica de actividades agropecuarias.
 - ✓ Huella hídrica de actividades agropecuarias.
- **Acciones para mitigar los impactos negativos de las actividades agrícolas y/o pecuarias sobre los ecosistemas acuáticos**
- **Fortalecimiento de medidas de conservación y manejo establecidas por autoridades ambientales:**
 - ✓ Conservación de las franjas protectoras (ronda hídrica), exclusión de actividades agropecuarias en estas zonas.
 - ✓ Establecer lineamientos de uso, manejo y conservación del recurso suelo.
 - ✓ Prohibiciones y restricciones de uso del suelo en ecosistemas acuáticos estratégicos y amenazados como sabanas inundables.
- **Desarrollo de buenas prácticas agropecuarias:**
 - ✓ Evitar el drenaje de humedales para el uso agropecuario.
 - ✓ Establecer lineamientos de uso del recurso agua.
 - ✓ Regulación de la compra de plaguicidas.
 - ✓ Control sobre usos y aplicación de pesticidas y porcinoza como fertilizante en suelos.
 - ✓ Cruzar la información de generación de registro de generadores de residuos o desechos peligrosos (Respel) y planes posconsumo de envases de plaguicidas y fármacos, para identificar microcuencas prioritarias de intervención.
 - ✓ Restauración de humedales, con un manejo controlado en cuanto a la rehumectación, pues podría aumentar las emisiones de CH₄.
 - ✓ Restauración de hábitats marinos (especialmente manglares, arrecifes coralinos y praderas).
 - ✓ Fortalecer los instrumentos de planificación del recurso hídrico, normativas y determinantes ambientales.
- **Desarrollo de buenas prácticas agropecuarias:**
 - ✓ Control de aplicación de agroquímicos y buenas prácticas de manejo en medicamentos veterinarios.
 - ✓ Fomentar prácticas de gestión de estiércol.
 - ✓ Reutilización de las aguas empleadas en riego en las plantas de transformación y beneficio (biodigestores).

- ✓ Empleo de heces y residuos de cosecha y poscosecha, para abono orgánico o biofertilizantes.
 - ✓ Cambio de la cultura de uso de agroquímicos, por manejo integral de plagas y uso de bioabonos.
 - ✓ Manejo de arvenses para proteger a insectos benéficos.
 - ✓ Agricultura inteligente.
 - ✓ Evitar la entrada de semovientes en las áreas de humedal (realizar cercamientos).
- **Medidas socioeconómicas:**
 - ✓ Brindar cofinanciación a industrias y municipios, para la construcción y puesta en marcha de plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - ✓ Realizar campañas para incentivar cambio en prácticas que intensifican los procesos de erosión.
 - ✓ Acercamiento a acuicultores para que se gestionen sistemas cerrados de recirculación y tratamiento de agua.



Explotación minera - Colombia.

Fotografías: María Juliana Salcedo



• **Figura 6.** Diagrama resumen de las principales temáticas abordadas en la mesa sobre variables claves del sector agropecuario a incorporar en el monitoreo nacional de ecosistemas acuáticos. Recuadros de color morado, anaranjado, café y azul corresponden a las temáticas de mayor énfasis por parte de los participantes.

• **Fuente:** elaboración propia (2021).

En cuanto al sector minero y de hidrocarburos, se obtuvieron los siguientes resultados (se subrayan los más destacados en el ejercicio):

- **Principales afectaciones a los ecosistemas acuáticos como consecuencia de la actividad minera y petrolera en el país**

- **Contaminación orgánica e inorgánica (aguas subterráneas y superficiales):**

- ✓ Contaminación del agua por derrames de crudo.
- ✓ Contaminación con metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, arsénico).
- ✓ Acumulación de materia orgánica: bajos niveles de oxígeno en columna de agua y sedimentos; intensificación de procesos de eutrofización y floraciones algales, que pueden generar sustancias tóxicas.
- ✓ Contaminación del suelo.
- ✓ Drenaje ácido de minería.

- **Pérdida de conectividad y transformación:**

- ✓ Intensificación de procesos de erosión y sedimentación.
- ✓ Colmatación de cuerpos de agua.
- ✓ Modificación de cauces.
- ✓ Modificación del paisaje.
- ✓ Deterioro de la ronda hídrica.
- ✓ Deforestación.
- ✓ Remoción de sedimentos u organismos para enterramiento de tubos y conducción de gas e hidrocarburos.
- ✓ Aporte de lodos.
- ✓ Disminución de la regulación hídrica: daño en acuíferos.
- ✓ Vertimiento de aguas a altas temperaturas.

- **Pérdida de biodiversidad:**

- ✓ Pérdida de flora y fauna relacionada, entre otros, con ecotoxicidad de algunos residuos de las industrias minera y de hidrocarburos.
- ✓ Bioacumulación de sustancias residuales de las actividades minera y de hidrocarburos, como el mercurio.
- ✓ Malformaciones y pérdida de vigor de las especies.
- ✓ Alteración de procesos ecológicos como migraciones, reproducción, hábitos alimenticios.
- ✓ Cambios en la estructura y en la función de las especies.
- ✓ Floraciones algales que pueden generar sustancias tóxicas.
- ✓ Vertimiento de aguas a altas temperaturas.

- **Variables e indicadores mínimos requeridos para evaluar el impacto y monitorear el proceso de recuperación de los ecosistemas acuáticos intervenidos por las actividades realizadas desde los sectores de minería e hidrocarburos en el país** (se subrayan las más destacadas en las respuestas):

- **Físicas:**

- ✓ Turbidez.
- ✓ Concentración de sólidos.
- ✓ Análisis físico y químico de sedimentos profundos.

- **Químicas:**

- ✓ Calidad del agua: análisis acorde a la normatividad.
- ✓ Variables identificadas como prioritarias por la Agencia de Protección Ambiental

de EE. UU. (EPA por sus siglas en inglés), por su potencial ecotóxico.

- ✓ Acumulación de hidrocarburos y metales pesados en sedimentos.
- ✓ Modelación de resuspensión de hidrocarburos y metales pesados a la columna de agua.
- ✓ Potencial de óxido-reducción.
- ✓ Nutrientes.
- **Biológicas:**
 - ✓ Micro y macroinvertebrados: presencia, riqueza y abundancia en aguas subterráneas, aspectos tróficos.
 - ✓ Algas perifíticas, fitoplancton, zooplankton y diatomeas: estructura, composición, diversidad.
 - ✓ Ictiofauna: aspectos tróficos.
 - ✓ Bioacumulación de hidrocarburos y metales pesados en tejido animal y vegetal.
 - ✓ Aspectos funcionales de diferentes comunidades biológicas.
 - ✓ Cambio de diversidad trófica y diversidad comunitaria.
 - ✓ Producción primaria.
 - ✓ Riqueza y abundancia de bacterias (aguas superficiales y subterráneas).
- **Socioeconómicas:**
 - ✓ Construcción, mantenimiento y manejo de presas de relave.
 - ✓ Vías creadas para la obra.
- **Etapa(s) de la actividad minera y de hidrocarburos (antes, durante o después) en las que se considera importante ha-**

cer el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos afectados:

La mayoría de los participantes consideró necesario el monitoreo y seguimiento en todas las etapas (antes, durante y después). Algunas de las principales razones referidas fueron las siguientes:

- No se cuenta con suficiente información de línea base sobre las posibles áreas a intervenir, al menos en la parte marina. Esto implica que no se cuenta con información previa para hacer comparaciones de recuperación en el tiempo.
- El *antes* puede dar las condiciones de referencia para posteriormente evaluar el cambio. Las respuestas de las comunidades hidrobiológicas, particularmente el *perifiton* y las *diatomeas*, dan evidencia de cambios leves en cuanto a nutrientes, pH y sólidos; por tanto, es clave su seguimiento a través de todo el proceso de afectación.
- *Antes* es importante realizar una nutrida línea base con varias estaciones y considerando uno o dos periodos hidrológicos. Con base en ello, desarrollar una red de estaciones de monitoreo que, *durante* la operación, considere zonas de referencia y zonas de operaciones. *Después*, se deben realizar monitoreos hasta donde se hayan proyectado los efectos, que contemplen puntos en los que se hayan efectuado acciones de manejo para evaluar su efectividad.

Entre otros comentarios relacionados con la temática, se resaltan los siguientes:

- Es necesario que haya una base de datos pública, en línea y de fácil acceso, con las variables de monitoreo, la cual pueda ser consultada por los ciudadanos, para hacer veeduría de afectaciones a esos patrimonios colectivos.
- Es importante crear capacidades (administrativas, técnicas y financieras) para evaluar bioacumulación de contaminantes de estas actividades (minera y de hidrocarburos) en tejido animal y vegetal.
- **Rango de tiempo total y frecuencia con la que debe realizarse el monitoreo y seguimiento de ecosistemas acuáticos para las actividades de minería e hidrocarburos** (se resaltan las opciones más mencionadas):
 - **Rango de tiempo:**
 - ✓ Durante toda la vida del Proyecto y, al menos, 5 años después, hasta la fecha de cierre o de recuperación del área.
 - ✓ Durante la vida útil del Proyecto y, al menos, 30 años o más después del cierre, puesto que los ecosistemas acuáticos que pierden su resiliencia por factores tensionantes tienen un proceso de recuperación muy lento.
 - **Frecuencia:**
 - ✓ De acuerdo con el ciclo hidroclimatológico, en consideración con los periodos de aguas altas, bajas y transición.
 - ✓ Anuales: en época de verano o de baja precipitación, según la región del país donde se realice la actividad.
- ✓ Trimestral, durante la duración del Proyecto de aprovechamiento, y por lo menos anual, luego del cierre de este.
- ✓ Depende del ecosistema: para corales y manglares se puede hacer cada 5 años; para pastos marinos, cada 2 o 3; para playas, anualmente, mediante el uso de herramientas SIG y con seguimiento de la contaminación al menos 2 veces al año, en épocas contrastantes. Si se hace seguimiento a organismos específicos, habrá que hacerlo al menos 3 veces al año, en épocas contrastantes.
- **Medidas que contribuirían a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos de la minería y la actividad petrolera en los ecosistemas acuáticos:**
 - **Prevenir:**
 - ✓ Formalización minera.
 - ✓ Implementación de sistemas de control de procesos para manejo de vertimientos y residuos en el Proyecto.
 - ✓ Contar con una nutrida línea base.
 - ✓ Caracterización ambiental y biológica a cargo de personal competente en dichas áreas.
 - ✓ Generar suficiente información de calidad en todo el territorio nacional.
 - **Mitigar:**
 - ✓ Contar con protocolos, control de procesos, equipos y maquinaria de excelente calidad, que garanticen que se puedan minimizar los impactos ambientales.
 - ✓ Contar con cartografía actualizada de

zonas contaminadas y proceder con planes de restauración y descontaminación de largo plazo (más de 10 años).

- ✓ Implementar trabajos integrados de biorremediación y seguimiento a comunidades acuáticas.
- ✓ Contar con medidas de manejo que incluyan rehabilitación, no solo de bosque ribereño, sino también del mismo medio acuático.

▪ **Corregir:**

- ✓ Rehabilitación de la conectividad.
- ✓ Reforestación de rondas y bosques asociados.
- ✓ Hacer investigación sobre la problemática ambiental y biológica en relación con los impactos del Proyecto, con el fin de intervenir adecuadamente en la solución de las mismas.

▪ **Compensar:**

- ✓ Diseñar y ejecutar planes de compensación en un área similar, si es que no hay manera de cambiar el lugar a intervenir.
- ✓ Acciones orientadas a restaurar procesos ecológicos y hábitats, como la conectividad hidrológica.

- ✓ Urge un manual de compensaciones del medio acuático, para el cual es necesario que se estructure un plan de trabajo articulado entre actores clave y entidades competentes, como ANLA, sectores e institutos de investigación.

Como comentarios adicionales, se resaltó que las medidas actuales son adecuadas, pero hace falta mayor conciencia por parte de empresarios, administradores, jefes de campo y operadores, para el cumplimiento de las obligaciones ambientales. Además, que se debe dar prioridad a las medidas preventivas.

Las respuestas obtenidas en relación con los principales efectos ambientales del sector energético (hidroeléctricas) sobre los ecosistemas acuáticos, y las variables e indicadores clave para el monitoreo, se sintetizan a continuación:

En la Tabla 34 se presentan las variables y/o atributos mínimos de monitoreo, identificados por los participantes para el levantamiento de línea base, construcción y operación de hidroeléctricas. Se incluyen únicamente las priorizadas por más del 50% de los participantes.

Tabla 34. Variables y/o atributos para el levantamiento de línea base, construcción y operación de hidroeléctricas.

Variables y/o atributos	Línea base	Construcción	Operación
Físicos y químicos			
Alcalinidad	X		
Ambiente morfogenético	X	X	
Ancho del cauce húmedo y total	X	X	X
Capacidad portante del suelo	X		
Carbono orgánico en suelo	X		
Caudal de afluencias (al embalse)	X	X	X
Caudal de afluentes, aguas abajo de la intervención		X	X
Caudales líquidos* y sólidos (aguas arriba y abajo del embalse o azud y aguas abajo)	X	X	X
Coliformes totales	X		X
Conductividad eléctrica	X		X
Consistencia del suelo	X		
Contaminantes emergentes	X		X
DBO	X		X
DQO	X		X
Dureza total	X		X
Erosión de orillas y/o estabilidad de bancas (arriba y abajo de la intervención)		X	
Evapotranspiración	X		
Fósforo total	X		X
GEI	X		
Granulometría de fondos blandos	X	X	X
Grasas y aceites*	X		X
Hierro	X		
Material flotante (basuras y de origen vegetal)	X		X
Metales pesados* (Mercurio, entre otros)	X		X
Mineralogía de arcillas	X	X	
Nitratos	X		X
Nitrógeno total	X		X
Ortofosfato*	X		
Oxígeno disuelto y/o % de saturación	X		X
Pendiente	X		
pH	X		X
Precipitación	X	X	X
Profundidad		X	X
Saturación de bases			X
Sólidos disueltos totales	X		X
Sólidos sedimentables	X		X
Sólidos suspendidos totales (sedimentos en suspensión)	X		X
Sulfatos	X		X

Variables y/o atributos	Línea base	Construcción	Operación
Físicos y químicos			
Temperatura ambiente	X		X
Temperatura del agua	X	X	X
Tiempo de residencia (embalses)			X
Transparencia	X		
Turbidez	X		X
Unidad climática			X
Unidad geomorfológica		X	
Biológicos			
Algas perifíticas	X		X
Anfibios	X		
Aves	X		
Bioacumulación (tejidos y sedimentos)	X		X
Biota introducida y/o invasora	X	X	X
Clorofila a	X		
Coberturas vegetales perimetral al embalse	X		X
Fitoplancton	X		X
Flora acuática y semiacuática	X	X	
Huevos, larvas (ictioplancton)	X	X	X
Ictiofauna	X	X	X
Macroinvertebrados	X	X	
Mamíferos acuáticos y terrestres	X	X	
Producción primaria	X		X
Reptiles	X	X	
Rutas de migración y distancias recorrida por peces	X	X	
Vegetación de ribera	X	X	
Zooplancton	X		X
Socioeconómicos			
Calidad de vida (acceso a servicios públicos, riesgo a eventos naturales, tipo de vivienda, necesidades básicas insatisfechas, índices de pobreza multidimensional)	X	X	
Caracterización actividades económicas aguas arriba, en sitio de intervención y aguas abajo	X		
Caracterización de captaciones en la cuenca	X		X
Caracterización de usos y usuarios del agua, riberas e islast	X		
Caracterización de vertimientos líquidos en la cuenca aportante y aguas abajo de la intervención	X		
Población (tasa de crecimiento, distribución y densidad)	X		X
Presencia de grupos étnicos	X		
Residuos sólidos en la cuenca aportante y aguas abajo de la intervención	X		X
Vectores de enfermedades tropicales	X		X

Fuente: elaboración propia (2021).

- **Periodicidad oportuna de monitoreo**

El 57% de los participantes indicó la necesidad de monitorear las variables o atributos físicos y químicos semestralmente (2

veces al año) y los biológicos cuatrimestralmente (3 veces al año). El 71% indicó una periodicidad anual (1 vez al año) para los atributos socioeconómicos (Tabla 35).

Tabla 35. Periodicidad oportuna para el monitoreo de variables y/o atributos físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos.

Periodicidad oportuna de monitoreo	Porcentaje de selección entre participantes		
	Físicos y químicos	Biológicos	Socioeconómicos
Semestral (2 veces al año)	57	14	14
Cuatrimestral (3 veces al año)	29	57	14
Anual (1 vez al año)	14	29	71

Fuente: elaboración propia (2021).

- **Actividades o acciones consideradas estresores coincidentes y/o que generan impactos acumulativos con la actividad hidroeléctrica** (ordenadas según la importancia indicada por los participantes, principalmente las tres primeras):
 - Minería.
 - Agricultura.
 - Vertimientos (particulares, sacrificio de animales, domésticos).
 - Cambios en el uso del suelo de la cuenca aferente.

- Cambios en la dinámica poblacional.
- Deforestación.
- Uso del recurso por parte de las comunidades aguas arriba.
- Botaderos de basura a cielo abierto.
- Producción de lácteos.
- Manufactura de cueros.

En la Tabla 36 se presentan las medidas que más aportan al manejo, mitigación y/o compensación de impactos por la construcción y operación de hidroeléctricas (en orden de importancia de las respuestas obtenidas durante la sesión y en el formulario).

Tabla 36. Medidas de manejo, mitigación y/o compensación de impactos generados por las hidroeléctricas.

Importancia	Medidas de manejo, mitigación y/o compensación					
1	Mejorar las condiciones de los pobladores locales, al brindar opciones laborales y guía en la conformación de asociaciones para diferentes actividades que les generen ingresos, entre otros.	Trabajar aguas arriba y abajo para mantener condiciones óptimas del cauce, en favor del uso por parte de las comunidades.	Garantizar un caudal ecológico óptimo.	Instalar y mantener sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Limpiar el terreno contaminado.	Restaurar la cuenca aguas arriba de la captación.
2	Realizar jornadas participativas, en las que se promueva el cuidado y preservación del río.	Realizar actividades de educación ambiental con la comunidad.	Efectuar los estudios físicos con periodicidad.	Los estudios relacionados con el antes y durante la operación ayudan al mejor conocimiento del territorio y repercuten en lo social y científico.	Tratar las aguas contaminadas.	Ejecutar proyectos de limpieza del río.
3	Ayudar a la educación, formación y capacitación de la población local.	Guiar a la población local en nuevos campos en los que pueda desempeñarse, si sus actividades económicas se ven afectadas por el proyecto.	Cumplir con los debidos informes que le exige la autoridad ambiental.	Realizar actividades de conservación (pago por Servicios ambientales).	Repoblamiento vegetal.	Sembrar plántulas.

Importancia	Medidas de manejo, mitigación y/o compensación					
4	Fomentar el cuidado del agua a lo largo del cauce del río, aguas arriba y abajo.	Generar empleo local y nacional.	Vincular a la comunidad en el proceso de construcción y operación.	Eliminar fuentes contaminantes.	Crear viveros temporales en zonas aledañas.	Realizar un manejo adecuado de la cobertura vegetal.
5	Construir obras civiles a favor de los sectores sociales (escuelas, vías, puentes... etc.).	Formular estrategias para facilitar procesos de silvicultura a lo largo del río, y así ayudar en lo económico a la población.	Ayudar a la economía de país.	Mantener corredores biológicos.	Reponer los corredores biológicos, tanto terrestres como acuáticos.	Realizar acciones de mitigación con establecimiento de sistemas de tratamiento.

Gris (12): acciones relativas a la población. Azul (8): acciones de cumplimiento ambiental y temáticas ecológicas relacionadas. Rojo (6): acciones de descontaminación. Verde (4): acciones de conservación y restauración de cobertura vegetal. **Fuente:** elaboración propia (2021).

Mesa 4. Monitoreo comunitario participativo.

- Definición**

El análisis de la información recopilada a través de la mesa de trabajo y la

encuesta realizada permitió establecer las palabras y conceptos clave (predominantes) utilizados por los participantes para definir el monitoreo comunitario participativo (MCP):



• **Figura 7.** Palabras y conceptos utilizados por los participantes de la mesa y de la encuesta para definir el MCP. El tamaño de cada palabra o concepto se relaciona con el número de veces que se utilizó (predominancia) por los participantes para definir el MCP.

• **Fuente:** elaboración propia (2021).

En términos generales, el *Monitoreo Comunitario Participativo* fue definido como un *proceso que vincula a la comunidad, a través de espacios y estrategias de participación activa, en el levantamiento de información y en la generación, construcción y gestión del conocimiento del territorio. Adicionalmente, involucra el trabajo conjunto con los diferentes actores que hacen parte*

del mismo e integra, a través del diálogo de saberes, los conocimientos tradicionales y científicos, en el monitoreo.

En la Tabla 37 se indica la experiencia de los participantes de la mesa en procesos de monitoreo comunitario participativo (se resaltan en negrilla los proyectos que siguen vigentes).

Tabla 37. Experiencias de los asistentes en procesos de MCP.

Entidades	Experiencias en procesos de monitoreo comunitario participativo
Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA)	Algunas experiencias en el Parque Salamanca y en la ciénaga de Mallorquín.
Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreos Programa Integral Red Agua - Piragua, vigente desde el año 2011. • Proyectos corporativos como Guardaciénagas, Guardabosques y Cangrejos de agua dulce, de la jurisdicción de Corantioquia.
Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor)	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto Bocatomas, subzonas hidrográficas de Garagoa, Lengupá, Guavio y Upía, vigente desde el año 2004. • Nuestros ríos más cerquita, municipios de Turmequé, Úmbita, Pachavita y La Capilla, vigente desde 2020.
Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo participativo en parcelas de usos sostenible del DRMI, Distrito Regional de Manejo Integrado de la Bahía de Cispatá, La Balsa, Tinajones y sectores aledaños del Delta Estuarino del Río Sinú. • Monitoreo participativo en la implementación del plan de manejo del Manatí antillano en el Bajo Sinú. • Monitoreo participativo en la implementación del Proyecto de conservación comunitaria de la especie caimán aguja en el DRMI de la Bahía de Cispatá, La Balsa y Tinajones.
Establecimiento Público Ambiental (EPA), Cartagena	Sistema de monitoreo comunitario de la ciénaga de La Virgen, ubicado en Cartagena, Colombia.
Fundación Natura	Monitoreo Pesquero Participativo de la aplicación Mipez.
Ideam	Recolección de variables meteorológicas, hidrológicas y de calidad de agua con ayuda de observadores voluntarios, baqueanos y personas de la zona de estudio.
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	Sistema de alertas tempranas participativo, en la vereda El Valle (Junín, Cundinamarca).
Invemar	Monitoreo pesquero de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Entidades	Experiencias en procesos de monitoreo comunitario participativo
SFF Iguaque, PNN	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de pluviómetros caseros con estudiantes del área de influencia del SFF Iguaque, e inicio de levantamiento de información. • Ejercicios de monitoreo de caudal, con estudiantes y docentes en algunas fuentes hídricas.
Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia (UPTC)	<ul style="list-style-type: none"> • Colectivo convenio UPTC PNN Cocuy, percepción problemas ambientales en zona de influencia PNN el Cocuy 2018, además de monitoreo hidrobiológico en 5 microcuencas. • Ejecución actual de un proyecto que busca construir un protocolo de monitoreo con la comunidad de la cuenca del río Olarte - tributario del río Upía y lago de Tota. Desde que se realizan actividades de investigación en estudio de sistemas acuáticos se ha integrado la comunidad local, aunque no formalmente. Esto ha generado interés y participación, con interesantes reflexiones y aprendizajes en doble vía.
No se especificó entidad	<ul style="list-style-type: none"> • Algunas experiencias con la participación de niños de la comunidad en El Islote, islas de San Bernardo, PNN, Corales del Rosario. • Monitoreo con comunidades de pescadores y piangüeras en la zona costera de Buenaventura y Tumaco. • Realización de caracterizaciones pesqueras, involucrando a pescadores de la zona y sus agremiaciones. • Proyecto con pescadores de la costa pacífica de Nariño.

Fuente: elaboración propia (2021).

Pese a que algunos de los participantes refirieron no haber estado vinculados a ninguna experiencia de este tipo, indicaron que consideran de gran importancia la implementación de estos procesos en los proyectos de monitoreo.

- **Principales retos y oportunidades en relación con la integración de procesos de MCP en la implementación de protocolos de monitoreo de los ecosistemas a nivel nacional y regional:**

- **Retos:**

- ✓ **Establecer lineamientos mínimos para la implementación de procesos de MCP:** i) diseñar un componente

estratégico que contenga los objetivos y lineamientos metodológicos para la planeación de procesos de monitoreo participativo; ii) transformar esquemas convencionales de monitoreo; iii) construir metodologías en diálogo de saberes; iv) integrar métodos pedagógicos con estrategias comunicativas; v) democratizar el conocimiento, generando procesos de transferencia y apropiación, especialmente en sectores de la población tradicionalmente marginados y vi) ganar espacios en el discurso oficial.

- ✓ **Armonizar visión e intereses de diferentes actores sobre el territorio:**

- i) lograr canalizar los intereses compartidos; ii) desligar la visión de conflicto e interés particular por el recurso hídrico; iii) pasar de procesos diagnósticos a implementación de soluciones y vi) concientizar sobre la importancia de los servicios ecosistémicos que se derivan de los ambientes naturales de los cuales dependemos.
- ✓ **Fomentar el interés en la implementación de este tipo de procesos:** i) interesar a las instituciones en el tema (público y privado, en diferentes escenarios y niveles); ii) hacer atractivas este tipo de actividades a las comunidades; iii) promover una actitud más propositiva entre los diferentes actores y iv) contar con el compromiso de las instituciones y entes territoriales para apoyar los procesos y utilizar la información generada en la toma de decisiones, de tal forma que las comunidades participantes vean reflejado el resultado del monitoreo en acciones reales sobre la gestión del recurso.
 - ✓ **Establecer mecanismos de financiación:** i) garantizar fuentes de financiación; ii) promover incentivos para la implementación de procesos de MCP en programas y proyectos del sector ambiental y iii) garantizar la generación de ingresos para la comunidad (vinculación laboral), a partir de estos ejercicios de monitoreo.
 - ✓ **Fortalecer capacidades (administrativas, técnicas, tecnológicas) para desarrollar este tipo de procesos:** i) garantizar instrumentos y capacitación y ii) coordinar con las autoridades ambientales los resultados de dichos monitoreos. Este componente debe tener claro el alcance del proceso, los objetivos, el para qué y qué monitorear, así como los responsables de cada etapa desde la formulación, hasta la implementación de los procesos.
 - ✓ **Implementar proyectos de monitoreo a largo plazo, integrando el MCP.**
- **Oportunidades:**
 - ✓ **Experiencias exitosas que han demostrado las fortalezas e impactos positivos de una adecuada implementación de procesos de MCP:** i) propician la participación incidente de las comunidades locales en el ordenamiento y manejo del territorio; ii) ayudan a orientar procesos más allá del diagnóstico, como ejercicios de priorización, manejo y regulación; iii) fomentan la gobernanza sobre los recursos naturales; iv) potencian el conocimiento de los ecosistemas y sus dinámicas; v) incrementan el sentido de pertenencia y responsabilidad ambiental; vi) reconocen las capacidades de trabajo de la comunidades; vii) visibilizan el conocimiento tradicional; viii) fomentan el diálogo de saberes (transferencia de conocimientos entre lo técnico y lo empírico, el relevo generacional y enfoque diferencial);

ix) fortalecen la implementación de futuros procesos de MCP, mediante la aplicación del conocimiento adquirido en el proceso (lecciones aprendidas); x) se convierten en mecanismos de empoderamiento comunitario y de reducción de asimetrías en el acceso a conocimientos y xi) aportan a la mejora de la calidad, resolución y disponibilidad de la información, a partir de la vinculación de indicadores y métodos basados en marcos de interpretación comunitarios al monitoreo.

- ✓ **Interés creciente de la sociedad en temas ambientales:** i) interés creciente de las comunidades y las instituciones en el estado de los ecosistemas y el impacto de las actividades productivas sobre los mismos.
- **Acciones clave que se deberían tener en cuenta para lograr la inclusión del MCP a la implementación del protocolo en ventanas piloto:**
 - Establecer mecanismos y acuerdos que posibiliten la sostenibilidad del monitoreo: identificar fuentes de financiamiento con visión de largo plazo.
 - Socializar y evaluar las experiencias de implementación de este tipo de procesos a nivel país y establecer estrategias para generar capacidades en torno a las mismas:
 - ✓ Generar espacios de intercambio de experiencias exitosas y lecciones aprendidas en los procesos de MCP que se han desarrollado en el país, documentarlos, evaluarlos y diseñar las propuestas para esta inclusión.
 - ✓ Desarrollar estrategias de sensibilización entre científicos e instituciones, para facilitar el diálogo con otros marcos de sentido.
 - ✓ Internalizar estos procesos por parte de las entidades involucradas (autoridades ambientales, institutos de investigación, entre otros).
 - ✓ Capacitar a la institucionalidad en el diálogo de saberes.
- **Identificar actores clave, así como sus intereses y necesidades en relación con el monitoreo:**
 - ✓ *Líderes comunitarios* que cuenten con habilidades para transmitir conocimientos a los demás miembros de la comunidad.
 - ✓ *Grupos estratégicos* dentro de la *comunidad local y regional*, como redes comunitarias de monitoreo local y regional, grupos étnicos, asociaciones de pescadores, entre otros.
 - ✓ *Vinculación de la comunidad educativa* como una aliada estratégica esencial, ya que tiene gran relevancia en el contexto rural, se promueve un cambio cultural en amplio espectro de espacio y tiempo, se garantiza algún grado de continuidad, se facilita la conformación de alianzas institucionales, así como la asignación efectiva y controlada de recursos.

- ✓ *Articular el monitoreo con **alcaldías y gobernaciones***, a través de los instrumentos de planificación del territorio.
- ✓ *Articular este tipo de proyectos* con las autoridades ambientales regionales, los institutos de investigación del Estado y la academia.

Adicionalmente, se señaló que, en relación con estos actores, es importante considerar sus inquietudes, necesidades, ideas y expectativas respecto al monitoreo. Igualmente, es de suma importancia *garantizar una buena convocatoria* a los diferentes espacios que se generen para la implementación del protocolo, con el fin de *contar con una nutrida participación e intercambio de saberes*.

▪ **Definir un marco de buenas prácticas para el MCP, entre las cuales se refieren algunas a considerar:**

- ✓ Implementar el enfoque diferencial.
- ✓ Establecer procesos de acercamiento y socialización de los objetivos del monitoreo.
- ✓ Desarrollar estrategias para la construcción colectiva de preguntas, variables, indicadores y métodos, que faciliten la vinculación de los marcos de sentido locales con el ejercicio de monitoreo.
- ✓ Capacitar a las comunidades para la recolección de información. Certificar estos procesos.

- ✓ Ejecutar pruebas piloto con las comunidades.
- ✓ Generar espacios y/o mecanismos para garantizar la retroalimentación periódica a las comunidades y la institucionalidad, sobre el proceso y la salud del ecosistema.
- ✓ Implementar estrategias pedagógicas y de comunicación que faciliten el diálogo de saberes y la apropiación de los conocimientos generados en el marco del monitoreo.
- ✓ Realizar ejercicios constantes de traducción de categorías y, en general, de lenguaje entre actores.
- ✓ Integrar a los actores locales como coinvestigadores y coautores.
- ✓ Fomentar procesos formativos que vayan más allá de la socialización, el intercambio de información y la inclusión de la comunidad; en las actividades de recolección de la información.

▪ **Desarrollar herramientas tecnológicas de fácil acceso y uso comunitario para la implementación de procesos de MCP:**

- ✓ Asegurar el acceso y la capacitación de la comunidad en relación con estas herramientas (conexión a internet, tabletas, aplicaciones de celular, entre otros).
- ✓ Crear un sistema para que las comunidades registren sus datos de monitoreo, y uno de evaluación e información sobre la salud del ecosistema, de acceso público.

Mesa 5. Lineamientos operaciones estadísticas del SEN.

La primera parte de esta mesa temática se centró en la propuesta del modelo integrador de variables e indicadores, teniendo en cuenta el proceso estadístico definido por las entidades responsables, y, la segunda, en los lineamientos para estadísticas e indicado-

res ambientales. De esta forma, se lograron conceptualizar las fases y requerimientos del proceso estadístico. Este último es el criterio mínimo que, en este contexto, se debe cumplir para asegurar la calidad de la operación.

En la Tabla 38 y Tabla 39 se presentan los resultados obtenidos al cuestionario planteado en la mesa:

Tabla 38. Consideraciones preliminares para realizar el proceso de recolección de información estadística.

Característica	Porcentaje	
	Si	No
¿Se toma el tiempo para identificar los estándares estadísticos que permitan integrar los datos con otras fuentes de información y comparar los resultados?	88	13
¿Define el universo de estudio?	100	0
¿Define la población objetivo?	100	0
¿Establece la cobertura geográfica y la periodicidad de recolección de los datos?	100	0
¿Aplica algún método, técnica, procedimiento o estrategia para la recolección / acopio de los datos?	88	13
¿Realiza el entrenamiento del personal que toma las mediciones, procesa y difunde los datos o resultados?	100	0
¿Establece los métodos, técnicas, procedimientos o estrategias para la recolección / acopio de los datos?	100	0
¿Tiene en cuenta alguna herramienta tecnológica para el procesamiento de los datos?	88	13
¿Especifica los criterios técnicos para la comunicación, publicación y difusión de los resultados?	63	38

Fuente: elaboración propia (2021).

- A la pregunta: **¿durante el proceso de recolección y acopio de los datos se preocupa por obtener información de calidad?**, el 88% de las respuestas fueron positivas, y el 12% restantes, negativas.
- **Desde su experiencia, ¿cuál considera que es el momento/proceso más crítico a la hora de recolectar los datos en campo que interfieran con la calidad de la información?**
 - Las condiciones ambientales, climáticas y/o de orden público, que no permiten realizar los muestreos según el diseño.
 - Las fallas técnicas que impiden la medición o toma de muestras.
 - Los costos del levantamiento de información (especialmente marina y costera).
 - La definición del universo de estudio y el tamaño muestral.

- **¿Qué fuentes de información de tipo estadístico consulta usualmente?**
 - Ideam.
 - DANE.
 - CAR.
 - FAO.
 - REDCAM.
 - Estado de avance de la deforestación.
 - Otras fuentes relacionadas a temáticas específicas.

Tabla 39. Nivel de conocimiento y consulta de información estadística nacional.

Pregunta	Porcentaje		
	Si	No	Tal vez
¿Conoce acerca del SEN?	50	38	12
¿Acostumbra a consultar la hoja metodológica, protocolo o ficha técnica de variables, índices o indicadores?	50	25	25
¿Sabe dónde consultar las operaciones estadísticas oficiales del país?	63	25	12
¿Ha consultado alguna vez una operación estadística y/o sus resultados?	63	25	12
¿Actualmente su institución cuenta o está adelantando alguna operación estadística para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos?*	25	38	37

* Entre ellos, se destacan el Índice de Condición Tendencia de Áreas Coralinas de la Región Caribe (PNN Tayrona e Islas del Rosario) y la Región Pacífico (PNN Gorgona y Utría), el Indicador de la Calidad de las Aguas Marinas (ICAM) y el Sistema de Información Pesquera del Invermar (SIPEIN).

Fuente: elaboración propia (2021).

Conclusiones

- Prácticas agropecuarias como la implementación de monocultivos (p. ej. de palma africana), agricultura de ladera, ganadería semiestabulada (ganado vacuno) y acuicultura en sistemas abiertos, así como la porcicultura, fueron identificadas como las principalmente relacionadas con procesos de degradación y pérdida de los ecosistemas acuáticos del país.
- Entre las variables referidas para monitorear los impactos del sector agropecuario se resaltan: los residuos de agroquímicos (herbicidas, plaguicidas en agua y en sedimentos, fertilizantes en agua, pesticidas, POP, pesticidas organoclorados y organofosforados); la concentración de sólidos (disueltos y suspendidos) en agua; los cambios en el uso del suelo en la cuenca y su relación con la capacidad de uso o uso potencial del suelo.
- En el caso de los sectores minero y de hidrocarburos, las variables seleccionadas como de mayor relevancia son las relacionadas con la evaluación de calidad del agua, acorde con la normativa; especialmente aquellas conocidas por su potencial ecotóxico (en agua y sedimentos) y la concentración de sólidos. Igualmente, se

incluye la evaluación de bioacumulación de hidrocarburos y metales pesados en tejido animal y vegetal.

Se enfatizó en la necesidad de garantizar un nutrido levantamiento de información de línea base para evaluar con mayor robustez los impactos de las actividades sectoriales e implementar medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación, ajustadas a la realidad y con visión de largo plazo. Al respecto, también es fundamental evaluar los impactos acumulativos de otras actividades que se realicen en la zona de influencia de los proyectos, entre estas, la minería, la actividad agrícola y el uso doméstico (demanda y vertimientos) del recurso.

Las afectaciones causadas a los ecosistemas acuáticos debido a las actividades características de los diferentes sectores analizados (agropecuario, minero, hidrocarburos e hidroeléctrico) se relacionan principalmente con 4 fenómenos de degradación y pérdida interrelacionados: fragmentación, contaminación (orgánica e inorgánica), pérdida de biodiversidad e intensificación de los efectos del cambio climático.

Las acciones identificadas con el fin de mitigar los impactos negativos de las actividades agropecuarias, mineras, de hidrocarburos y energéticas (hidroeléctricas) sobre los ecosistemas acuáticos del país se agrupan en 5 categorías principales: i) fortalecimiento de medidas de conservación y manejo establecidas por autoridades ambientales; ii) desarrollo de buenas prácticas

e incentivos para su implementación; iii) construcción de un manual de compensaciones del medio acuático; iv) capacitación constante del personal encargado de implementar los proyectos, así como de aquellos responsables de su veeduría y v) fomentar la investigación en las temáticas relacionadas.

Se considera necesaria y pertinente la inclusión de procesos de monitoreo comunitario participativo en el marco de la implementación del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*. Las experiencias exitosas han demostrado las fortalezas e impactos positivos de una adecuada implementación del MCP.

Entre los principales retos identificados para la implementación de procesos de monitoreo comunitario participativo se encuentran: i) establecer lineamientos mínimos para su implementación; ii) armonizar la visión e intereses de los diferentes actores del territorio; iii) fomentar el interés en la implementación de este tipo de procesos; iv) garantizar la financiación (sostenibilidad) y v) fortalecer las capacidades institucionales para desarrollar este tipo de procesos.

El proceso estadístico constituye un elemento transversal que, aunque complejo y muy poco abordado en temáticas ambientales, debe ser considerado en el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos, para garantizar que la información recolectada sea comparable, precisa y pueda ser interpretada a largo plazo.

Conclusiones generales

Dra. Mónica Tatiana López Muñoz
Proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive
Fundación Natura.



La socialización de la propuesta metodológica desarrollada por el equipo de Ecosistemas Acuáticos del grupo de Suelos y Tierras de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental del Ideam, durante las dos primeras fases de construcción del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, en el marco del *Taller Internacional sobre Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos*, permitió conocer las opiniones y recomendaciones de profesionales nacionales e internacionales, a partir de experiencias concretas, en relación con los diferentes componentes y métodos planteados para el protocolo: SIG, unidades de análisis, indicadores hidrológicos, biofísicos, hidro-

biológicos y socioeconómicos y proceso estadístico. Además, se identificaron con mayor precisión los criterios técnicos y operativos para la selección de las variables e indicadores mínimos para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos en el país.

En este contexto, y considerando todos los conceptos, resultados y opiniones acopiados a lo largo del evento, se resaltan las principales conclusiones, las cuales serán base para realizar los ajustes del documento propuesto de la formulación del protocolo:

- Para lograr que el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos responda a las características de cada área del territorio nacional, es necesario surtir un proceso de regionali-

zación, mediante el cual sea posible distinguir claramente los ecosistemas. Para ello, se deben considerar insumos geográficos, que permitan trabajar a diferentes escalas espaciales.

- Debido a la necesidad de que el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos sea continuo, y en todo el territorio, se deben incluir como mínimos nacionales, variables e indicadores que garanticen que este proceso sea realizable por todas las entidades e instituciones responsables, en términos de costos, eficiencia y oportunidad. En este sentido, es necesaria, además, la destinación de recursos del Estado y la vinculación de diferentes sectores, para apoyar la sostenibilidad del monitoreo y la gestión adecuada de los ecosistemas.
- Algunas de las mayores limitaciones técnicas identificadas para el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos en el país fueron la falta de metodologías y procesos estandarizados, así como de normativas claras en relación con los rangos de las variables medidas, la batería de variables y la presentación de la información. Por esta razón, es necesario contar con

metodologías estandarizadas y ajustes normativos para el monitoreo de los ecosistemas, en consideración al proceso de regionalización. Además, es indispensable que los análisis sean realizados por profesionales competentes y calificados para cada componente.

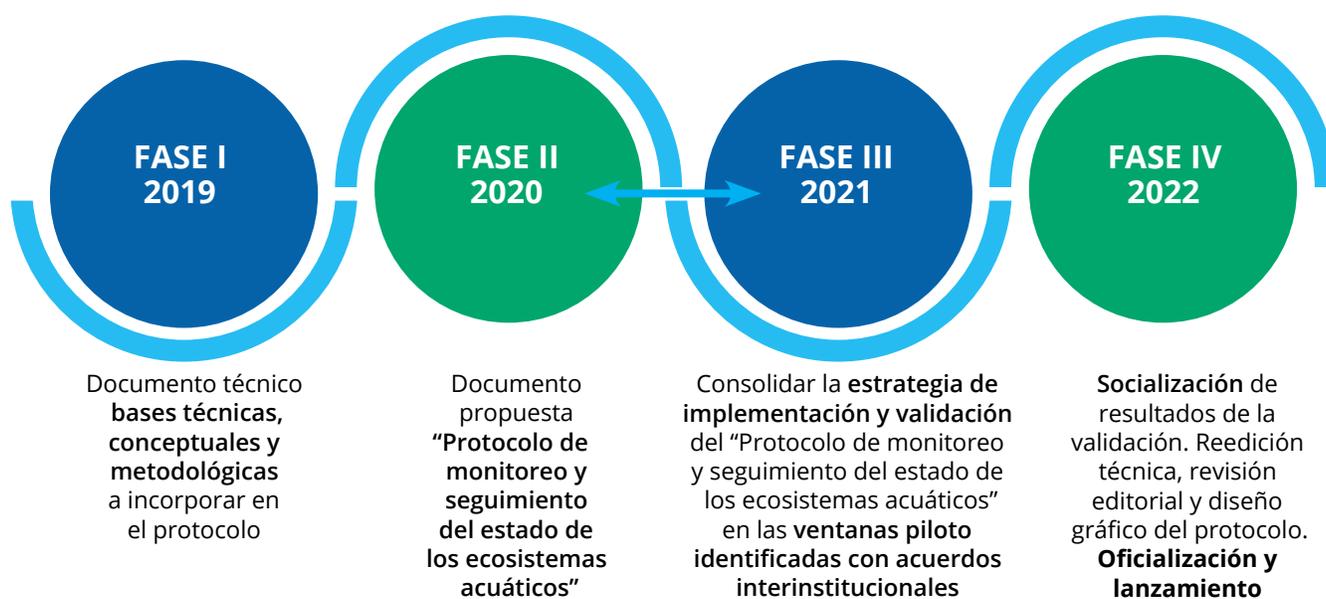
- Asimismo, se evidenciaron falencias en cuanto a la disponibilidad de la información, la capacitación del personal que realiza los muestreos y análisis y el poco apoyo institucional. Al respecto, se destacó la necesidad de actualizar periódicamente la información en el SIAC, realizar capacitaciones constantes en cuanto a la obtención, procesamiento, análisis, validación y disposición de la información y tener mayor disposición para el trabajo cooperativo, multidisciplinario e interinstitucional.
- Para que el monitoreo y seguimiento de los ecosistemas acuáticos sea un proceso continuo, a largo plazo, de apropiación nacional, y que brinde herramientas para la gestión y preservación de los ecosistemas, debe incluir estrategias participativas y considerar las necesidades y perspectivas de las comunidades.

Proyecciones para el avance del proceso del protocolo y las siguientes fases

La participación de tan variados actores relacionados con el monitoreo y la gestión de los ecosistemas en el país (autoridades nacionales, regionales y territoriales, institutos de investigación, academia, empresa privada y organizaciones no gubernamentales), durante el *Taller Internacional sobre Experiencias en Monitoreo y Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos*, brindó importantes herramientas conceptuales, técnicas y operativas, para identificar y/o ajustar criterios, variables e indicadores mínimos para el monitoreo nacional de estos ecosistemas y, de esta forma, concluir el documento propuesto de formulación del *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país*, y finalizar la segunda de las cuatro fases planteadas para el desarrollo del mismo.

De esta manera, con base en las lecciones, aprendizajes y conclusiones adquiridos durante el evento, y luego de la finalización del documento propuesta del protocolo, se iniciará la fase III del proceso, estableciendo acuerdos para la selección de ventanas piloto en diferentes regiones, las cuales harán parte del primer ciclo de implementación y validación del protocolo.

Finalmente, es necesario recalcar que, aun después de la fase IV, el *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país* se plantea como un proceso en construcción, que debe ser continuamente revisado, actualizado, enriquecido y mejorado, de acuerdo a las necesidades, retos y dinámicas del territorio.





El ambiente
es de todos

Minambiente

Grupo Suelos y Tierras
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
ecosistemas@ideam.gov.co
www.ideam.gov.co



IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



Fundación
Natura
COLOMBIA



CONDESAN
Consortio para el Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Andina