

HUMEDALESVIVOS

LAS HUELLAS DEL AGUA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR Y
COMPRENDER EL LÍMITE DE LOS HUMEDALES DE COLOMBIA

Editoras:
Jimena Cortés Duque y Lina M. Estupiñán Suárez



HUMEDALESVIVOS

LAS HUELLAS DEL AGUA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR Y
COMPRENDER EL LÍMITE DE LOS HUMEDALES DE COLOMBIA

Editoras:

Jimena Cortés Duque y Lina M. Estupiñán Suárez

LAS HUELLAS DEL AGUA

Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia

Editoras

Jimena Cortés Duque y Lina M. Estupiñán Suárez

Evaluadores

Abdón Cortés Lombana, Gerardo A. Aymard C.,
José A. González, José Humberto Caballero Acosta,
Jesús Adolfo Anaya Acevedo, Juan Manuel Gutiérrez
Segura y Sandra Yanneth Ríos Gallego

Revisión técnica Instituto Humboldt

Carlos Sarmiento y Úrsula Jaramillo

Dirección editorial Instituto Humboldt

Marcela Hernández Calderón

Coordinación editorial y

revisión de textos Instituto Humboldt

Marcela Hernández Calderón,
Carolina Obregón Sánchez y María Isabel Henao Vélez

.PUNTOAPARTE BOOKVERTISING

Director editorial

Andrés Barragán Montaña

Corrector de estilo

Juan Mikán González

Directores de arte

Mateo L. Zúñiga y Joulie Rojas Díaz

Diseñadores

Nicolás Carvajal Prada, Natalia Esquivel y
Joulie Rojas Díaz

Portada

Foto Luis Fernando López Cerón

Diseño Joulie Rojas Díaz

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Presidente de la República

Juan Manuel Santos Calderón

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Luis Gilberto Murillo Urrutia

Gabriel Vallejo López (2014 - 2016)

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Mauricio Cárdenas Santamaría

FONDO ADAPTACIÓN

Gerente General

Iván Mustafá Durán

Gerente General (2014-2016)

Germán Arce Zapata

Gerente General (2012-2014)

Carmén Arévalo Correa

Subgerente Gestión del Riesgo

Alfredo Martínez Delgadillo

Asesoras Subgerencia Gestión del Riesgo

Sonia Silva Silva y Doris Suaza Español

Asesor Sectorial Medio Ambiente (2013-2015)

Andrés Parra

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS

BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT

Directora General

Brigitte L. G. Baptiste

Subdirector de Investigaciones

Germán I. Andrade

PROYECTO INSUMOS TÉCNICOS PARA LA DELIMITACIÓN DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS: PÁRAMOS Y HUMEDALES

Coordinador

Carlos Sarmiento Pinzón

Subdirector de Servicios Científicos y

Proyectos Especiales (2013-2014)

Jerónimo Rodríguez Rodríguez

EQUIPO COMPONENTE HUMEDALES

Coordinadora

Úrsula Jaramillo Villa

Sandra Patricia Vilardy Quiroga (2013)

Investigadores

Jimena Cortés Duque, Lina M. Estupiñán Suárez, Carlos
Flórez Ayala, Eduardo Andrés Cadena Marín, Sergio Rojas,
Susana Peláez y César Aponte

Coordinadora editorial

Carolina Obregón Sánchez

EQUIPO DE COMUNICACIONES

Coordinadora

María Isabel Henao Vélez

Editora

Ana Marcela Hernández Calderón

Diseño y administración web

Martín Francisco Villamizar

Medios audiovisuales

Luis Fernando López Cerón

CITACIÓN DE OBRA COMPLETA SUGERIDA

Cortés-Duque, J. y L. M. Estupiñán-Suárez. (Eds.). 2016. Las huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Fondo Adaptación. Bogotá D. C., Colombia. 340 pp.

CITACIÓN DE CAPÍTULO SUGERIDA

Patiño, J.E. 2016. Delimitación de humedales a partir de criterios geomorfológicos, Capítulo VI. Tras las huellas del agua. En: Cortés-Duque, J. y L. M. Estupiñán-Suárez. (Eds.). 2016. Las huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Fondo Adaptación. Bogotá D. C., Colombia. 340 pp.



FICHA DE CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN

Las huellas del agua: Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales en Colombia. / editado por Jimena Cortés-Duque y Lina Estupiñán-Suárez -- Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2016.

340 p.: il., col.; 21.0 X 29.7 cm

Incluye bibliografía, ilustraciones e índices

ISBN obra digital: 978-958-8889-83-2

1. Humedales continentales 2. Humedales -- Colombia 3. Humedales -- delimitación -- metodologías 4. Gestión de humedales 5. Humedales -- guías, manuales 6. Sistemas socio ecológicos I. Cortés-Duque, Jimena II. Jaramillo-Villa, Úrsula III. Estupiñán-Suárez, Lina IV. Rojas, Sergio V. Patiño, Jorge E. VI. Acevedo, Oscar VII. Prieto-Cruz, Adriana VIII. Arias-G., Juan Carlos IX. Rudas Lleras, Agustín X. Restrepo, Diego Fernando XI. Flórez-Ayala, Carlos XII. Vilarity-Quiroga, Sandra Patricia XIII. Wilches-Chaux, Gustavo XIV. Cortés-Duque, Jimena (Ed.) XV. Estupiñán-Suárez, Lina (Ed.) XVI. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.


CDD: 333.91815 Ed. 23

Número de contribución: 540

Registro en el catálogo Humboldt: 14979

Catalogación en la publicación – Biblioteca Instituto Humboldt – Nohora Alvarado

Fotografías págs. Luis Fernando López: 16, 18, 20, 23, 47, 49, 50, 52, 69, 77, 82, 98, 101, 115, 135, 140, 147, 165, 169, 172, 175, 179, 197, 207, 213, 245, 251, 261, 295, 297, 298, 300, 301, 321, 327, 331. **María Isabel Henao:** 258. **Fernando Trujillo:** 145. **Eduardo Andrés Cadena:** 58. **Imágenes Landsat:** U.S. Geological Survey, data are distributed by the Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), located at USGS/EROS, Sioux Falls, SD. <http://lpdaac.usgs.gov>
Iconografía cortesía de: Arthur Shlai, Alexander Wiefel, Alexey Sohrin, Andrey Vasiliev, Alec Dhuse, Anuar Zhumaev, Arthur Shlain, Andrew McKinley, Alberto Alonso, Aldric Rodríguez Iborra, Anbileru adaleru, Agne Alesiute, Artworkbean, Boudewijn Mijnlief, Creative Stall, Cassie McKown, Calvin Goodman, Dilon Choudhury, Daniel Gamage, Dave Pao, Darren Barone, Designify.me, Eric Milet, Edward Boatman, Effach, Eugene Maksymchuk, Felix Westphal, Francisca, Muñoz Colina, Guilhem M, Gilbert bages, Giannis Choulakis, Hanan Awada, Hakan Yalcin, Holger Ziemann, João Proença, Juan León, John ryan sonderegger, Wayne Middleton, Yorimar Campos, Yu luck y YuguDesign. **Disponible en www.thenounproject.com**

Licencia de Creative Commons  de Atribución -sin derivar- no comercial por la que este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se pueden realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.

Esta publicación forma parte de la Colección Humboldt del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

ARTÍFICES DE LAS HUELLAS DEL AGUA

AGRADECIMIENTOS

Las editoras y los autores agradecen, por su valioso aporte para la realización de la publicación *Las Huellas del Agua*, al Fondo Adaptación por el apoyo financiero y técnico, al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al equipo técnico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Así mismo, al Centro de Investigación del Río Magdalena “Alfonso Palacio Rudas” (CIRMAG), a la Reserva Natural Cañón del Río Claro, al Consejo Científico del Instituto Alexander von Humboldt y al Comité Científico Asesor del Proyecto.

PERFILES DE EDITORES Y AUTORES

Jimena Cortés Duque¹

Bióloga con maestría en Ciencias-Biología de la Universidad Nacional de Colombia. Su línea de trabajo se ha enfocado en la gestión integral de los humedales continentales y páramos del país, gestión del riesgo como estrategia para la adaptación al cambio climático, manejo y conservación de fauna silvestre y ecología de poblaciones.

Lina M. Estupiñán Suárez¹

Bióloga de la Universidad Nacional de Colombia con maestría en Ciencias de Observación de la Tierra, Modelamiento y Manejo Ambiental de la Universidad

de Lund (Suecia) e ITC - Universidad de Twente (Países bajos). Cuenta con experiencia en el uso de herramientas satelitales para el análisis multitemporal de ecosistemas, particularmente de humedales.

Sergio Rojas¹

Geógrafo con maestría en Geomática de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con experiencia en fotogrametría digital, sensores remotos y análisis espacial aplicados a la gestión del riesgo y al monitoreo de humedales.

Jorge E. Patiño²

Ingeniero geólogo con maestría en Ciencias de la Tierra de la Universidad EAFIT y doctorado en Geodesia, Cartografía y Sistemas de Información Geográfica (SIG) de la Universidad Politécnica de Valencia (España). Cuenta con experiencia en geomorfología de complejos de humedal, análisis espacial y sensores remotos.

Oscar Javier Acevedo Amaya²

Agrólogo de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Colombia). Experto edafología, fisiografía, geomorfología e hidrología. Además, cuenta con experiencia en manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas, zonificación biofísica y ordenamiento territorial municipal.

Juan Carlos Arias García²

Biólogo con maestría en Estudios Amazónicos de la Universidad Nacional de Colombia, y candidato a doctorado en

Ciencias de la misma universidad. Cuenta con experiencia en estudios de zonificación forestal, análisis del paisaje y de vegetación e inventarios florísticos.

Diego F. Restrepo Zambrano²

Ingeniero civil de la Universidad de los Andes con maestría Erasmus Mundus en Ciencias del Agua y Gestión del Riesgo de Inundaciones del Unesco-IHE. Cuenta con experiencia en modelación hidráulica, hidrológica, sistemas de información geográfica y gestión de proyectos.

Úrsula Jaramillo Villa³

Bióloga de la Universidad de Antioquia con maestría en Ecología de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Cuenta con experiencia en gestión e investigación de ecosistemas acuáticos de agua dulce, manejo de cuencas hidrográficas y ordenamiento territorial.

Sandra Patricia Vilardy Quiroga²

Bióloga Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano con doctorado en Ecología y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma de Madrid. Docente de la Universidad del Magdalena con experiencia en sistemas socioecológicos, servicios ecosistémicos y conflictos ecológicos distributivos.

Carlos Flórez Ayala¹

Ecólogo con maestría en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja (UPTC). Cuenta con experiencia en procesamiento digital de imágenes y elaboración de modelos de datos.

Gustavo Wilches Chau²

Egresado de la Universidad del Cauca en Derecho y Ciencias Políticas y Sociales. Fue director regional del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA – Cauca). Es investigador en gestión del riesgo (prevención y manejo de desastres), cultura del agua y desarrollo sostenible.

Adriana Prieto Cruz

Bióloga con maestría en Ecología de la Universidad Nacional de Colombia y candidata a doctorado en Ciencias de la misma universidad. Investigadora en conservación de la biodiversidad del país, particularmente a través de procesos de zonificación regionales en la Amazonia y el Pacífico, entre otros.

Agustín Rudas Lleras

Biólogo con maestría en Sistemática de la Universidad Nacional de Colombia y doctorado en Ciencias de la misma universidad. Investigador en estudios de cobertura vegetal, ecosistemas tropicales y análisis del hábitat con énfasis en técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica.



1. Investigador(a) del componente de humedales del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales del Instituto Humboldt y el Fondo Adaptación.
2. Asesor(a) científico(a) del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales del Instituto Humboldt y el Fondo Adaptación.
3. Coordinadora del componente Humedales del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales del Instituto Humboldt y el Fondo Adaptación.

HUMEDALESVIVOS

LAS HUELLAS DEL AGUA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR Y
COMPRENDER EL LÍMITE DE LOS HUMEDALES DE COLOMBIA



Parte II Primeros pasos

CAPÍTULO 3
Identificación del
límite biofísico
Pág. 53

CAPÍTULO 4
Revisión de
información disponible
Pág. 80

CAPÍTULO 5
Sensores remotos: principios
y aplicaciones
Pág. 94

Parte I Preámbulo del límite

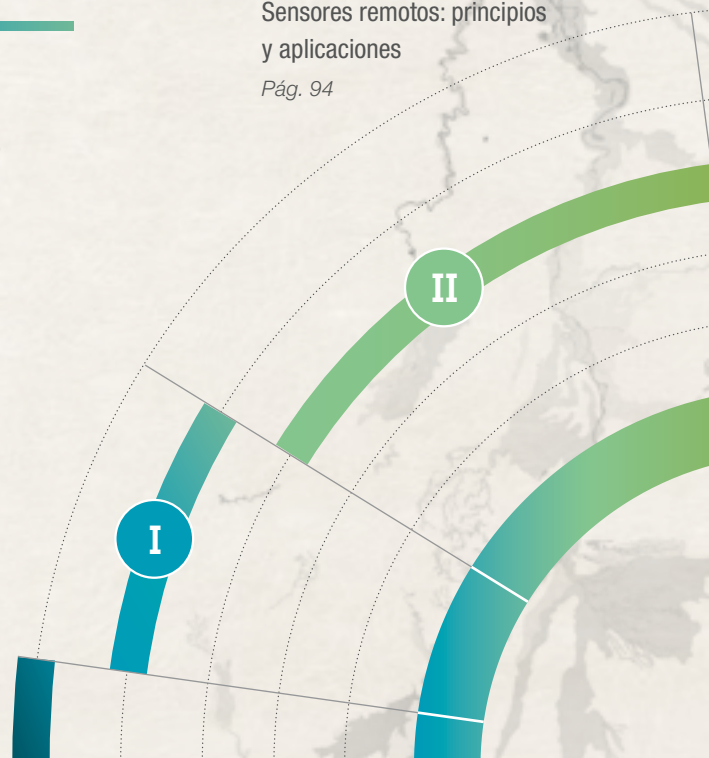
CAPÍTULO 1
Aclarar conceptos
Pág. 17

CAPÍTULO 2
Elegir prioridades
Pág. 28

Presentación
Pág. 8

Introducción
Pág. 10

Alcance
Pág. 12





Parte III

Tras las huellas del agua

CAPÍTULO 6

Delimitación de humedales a partir de criterios geomorfológicos

Pág. 141

CAPÍTULO 7

Delimitación del humedal desde una perspectiva hidrológica

Pág. 162

CAPÍTULO 8

Identificación y caracterización de suelos de humedal

Pág. 194

CAPÍTULO 9

Vegetación de humedal

Pág. 224



Parte IV

Construyendo una identidad socioecológica

CAPÍTULO 10

Metodologías para evaluar criterios sociales, económicos e institucionales

Pág. 253

CAPÍTULO 11

Gestión del riesgo, adaptación al cambio climático y humedales

Pág. 322

III

IV

PRESENTACIÓN

Los ecosistemas de humedal se muestran de manera amplia y diversa a lo largo de todo el territorio nacional. Con más de 50 tipos entre marino-costeros, interiores y artificiales, un inventario que ha superado ya los 48.000 registros y una cartografía que indica que el país podría tener hasta un 26% de su territorio con condiciones asociadas al humedal, Colombia se suma al desafío de gestionar estos socioecosistemas de manera diferencial e integral. Para ello, requiere urgentemente avanzar en su conocimiento y puntualizar herramientas metodológicas prácticas que permitan una toma de decisiones informada y argumentada.

La identificación y gestión diferencial de los humedales del país, como ruta sugerida para abordar su manejo y garantizar su conservación en balance con la multiplicidad de dinámicas sociales presentes en el país, requiere entenderlos como sistemas socioecológicos. Cada uno de los pasos de la ruta de gestión, desde el inventario, la priorización, la clasificación

o la delimitación, se presentan como procesos complejos, multidimensionales y de alta incertidumbre que requerirán herramientas prácticas y eficaces para la gestión integral del territorio.

Las huellas del agua recoge diferentes herramientas que permiten entender el funcionamiento y las relaciones socioecológicas de los humedales. Como pro-

puesta metodológica, permite abordar tanto los criterios físico-bióticos como los criterios sociales, económicos e institucionales para identificar el ámbito físico de los humedales y para comprender las dinámicas sociales que existen alrededor de ellos.

A partir de la definición de humedal adoptada por Colombia en el marco de la Convención Ramsar, desde el Instituto Humboldt, con la participación de IDEAM, IGAC, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la academia, hemos construido una definición operativa que entiende a los humedales como *“ecosistemas que, debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas, presentan acumulación de agua (temporal o permanentemente), dando lugar a un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones, estableciendo así dinámicas acopladas e interactuantes con flujos económicos y socioculturales que operan alrededor y a distintas escalas”*. Así, en *Las huellas del agua* es posible encontrar una orientación clara para reconocer elementos hidrológicos, geomorfológicos, edafológicos y de vegetación que dan cuenta de la presencia de un humedal. Además, esta obra permite analizar el rol de las instituciones y de la sociedad civil en el funcionamiento mismo del humedal, así como los servicios ecosistémicos de los cuales depende el bienestar de las comunidades allí presentes.

Esta publicación, producto del Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación

y el Instituto Humboldt, se presenta entonces como un complemento concreto y práctico a la aproximación conceptual ya expresada en los principios y criterios para la identificación con fines de delimitación de los humedales. Ambos componentes aportan al fortalecimiento de la resiliencia y de la adaptación al cambio y la variabilidad climática en Colombia, como parte de la estrategia para mejorar la gestión del riesgo en el país.

Carlos E. Sarmiento Pinzón

Coordinador

Proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales.
Instituto Humboldt - Fondo Adaptación

INTRODUCCIÓN

Los humedales son vitales para la sobrevivencia humana (Ramsar 2015); por lo tanto, su conservación, manejo y uso sostenible requieren de una visión integral que garantice su sostenibilidad, teniendo en cuenta criterios ecológicos, sociales, culturales y ambientales (Política Nacional de Humedales 2002).

Estos ecosistemas hacen parte de las áreas más ricas en biodiversidad, por lo que proporcionan multiplicidad de hábitats para especies animales y vegetales, y a su vez ofrecen una variada gama de servicios ecosistémicos como la filtración de desechos, provisión de agua dulce y regulación del clima, entre otros que benefician a la sociedad (MEA 2007 y ten Brink *et al.* 2012).

La degradación y pérdida de los humedales está asociada de manera directa con los cambios en el uso del suelo, la introducción de especies invasoras, el aumento y desarrollo de infraestructuras y la contaminación; los principales generadores de cambio indirectos incluyen, entre otros, la expansión urbana y el creciente desarrollo económico (MEA 2005). Los motores de transformación que afectan directamente a estos ecosistemas estratégicos en el país siguen la tendencia mundial. Por esta razón no solo se requiere el reconocimiento del valor de los humedales y del agua, sino también su integración en la toma de decisiones como elemento esencial para

garantizar el futuro social, económico y la satisfacción de las necesidades ambientales a partir del uso racional de estos ecosistemas (ten Brink *et al.* 2012).

Colombia cuenta con 30.781.149 de hectáreas de humedales (Flórez-Ayala *et al.* 2015) y más de 88 tipos diferentes entre humedales marino-costeros, interiores y artificiales que hacen de Colombia un país de agua (Ricaurte *et al.* 2015), en el que las comunidades continúan mostrando estrechos vínculos con estos ecosistemas a través de múltiples expresiones culturales (Cortés-Duque 2015).

El Instituto Humboldt, en el marco del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales en asociación con el Fondo Adaptación (Convenio 13-014, FA 005 de 2013), ha realizado un proceso reflexivo sobre el recorrido de la gestión de los humedales en Colombia y ha precisado, a través de la construcción colectiva entre diferentes sectores, las implicaciones positivas de entender, conocer y conser-

var estos ecosistemas, de tal manera que el país pueda contar con las herramientas necesarias para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático.

En el marco de este análisis nacional y para entender la importancia de los humedales como sistemas socioecológicos, en los que se reconoce al ser humano y su cultura como parte integral de la biodiversidad (Política Nacional de Humedales 2002; Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos -PNGIBSE- 2012-2020), el Instituto Humboldt ha generado importantes adelantos sobre el conocimiento de humedales, que han permitido integrar elementos clave en las políticas, planes y programas actuales como el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 (DNP) para direccionar medidas de adaptación bajo las perspectivas nacionales de cambio climático (DNP 2014) y los compromisos de acción nacional para la conservación y el uso racional de los humedales, establecidos con la Convención de Humedales de Importancia Internacional Ramsar.

A partir de propuestas conceptuales como la de Vilarly *et al.* (2014) sobre los principios y criterios necesarios a tener en cuenta para la identificación del límite funcional de los humedales continentales en el país, se reconoce la necesidad de complementar la información con una orientación metodológica que facilite la identificación del límite funcional del humedal en un contexto local y real; así mismo, que permita identificar aspectos de la estructura social relacionados con el humedal de estudio para comprender sus interrelaciones con las dimensiones biofísicas y tener una idea de las implicaciones del proceso de delimitación sobre el sistema social.

Así, las consideraciones metodológicas particulares hacen más preciso el análisis de la información existente y recopilada en campo y permiten enfocar los esfuerzos institucionales en este sentido para lograr una gestión integral y diferenciada de los humedales del país. Estos ecosistemas deben ser reconocidos como elementos esenciales en procesos de ordenación del territorio y de planificación del desarro-

llo económico (Política Nacional de Humedales 2002).

Las huellas del agua tiene como objetivo ofrecer a los tomadores de decisiones y a los gestores, herramientas metodológicas rigurosas y accesibles para el desarrollo de estudios interdisciplinarios que permiten identificar y entender el límite funcional de los humedales continentales del país y facilitan el análisis de las implicaciones del límite físico en diferentes contextos y realidades sociales con el fin de apuntar hacia una gestión integral de los mismos.

La identificación del límite funcional parte del reconocimiento de características biofísicas asociadas a geomorfología, hidrología, suelos y vegetación, aspectos particulares y diferenciadores que indican la presencia de un área de humedal. Una vez identificada el área, en el marco de un análisis integrador estas mismas características permiten sugerir el límite funcional del área evaluada. Para cada criterio biofísico, esta propuesta metodológica incluye una orientación para la planeación y revisión de información secundaria disponible (fase inicial), métodos para verificación, actualización y complementación de la información secundaria (fase de campo) y métodos para hacer ajuste y corrección de la información disponible (fase de análisis).

En cuanto al entendimiento de las dinámicas que se dan entre las interrelaciones sociales y las dimensiones biofísicas, así como para la comprensión integral del humedal como socioecosistema, esta publicación incluye métodos de investigación social para la gestión de humedales, que permiten tener en cuenta los análisis social, económico e institucional como elementos complementarios para dar un alcance a las implicaciones de un proceso de delimitación biofísica del humedal y orientar la toma de decisiones.

Es importante resaltar que el desarrollo y fortalecimiento de capacidades técnicas e institucionales y la priorización de esfuerzos de gestión en cada una de las entidades encargadas de llevar a cabo el proceso de delimitación son elementos esenciales para lograr un análisis integrador de todas las fases del proceso aquí planteadas.

ALCANCE

Esta propuesta parte de abordar a los humedales como sistemas socioecológicos y a la delimitación como un proceso complejo, multidimensional y de alta incertidumbre que hace parte de la gestión integral de estos ecosistemas. *Las huellas del agua* presenta un conjunto de pasos robustos para desarrollar metodológicamente cada uno de los criterios físico-bióticos que permiten la definición del límite funcional de humedales continentales, y para reconocer las implicaciones que surgen a partir de la toma de decisiones asociada a este proceso (Vilardy *et al.* 2014). Tener claridad acerca del funcionamiento y las relaciones socioecológicas de este ecosistema permite llevar a cabo una gestión diferencial real de los humedales que se evalúan.

Así mismo, se incluyen aspectos conceptuales importantes para la implementación metodológica que se propone y algunos ejemplos particulares sobre ciertos tipos de humedal que necesitan mayor especificidad en sus métodos. Dada la diversidad de humedales continentales existentes en

el país, es imposible ampliar el nivel de detalle para cada uno de ellos, por lo que se considera que el diálogo técnico, científico y local debe ser parte esencial en las fases de análisis, de integración, de toma de decisiones y en la elaboración de las recomendaciones de gestión sobre el humedal

evaluado. La estructuración de metodologías aplicables a las características particulares que exige cada caso requiere siempre de estudios muy detallados.

De esta manera, la publicación define su alcance en la medida en que haya disponibilidad de información sobre aspectos físicos relacionados con condiciones que den cuenta de la presencia de humedales, así como de aspectos sociales y culturales, todo esto teniendo como base la integración del juicio especializado en el proceso. Desde las instituciones de orden ambiental que implementen las metodologías sugeridas en esta publicación, se espera además un desarrollo y fortalecimiento de capacidades institucionales que respalden la implementación del proceso y su finalidad, así como una priorización de esfuerzos de gestión que dé la relevancia a los humedales como nodos ecosistémicos estratégicos para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Así, las capacidades técnicas, financieras e institucionales pueden ampliar la posibilidad de aplicar los métodos sugeridos en los diferentes humedales evaluados.

Las etapas metodológicas que se incluyen para cada criterio físico permiten tener la información suficiente para seguir el protocolo de identificación y posterior establecimiento del límite funcional (Figura A.1). Vale la pena aclarar que los ecosistemas son continuos y no presentan límites abruptos. Sin embargo, con el fin de gestionar las áreas de humedal se propone este acercamiento para identificar el límite de este ecosistema.

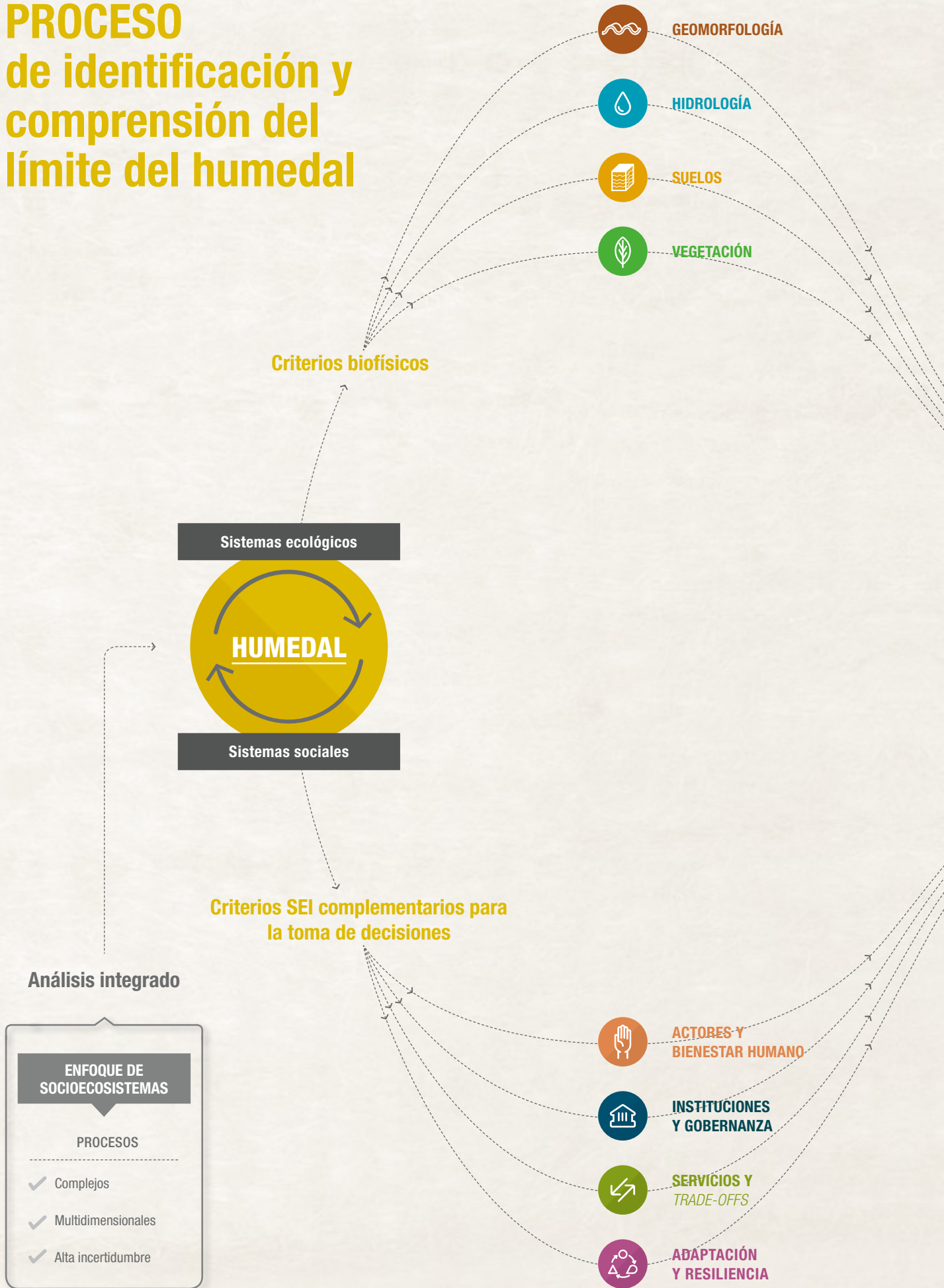
En el proceso de levantamiento de información para la delimitación de humedales es fácil perder el rumbo e invertir recursos en aspectos que no aportan directamente a este. Los estudios que se realizan para cada componente biofísico deben tener objetivos claros, dirigidos a identificar el límite funcional. Así, se hace un llamado a entender que en muchos casos, cuando se realizan estudios muy específicos, estos no necesariamente aportan a la localización del límite ni permiten entender la funcionalidad ecosistémica del humedal (Vilardy *et al.* 2014). De ahí, que el enfoque de esta propuesta metodológica vaya dirigido a temáticas que permiten identificar áreas donde hay humedales y establecer su límite y sus implicaciones en la gestión del ecosistema; y no pretende mostrar pautas metodológicas para una caracterización detallada y exhaustiva de los componentes físicos, bióticos y sociales de los entornos locales directos e indirectos de la zona de estudio. Se reconoce, en todo caso, que la información levantada en campo puede ser útil para otros procesos o viceversa.

Editoras

Las huellas del agua



PROCESO de identificación y comprensión del límite del humedal



1 FASE INICIAL: planeación y revisión
Planeación y revisión conjunta de todos los criterios biofísicos

2 FASE DE CAMPO: ejecución y validación
Desarrollo independiente de cada criterio biofísico

3 FASE DE ANÁLISIS: corrección y ajuste
Análisis conjunto de todos los criterios biofísicos



CONSIDERACIONES E IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN DIFERENCIAL DEL HUMEDAL

Comprensión integral del humedal

1

1 FASE DE CAMPO

2 FASE DE ANÁLISIS: escalonado

Reconoce

- Aspectos de la estructura social
- Dinámicas de las interrelaciones con las dimensiones biofísicas



Figura A. 1. Proceso lógico para identificación y comprensión del límite físico de humedales continentales de Colombia.



PARTE I

PREÁMBULO DEL LÍMITE

CAPÍTULO 1

Aclarar conceptos

Jimena Cortés Duque

1.1. RUTA DE GESTIÓN DE LOS HUMEDALES

Las propuestas de cómo orientar la gestión de los humedales continentales de Colombia han sido abordadas desde el ejercicio mismo de desarrollo de cada uno de sus pasos (Figura 1.1), que de manera conjunta sugieren una gestión adaptativa y diferencial para estos ecosistemas.

Para comprender claramente la ruta de gestión de los humedales (Figura 1.1), es necesario entender cómo se deben llevar a cabo cada uno de sus pasos y las implicaciones de su implementación a nivel local, regional y nacional. En el caso de la identificación de los humedales del país, su priorización y clasificación, se han tenido avances importantes a partir de los resultados obtenidos por el Instituto Humboldt bajo la orientación de Ramsar y en colaboración con diferentes instituciones académicas y pertenecientes al SINA (Sistema Nacional Ambiental). Así, debe ser clara la manera en la que se articula o enlaza cada paso para lograr una acertada toma de decisiones y un accionar sobre el territorio mucho más ordenado. En este proceso de articulación también es necesario armonizar los marcos normativos existentes, como por ejemplo la Resolución 196 de 2006, para enfrentar la gestión de los humedales.

El inventario de los humedales continentales del país, como paso complementario al proceso de identificación, ha tenido un proceso de avance en el que las corporaciones autónomas regionales del país, así como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, han jugado un papel fundamental para obtener información puntual de las áreas de humedal a diferentes escalas (Figura 1.1).

En cuanto a la identificación de los humedales continentales del país, el Instituto Humboldt ha avanzado significativamente con el mapa de áreas de humedal a escala 1:100.000 como referente único y más actualizado a nivel nacional. La prio-



A. Madrevieja y meandro, Paz de Ariporo, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.



RUTA DE GESTIÓN de los humedales

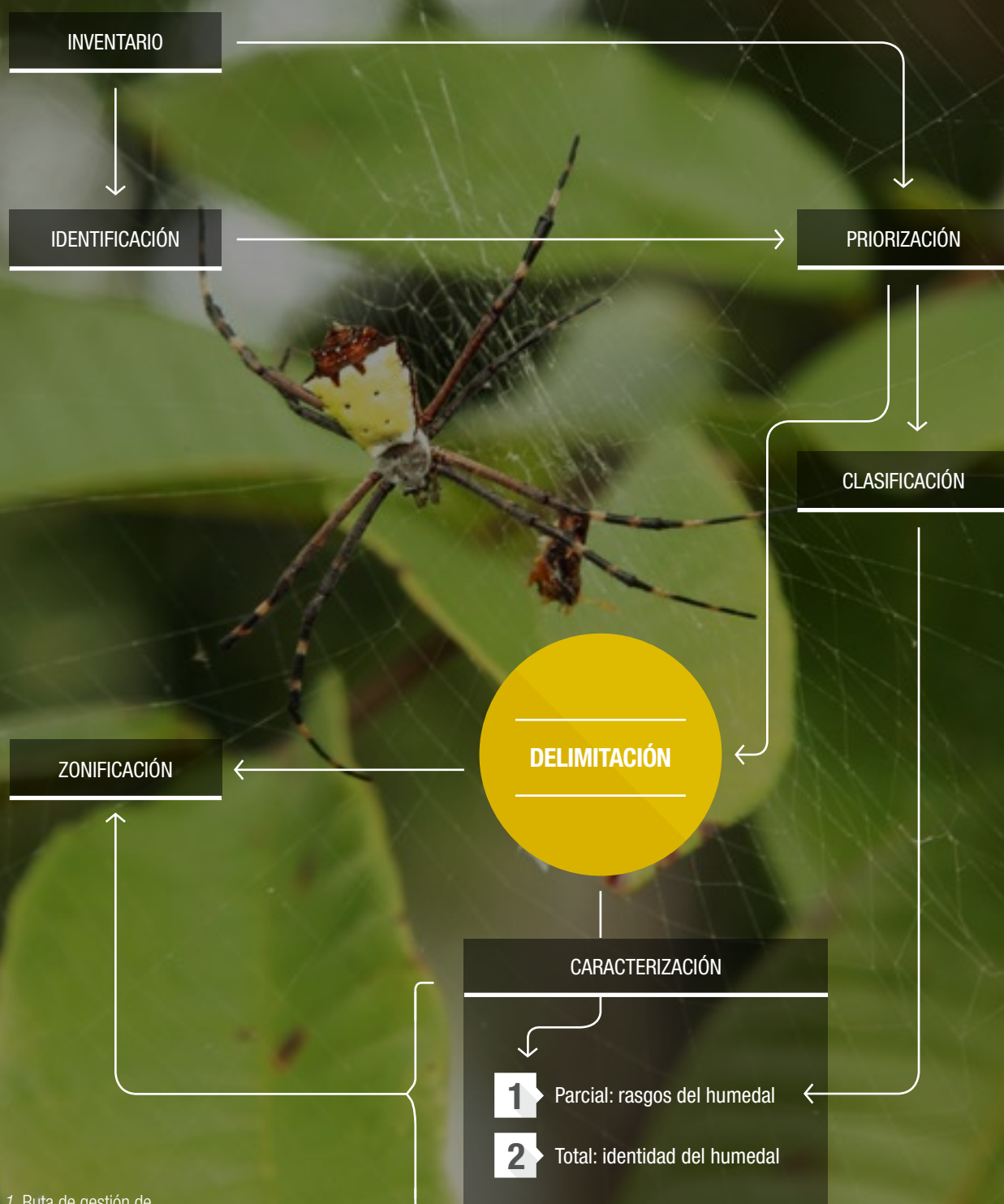


Figura 1.1. Ruta de gestión de los humedales continentales de Colombia.

rización, tal y como se presenta en *Las huellas del agua*, busca dar pautas para saber cuáles son los criterios más importantes o más relevantes para elegir por donde comenzar a implementar los pasos de la ruta de gestión de estos ecosistemas, sin que esta priorización sugiera que la gestión será solamente en ciertas áreas identificadas como humedal.

Así mismo, la clasificación y todos los pasos hasta la delimitación han sido fortalecidos y ampliados por el Instituto Humboldt, lo que en conjunto significa un avance importante para el conocimiento de los humedales continentales del país y una suma de elementos valiosos para fortalecer y complementar futuros procesos de zonificación.

Es así como se sugiere un esquema de toma de decisiones (Figura 1.2) para la gestión de los humedales continentales del país, que permite disminuir la incertidumbre de la decisión a la vez que logra aumentar el alcance de la misma a través de la sumatoria continua de información e implementación de los criterios biofísicos y criterios sociales, económicos e institucionales complementarios para la toma de decisiones (que de ahora en adelante

denominaremos SEI). En este sentido, al lograr una implementación aditiva de criterios que irá de acuerdo con el presupuesto, la priorización de planes de gobierno o la recopilación de información ya lograda, la toma de decisiones será más informada; su alcance, más estratégico y organizado; y las implicaciones de la misma, mucho más enfocadas a contextos sociales reales a todas las escalas (Figura 1.2).

Como parte de un adecuado manejo y gestión de las áreas de humedal que han sido degradadas, se motiva a implementar iniciativas de Restauración Ecológica (ER por sus siglas en inglés) (WRI 2014), que requieren de amplio conocimiento técnico para promover la salud del ecosistema y la sucesión ecológica (Murcia *et al.* 2015), así como para reducir el nivel de incertidumbre al elegir el conjunto de acciones que combinadas permiten recuperar la estructura y función del humedal (MEA 2005). Como no es objeto de esta publicación, se sugiere entonces remitirse a fuentes especializadas que permitan evaluar el grado de recuperación del ecosistema y de los servicios críticos que presta para posteriormente tener mejor precisión en el ejercicio de establecimiento del límite.



B. Bosque inundable, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.



INCERTIDUMBRE y alcance en la toma de decisiones

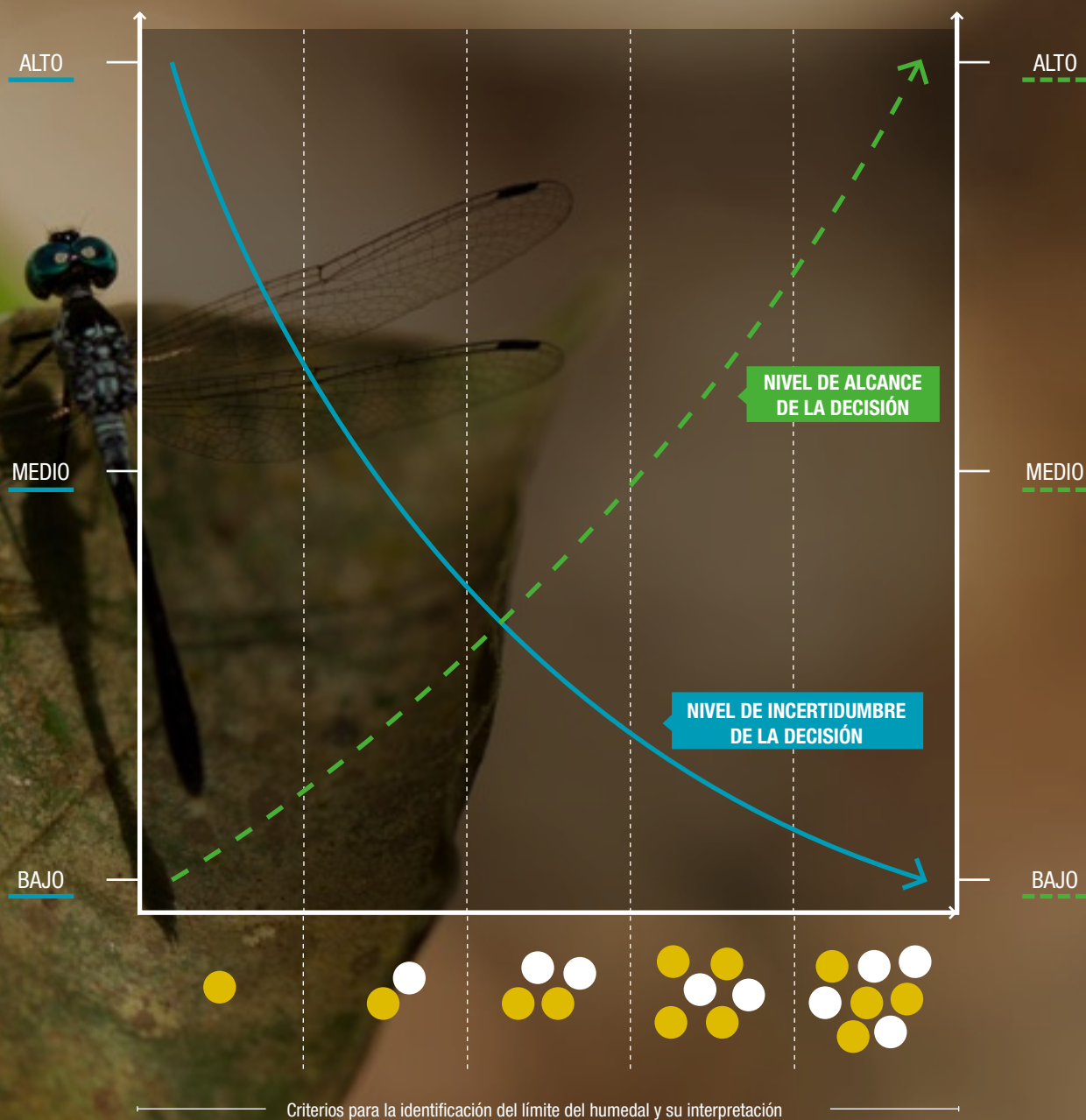


Figura 1.2. Esquema de toma de decisiones para la gestión de los humedales continentales de Colombia, basado en la implementación aditiva de criterios biofísicos y SEI complementarios.

- Criterios SEI complementarios para la toma de decisiones
- Criterios biofísicos para el establecimiento del límite

1.2. DEFINICIÓN DE HUMEDAL

El ecosistema de humedal ha sido definido desde diferentes ópticas teniendo en cuenta el enfoque de estudio y de gestión que se esté desarrollando. La definición ha buscado incluir la diversidad existente de tipos de estos ecosistemas a nivel mundial. Así, los humedales tienen una definición ecosistémica por naturaleza, una definición formal para su gestión global (Convención Ramsar), una definición para su gestión nacional en Colombia (definición normativa, adoptada por la Ley 357 de 1997 y la Resolución 157 de 2004) y diferentes definiciones operativas que se dinamizan de acuerdo con el escenario de acción pero que no abandonan las garantías de conservación de este ecosistema.

En la norma colombiana la Política Nacional de Humedales (2002) da un enfoque conceptual sobre la definición adoptada para estos ecosistemas y resalta que existen más de cincuenta definiciones (Dugan 1992); sin embargo, a través del Ministerio de Ambiente ha adoptado la definición de la Convención Ramsar, la cual establece: “...son humedales aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Fide Scott y Carbonell 1986).

En varios instrumentos normativos se mencionan diferentes aspectos que acompañan la definición de humedal y su interpretación: Artículo Primero de la Resolución 157 de 2004, en el cual se amplía el ámbito de aplicación de la definición; Artículo Segundo de la Resolución 157 de 2004, que habla de la naturaleza jurídica; Artículo Octavo de la Resolución 157 de 2004, que menciona temas relacionados con su delimitación; y Anexo 1A de la Resolución 0196 de 2006, que aborda la clasificación de estos ecosistemas.

En esta publicación se planteó una definición operativa adaptada de la definición formal que permite entender más



detalladamente los elementos ecosistémicos y funcionales del humedal (Vilardy *et al.* 2014). Esta definición fue aplicada para la generación del mapa de humedales de Colombia (Flórez *et al.* 2015) y del sistema de clasificación de humedales del país (Ricaurte *et al.* 2016), y para el establecimiento de los principios y criterios para la delimitación de humedales continentales de Colombia (Vilardy *et al.* 2014).

Para efectos de la aplicabilidad de esta publicación, la definición de Vilardy *et al.* (2014) debe ser asumida en sinergia con las dinámicas sociales que direccionan la visión del humedal como un sistema socioecológico. Así, la definición de humedal sugerida en esta publicación y modificada de Vilardy *et al.* (2014) es: tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua (temporal o permanentemente), da lugar a un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones, y que establece dinámicas acopladas e interactuantes con flujos económicos y socioculturales que operan alrededor y a distintas escalas.



C. Garza, ciénaga de Lórica, Córdoba.
Foto: María Isabel Henao.

PARTE I

Preámbulo del límite



- D. Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.



1.3. FUNCIONALIDAD DEL HUMEDAL

De acuerdo con el marco conceptual de Ecosistemas del Milenio (EM - 2005), la funcionalidad de un humedal está expresada en la capacidad que tiene para la prestación de servicios. EM busca destacar el enfoque dado por la Convención Ramsar hacia el uso racional de los humedales y el bienestar humano partiendo del mantenimiento de las características ecológicas de estos ecosistemas.

Con base en la definición del término “características ecológicas” establecida por la Convención Ramsar (COP7 1999 en Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010.), EM sugiere una actualización del mismo en la que se haga referencia a la “combinación de los componentes, procesos y servicios que caracterizan a este ecosistema en un momento dado en el tiempo”, lo que de manera importante plantea utilizar el término “servicios” en reemplazo de “productos, funciones y propiedades” (MEA 2005). Este marco de referencia también da una nueva mirada a la definición de los componentes biológicos, físicos y químicos de los ecosistemas (antes “propiedades” y “caracte-

rísticas”) y a los procesos (antes llamados “interacciones”), lo cual permite tener en cuenta múltiples escalas, relaciones e interacciones entre los humedales y el bienestar humano.

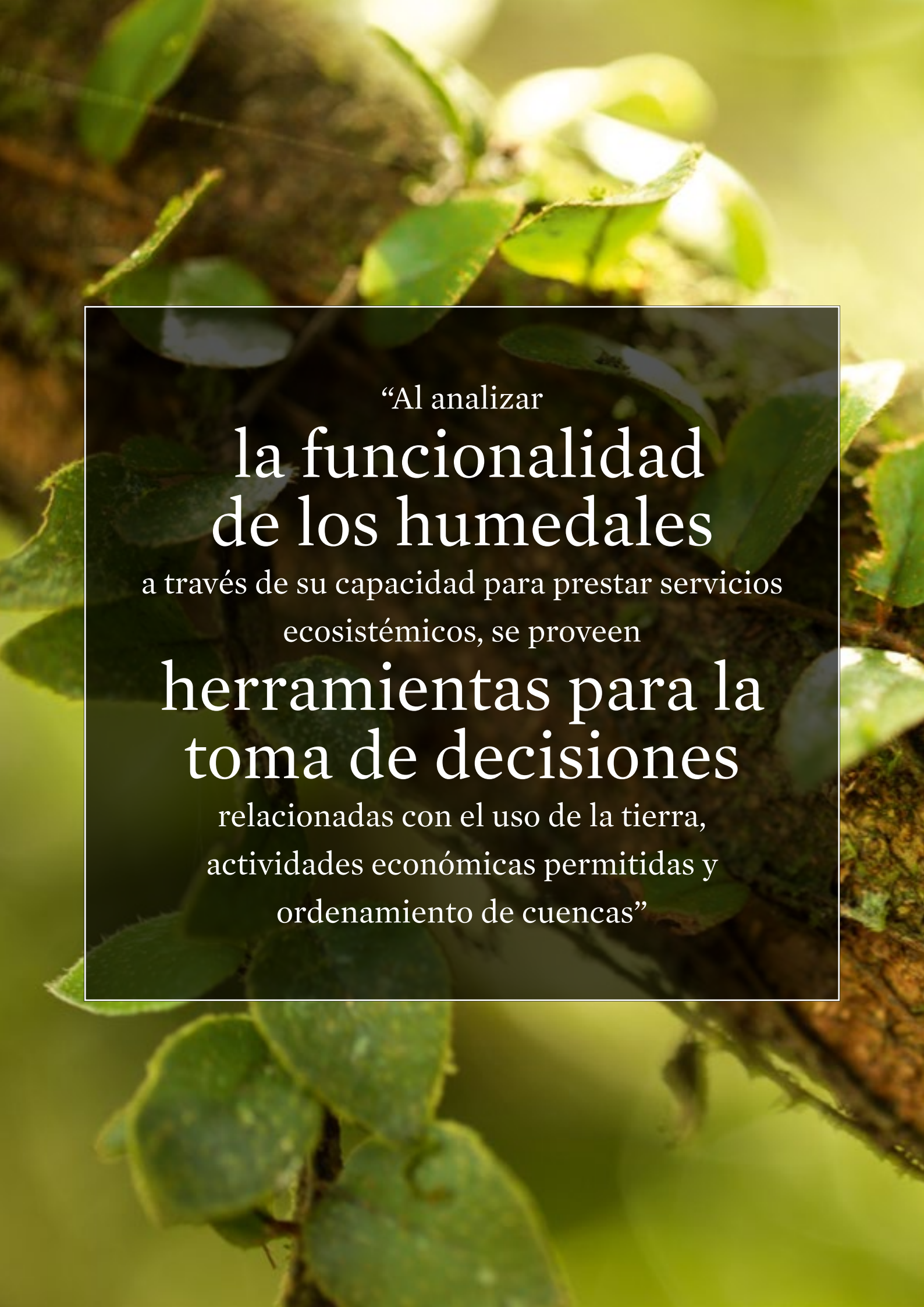
Así, la funcionalidad de un humedal depende del tamaño, tipo, condición y posición del humedal dentro de la cuenca (Maltby y Ormerod 2015 y Novitzki *et al.* 1996), y tiene en cuenta implícitamente todas aquellas actividades y acciones que ocurren allí naturalmente a partir de las interacciones entre la estructura de este ecosistema (geomorfología, suelos e hidrología) y los procesos que ocurren naturalmente en el mismo (Maltby *et al.* 1996). Las condiciones mínimas que garantizan su funcionamiento dependen del área de presencia del humedal o de condiciones de variabilidad (natural o antropogénica), y son medibles de manera directa a través de parámetros físico-bióticos e indirectamente a través de su beneficio en la sociedad (Servicios Ecosistémicos, SE).

La conservación del funcionamiento y la estructura del humedal, determinada a su vez por la biodiversidad y el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales como el ciclo del agua, los ciclos de nutrientes o la producción primaria del humedal, permite mantener la integridad



BUCHÓN DE AGUA

Planta acuática-flotante cuyas raíces absorben metales pesados, pesticidas y desechos tóxicos del agua.
Foto: Luis Fernando López.



“Al analizar
la funcionalidad
de los humedales
a través de su capacidad para prestar servicios
ecosistémicos, se proveen
herramientas para la
toma de decisiones
relacionadas con el uso de la tierra,
actividades económicas permitidas y
ordenamiento de cuencas”



ecológica del mismo (Junta de Andalucía 2004). Es así como el componente ecológico interactúa con el social por medio del flujo de servicios que ofrece el humedal y que contribuyen a satisfacer las necesidades humanas y a generar bienestar (Vilardy *et al.* 2014).

De manera positiva, al analizar la funcionalidad de los humedales a través de su capacidad para prestar servicios se proveen herramientas para la toma de decisiones relacionadas con el uso de la tierra, actividades económicas permitidas y ordenamiento de cuencas. A su vez, también permite identificar los niveles de impacto que alteran el funcionamiento y dar indicaciones para la estabilidad del ecosistema como los niveles de tolerancia y resistencia al cambio (Maltby *et al.* 1994 y Maltby *et al.* 1996).

1.4. VARIABILIDAD EN LOS HUMEDALES: NATURAL Y ANTROPOGÉNICA

Los humedales presentan condiciones físicas y bióticas de tipo hidrológico, geomorfológico, edafológico y de vegetación que nos dan indicios de la presencia o no de humedales. Por sus características ecológicas, tienen dinámicas que dependen del pulso y la frecuencia de inundación, lo cual permite establecer de manera general si los humedales son estacionales o permanentes. En condiciones naturales algunas de estas características asociadas tienen una variación normal que se puede desarrollar en grandes períodos de tiempo (determinados por condiciones geomorfológicas) y en



E. Amazonas.

Foto: María Isabel Henao.

F. Bahía de Cispatá, Córdoba.

Foto: María Isabel Henao.

G. Fauna asociada a las playas, Sanquianga, Nariño.

Foto: Luis Fernando López.

períodos relativamente cortos (determinados por las condiciones hidrológicas), siempre dentro de un proceso de adaptación natural del ecosistema a la presencia de estos cambios (“resiliencia del ecosistema”) (Liu *et al.* 2007).

En la actualidad también se presentan escenarios de variabilidad antropogénica que desafortunadamente son cada vez más frecuentes (Moreno-Mateos *et al.* 2012) y de mayor alcance, que han generado cambios en las características propias del humedal y por lo tanto dificultan la capacidad de interpretación, sobre todo de las variables edafológicas, hidrológicas y de vegetación, primordiales para definir la presencia de áreas de humedal.

Es recomendable que, previamente a la aplicación de las metodologías sugeridas en esta publicación, se analice el grado de transformación de la unidad de evaluación o humedal a estudiar para así poder determinar las características que han sido mayormente alteradas. Esto permite definir ajustes metodológicos en la fase de revisión y planeación, y desarrollarlos con mayor precisión en la fase de ejecución y validación.

1.5. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales, dentro de los que se incluyen los embalses, los canales (para el transporte), los arrozales, los jagüeyes o las construcciones de ingeniería (de flujo superficial y subsuperficial), están dentro de la clasificación global de humedales establecida por Ramsar (Artículo 1.1 de la Convención).

Dado que en este tipo de humedales los límites físicos son establecidos de manera artificial, las metodologías relacionadas con los aspectos biofísicos que se presentan en esta publicación no aplican. En todo caso es relevante comprender y analizar las dinámicas sociales alrededor del humedal, por lo que se sugiere que sean considerados todos aquellos métodos que permitan interpretar y definir de manera clara todas las interrelaciones que se dan entre las comunidades y el humedal, en este caso artificial. Solamente cuando se comprende la importancia de los actores, su bienestar o cómo funcionan y median para la gobernanza cada una de las instituciones presentes e incidentes en el humedal, se logra dinamizar y entender de manera estratégica la convivencia con el mismo.





Adamus, P. R. y L. T. Stockwell. 1983. Critical review and evaluation concepts, v. 1 of Method for wetland functional assessment. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report no. FHWA-IP-82-23. Washington, D. C. 176 p.

Adamus, P. R., E. J. Clairain, R. D. Smith y R. E. Young. 1987. Wetland Evaluation Technique (WET), v. 2 of Methodology. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Operational Draft Technical Report. Vicksburg, MISS. 206 p. + appendixes.

Clement, B. y E. Maltby. 1996. Plant diversity and ecological variables in moist and wet grasslands of riverine wetlands 143 (4-5).

Cortés-Duque, J., A. Villegas Rivera, L. Mosquera, C. Flórez-Ayala y U. Jaramillo Villa. 2015. Los usos anfibios. Humedales y gente. En: Jaramillo, U., J. Cortés-Duque y C. Flórez (eds.). Colombia Anfibia. Un país de humedales. Volumen 1. Instituto de Investigación de Recursos

Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 p.

DNP. 2015. Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018, todos por un nuevo país. Bogotá D. C.

Flórez-Ayala, C., L. Estupiñán-Suárez, S. Rojas, C. Aponte, M. Quiñones Acevedo, S. P. Vilardy y U. Jaramillo-Villa. 2015. Colombia y su naturaleza anfibia. El entramado anfibio. En: Jaramillo, U., J. Cortés-Duque y C. Flórez (eds.). Colombia Anfibia. Un país de humedales. Volumen I. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 p.

Fretwell, J. D., J. S. Williams y P. J. Redman (comp.). 1996. National water summary on wetland resources. United States Geological Water Supply Paper 2425. Washington D. C.

Maltby, E. (ed.). (2009). Functional assessment of wetlands: towards evaluation of ecosystem services. Elsevier.

Maltby, E. y S. Ormerod. 2015. Freshwaters - Openwaters, wetlands and floodplains. Chapter 9. UK National Ecosystem Assessment: Technical Report, p. 360.

Maltby, E., D. V. Hogan, C. P. Immirzi, J. H. Tellam y M. J. van der Peul. 1994. Building a new approach to the investigation and assessment of wetland ecosystem functioning. En: Mitsch, W. J. (cd). Global Wetlands: Old World and New. Elsevier. Amsterdam, pp. 637-658.

Maltby, E., D. V. Hogan y R. J. McInnes (eds.). 1996. Functional analysis of European wetland ecosystems Phase 1 (FAEWE). The function of river marginal wetland ecosystems Improving the science base for the development of procedures of functional analysis. Final report.

Millenium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis. World Resources Institute. Washington D. C.

Millenium Ecosystem Assessment (MEA). 2007. A Toolkit for understanding and action, protecting nature's services. Protecting Ourselves. Island Press. 23 p.

Moreno-Mateos, D., M. E. Power, F. A. Comin y R. Yockteng. 2012. Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PloS. Biol.*10, e1001247.

Murcia, C., M. R. Guariguata, A. Andrade, G. I. Andrade, J. Aronson, E. M. Escobar, A. Etter, F. H. Moreno, W. Ramírez y E. Montes. 2015. Challenges and prospects for scaling-up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. *Conservation Letters*. doi: 10.1111/conl.12199.

Novitzki, R. P. 1994. EMAP-Wetlands-A program for assessing wetland condition. En: Mitsch, W. J. (ed.). *Global wetlands-Old World and New*. Elsevier Science Publishers. New York, pp. 691-709.

Novitzki, R. P., B. H. Rosen, L. S. McAllister, T. L. Ernst, B. E. Huntley y K. Dwire. 1994. EMAP-Wetlands-Research strategy for the assessment of wetland condition. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory. Corvallis, OR. 149 p.

Novitzki, R. P., R. D. Smith y J. D. Fretwell. 1996. Wetland functions, values, and assessment. En: Fretwell, J. D., J. S. Williams y P. J. Redman (comps.). *National water summary on wetland resources*. United States Geological Water Supply Paper 2425. Washington D. C.

Ramsar Secretariat. 2015. The importance of wetlands. Disponible en: <http://www.ramsar.org/about/the-importance-of-wetlands>

Ricaurte, L. F., J. E. Patiño, J. C. Arias-G., O. Acevedo, D. Restrepo, U. Jaramillo-Villa, C. Flórez-Ayala, L. Estupiñán-Suárez et al. 2015. La pluralidad del agua, tipos de humedales de Colombia - Sistema de clasificación de humedales. En: Jaramillo, U., J. Cortés-Duque y C. Flórez (eds.). 2015. *Colombia Anfibia. Un país de humedales*. Volumen 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 p.

Ricaurte, L. F., J. E. Patiño, D., Restrepo, J. C. Arias-G. y O. Acevedo. 2016. Sistema de clasificación de humedales de Colombia. Informe técnico. Convenio interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Fondo Adaptación.

Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010. Uso racional de los humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). 64 p.

Ten Brink, P., T. Badura, A. Farmer y D. Russi. 2012. The economics of ecosystem and biodiversity for water and wetlands. A Briefing Note.

Vilardy, S., U. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, O. Acevedo, W. Samacá, A. Santo, S. Peláez y C. Aponte. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales. Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 86 p.

World Resources Institute (WRI). (2014). Initiative 20×20. Disponible en: <http://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20>. Recuperado el 2 de diciembre de 2015.

CAPÍTULO 2

Elegir prioridades

Úrsula Jaramillo Villa

2.1. ¿QUÉ ES UN EJERCICIO DE PRIORIZACIÓN DE HUMEDALES?

La priorización es un ejercicio que le permite a cada corporación autónoma regional determinar en cuáles humedales de la jurisdicción se concentrará la implementación de estrategias para la gestión de estos ecosistemas, durante un período de planeación determinado. Entre las acciones a desarrollar en este campo están: la formulación de planes de

manejo, la implementación de estrategias de gestión y conservación planteadas en el plan de manejo, estudios para responder a preguntas puntuales o a cualquier otra que haya sido identificada por la autoridad ambiental.

El ejercicio que se propone en esta publicación es realizar una priorización integral con enfoque socioecosistémico, lo que permite valorar diferentes dimensiones del humedal, teniendo en cuenta sus características físicas, biológicas, socioeconómicas y culturales, los motores de cambio que inciden sobre el mismo y la prestación de servicios ecosistémicos. Este análisis se denomina análisis multicriterio porque allí se evalúan una serie de indicadores que abordan aspectos importantes del humedal. Dicha valoración se hace semicuantitativamente, pues no necesita contar con datos cuantitativos explícitamente medidos, sino que pueden extraerse de información existente y convertirse en categorías que permiten dar una valoración en rangos. Este proceso da como resultado una clasificación relativa de la prioridad de los humedales para su intervención.

La metodología expuesta es una aproximación simple y rápida que puede ser el primer paso para sistematizar las decisiones de gestión de los humedales en un





B

territorio durante determinado período de tiempo: por ejemplo, un cuatrienio de gobierno o un plan quinquenal. Esta propuesta puede ser fácilmente elaborada por los funcionarios de la corporación sin necesidad de contar con especialistas en temas específicos.

2.2. ¿POR QUÉ Y PARA QUÉ SIRVE PRIORIZAR?

En el momento de desarrollar acciones puntuales a escala local en un humedal o en un complejo de humedales es recomendable realizar un ejercicio de priorización que permita definir en cuáles de estos ecosistemas se iniciarán las acciones de gestión.

Realizar un ejercicio de priorización es estratégico pues permite:

- + Planear de manera sistemática las acciones de inversión en los humedales para no perder el rumbo en los objetivos trazados.
- + Optimizar los esfuerzos y los recursos financieros y humanos, pues normalmente son limitados.
- + Ser coherente con las necesidades de la región y diseñar un plan de acción



C

que cubra todas las situaciones que se presentan en la jurisdicción.

- + Trabajar en áreas que requieren particular interés en la jurisdicción de competencia.
- + Dejar memoria de las decisiones institucionales para su entendimiento a largo plazo.

2.3. PASOS PARA REALIZAR UN EJERCICIO DE PRIORIZACIÓN DE HUMEDALES

Para la priorización se deben seguir cuatro pasos consecutivos, que permiten seleccionar los sitios de una manera integral. En la figura 2.1 se observa la secuencia y la descripción de cada uno de ellos.



- A. Chigüiros en la sabana inundable de la Orinoquia, Casanare.
Foto: Eduardo Cadena.
- B. Tortuga teracay (*Podocnemis unifilis*), Hato Corozal, Casanare.
Foto: Eduardo Cadena.
- C. La Corota, Laguna de la Cocha, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

PRIORIZACIÓN de humedales



1

LISTADO HUMEDALES

Se sugiere basar el análisis en el inventario nacional de humedales o en el listado de complejos de humedales existentes para la jurisdicción



2

VALORACIÓN MULTICRITERIO

Asignación cualitativa de valores para 42 indicadores agrupados en las categorías:

- a. Importancia biológica
- b. Importancia geofísica
- c. Servicios ecosistémicos
- d. Motores de cambio
- e. Indicadores territoriales



Figura 2.1. Pasos para la priorización de humedales



3

REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y MAPEO DE LOS RESULTADOS

Localización de los humedales evaluados en un mapa con categorías de color que indican rangos según el resultado obtenido en la valoración multicriterio



4

SELECCIÓN DE HUMEDALES PRIORIZADOS

Selección de humedales prioritizados para la jurisdicción según la tabla de valoración multicriterio y el mapa



LISTA DE HUMEDALES PRIORIZADOS

PARTE I

Preámbulo del límite



2.3.1. LISTADO DE HUMEDALES: ELABORACIÓN

El listado inicial puede incluir todos los humedales o complejos de humedales que estén inventariados para la jurisdicción de la corporación autónoma regional o para el territorio en el cual se espera priorizar.

En el caso de que no se cuente con dicha información, la lista se puede tomar de los insumos existentes para el país como el Inventario Nacional de Humedales elaborado por el Instituto Humboldt, el Ministerio de Ambiente, el Invemar y las CAR (Jaramillo *et al.* 2015), el *Diccionario Geográfico de Colombia* (IGAC 2015) o el inventario de humedales elaborado por la Contraloría General de la República (Contraloría General de la República 2011). Finalmente, el compilado debe insertarse en una hoja de Excel®, en la primera fila del archivo, tal como se muestra en la tabla 2.1.



D. Pescador de la Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.

E. Igapó, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



2.3.2. VALORACIÓN MULTICRITERIO DE LA IMPORTANCIA SOCIOECOSISTÉMICA DE CADA HUMEDAL

Este ejercicio se hace a partir del inventario explicado anteriormente, a través de un sistema de valoración multicriterio que permite priorizar los humedales de una manera objetiva y sistematizada. La valoración se basa en una lista de 42 indicadores, agrupados en cinco categorías (Figura 2.2) que resaltan la importancia ecosistémica y la socioeconómica, cultural y política del humedal valorado:

1. Importancia ecosistémica: incluye la importancia biológica y la geofísica (hidrológica).
2. Importancia socioeconómica, cultural y política: que incluye importancia para prestación de servicios ecosistémicos, importancia por presencia de motores de cambio e importancia por indicadores territoriales relevantes.



VALORACIÓN semicuantitativa de humedales





Presencia de áreas con **características geomorfológicas** particulares



Presencia de áreas con **características edafológicas** particulares



Extensión del espejo de agua



Extensión del ecosistema de humedal (espejo de agua + área marginal)



Humedal asociado a un **complejo**



**IMPORTANCIA
ECOSISTÉMICA**

CATEGORÍAS



Figura 2.2. Indicadores (iconos grises) para la valoración semicuantitativa de humedales. Modificado de MADS (2013).



Importancia como **área buffer** para regular inundaciones



Suministro de agua para riego o consumo doméstico



Importancia como **zona de nacimiento** de corrientes de agua



Importancia para **recarga de acuíferos**



Dependencia de la población para **actividades productivas** tradicionales



Presencia de suelos particularmente fértiles



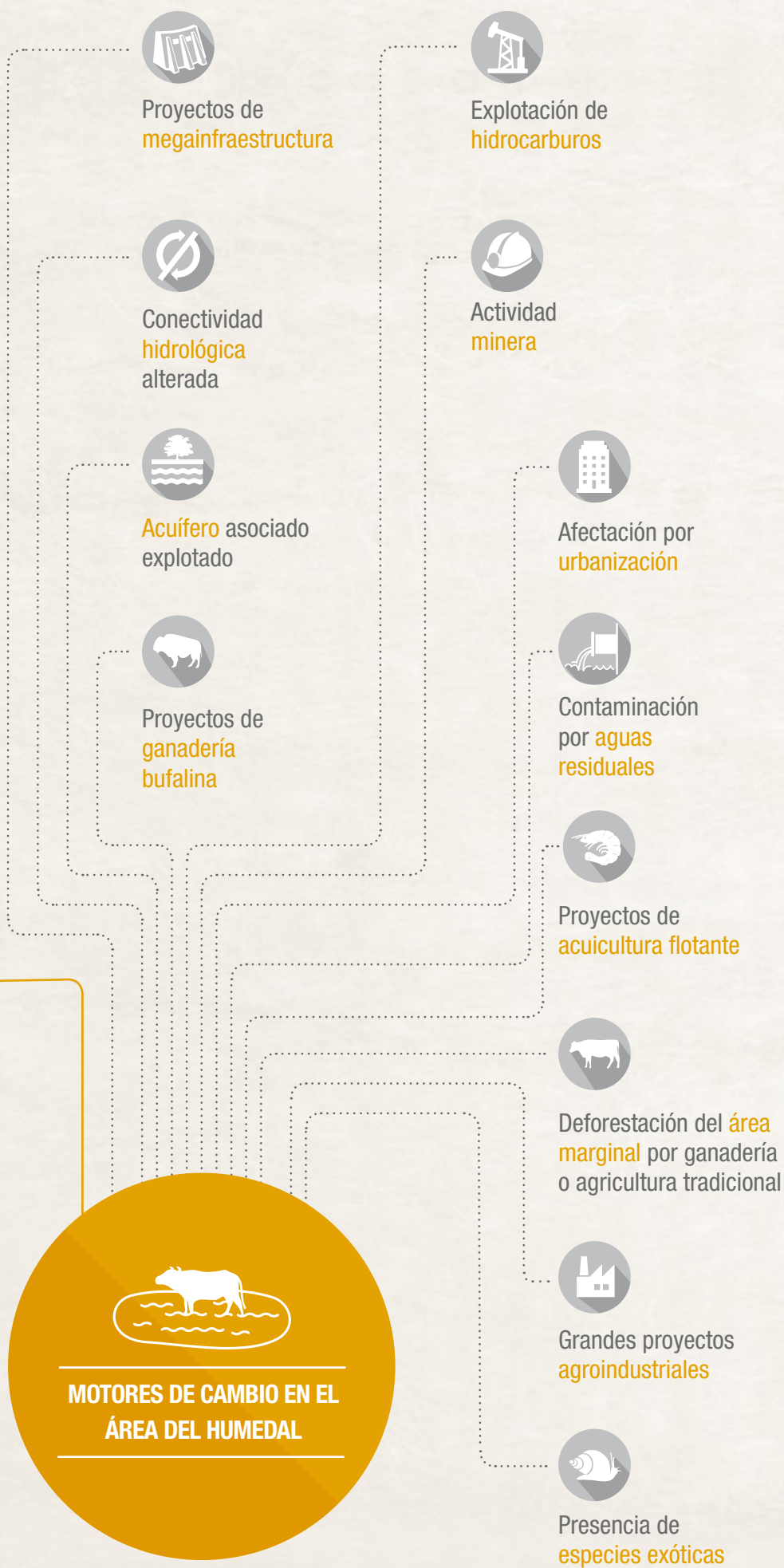
Presencia de **actividades turísticas** en el área del humedal



Patrimonio cultural en el área de humedal

IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA, CULTURAL Y POLÍTICA





CATEGORÍAS



! Figura 2.2. Indicadores (iconos grises) para la valoración semicuantitativa de humedales. Modificado de MADS (2013).

**INDICADORES TERRITORIALES
EN EL ÁREA DEL HUMEDAL**



**Población
asentada** en el
área del humedal



Porcentaje de población en
condiciones de pobreza



Presencia de
territorios colectivos



Porcentaje (%) del
área subregional de la
corporación cubierta
por ecosistemas de
humedal



Área de cada
subregión de la
corporación cubierta
por ecosistemas de
humedal en hectáreas



Número de municipios en
jurisdicción del humedal



Pertenece a
algún tipo de
área protegida



Presencia de área
Ramsar



Localización en **área urbana**

CATEGORÍAS



**IMPORTANCIA
SOCIOECONÓMICA,
CULTURAL Y
POLÍTICA**



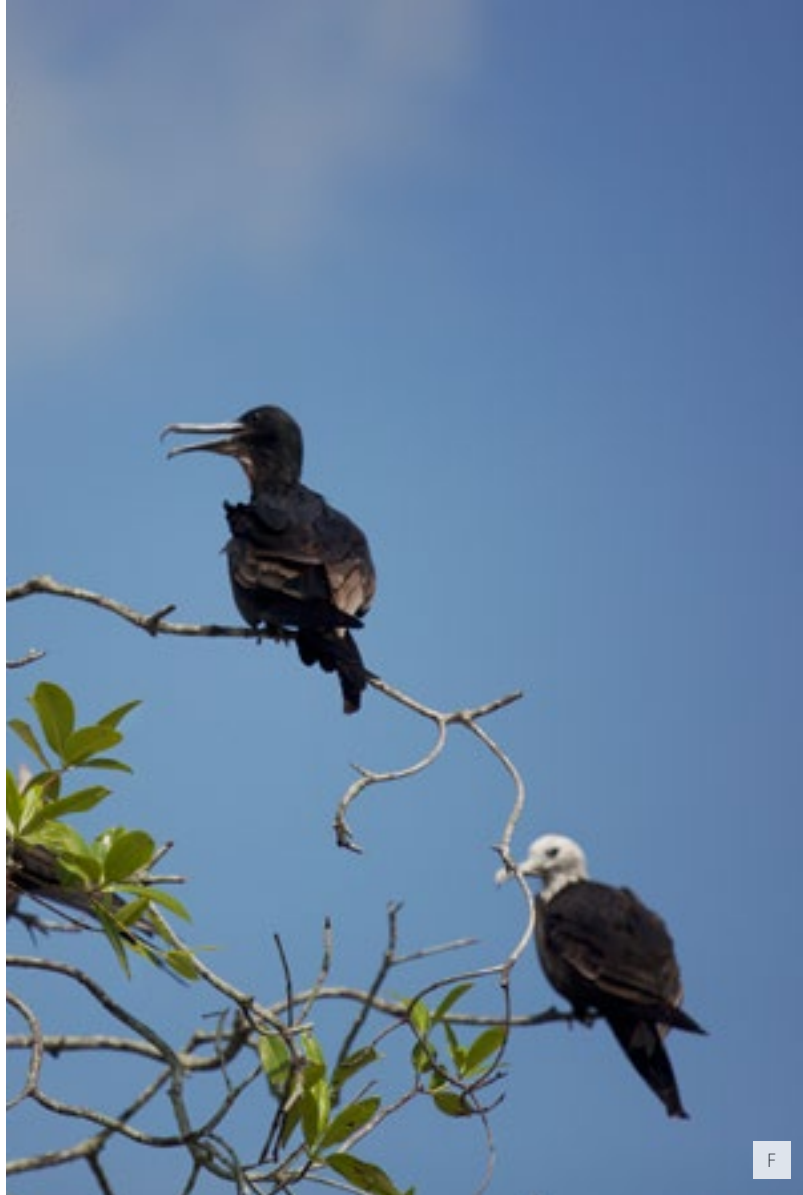
Figura 2.2. Indicadores (iconos grises) para la valoración semicuantitativa de humedales. Modificado de MADS (2013).

Esta lista incluye indicadores generales que se pueden aplicar en cualquier lugar del país. Si bien deben asumirse como un lineamiento base para la priorización, es fundamental que cada corporación autónoma regional la ajuste de acuerdo con las particularidades ecosistémicas de los humedales de su jurisdicción.

En este sentido, lo que se sugiere en dicho ajuste es eliminar los indicadores que no apliquen para la jurisdicción, incluir indicadores nuevos, asignar la valoración positiva o negativa a determinado indicador y ajustar los valores numéricos de los rangos de los parámetros para que correspondan con las características de los humedales de la jurisdicción. También se puede incluir la posibilidad de ponderación de los indicadores y las categorías, según los objetivos o metas priorizadas por la corporación. Algunos ejemplos de cómo deben ajustarse los indicadores se describen en la figura 2.3.

Un asunto de particular importancia es la falta de información sobre un tema o indicador específico. En este caso puede eliminarse para que la valoración se base solo en información existente. Sin embargo, también se puede dejar y llenar el cuadro con la palabra “NO INFO” (Tabla 2.1). De esta manera la respuesta no suma puntos al humedal pero permite identificar vacíos de información temática y espacial.

El listado de indicadores ajustados a la realidad del territorio debe insertarse en la primera columna de la tabla de Excel® donde se incluye el inventario de humedales (Tabla 2.1); el nombre de cada humedal se indica en la fila superior; las categorías de importancia, en la primera columna; y los indicadores, en la segunda columna. Para realizar la valoración semicuantitativa de cada uno de ellos, en la tercera y cuarta columna están los parámetros o rangos sugeridos. Se deben asignar valores que varían entre 1 y 3, siendo 1 el de menor y 3 el de mayor importancia en los casos en los que hay tres parámetros o rangos por indicador. En los casos en los que hay dos parámetros o rangos (Sí o No), se asigna el valor de 0 cuando el parámetro corresponde a “No”, y el valor de 3 a “Sí” (Tabla 2.1).



Finalmente, se suman los valores de cada columna y se obtiene un total para cada humedal o complejo de humedal analizado, y uno para cada indicador y categoría analizada. Estos puntajes facilitan la selección de los humedales para priorizar las acciones de la autoridad ambiental y las temáticas poco estudiadas.

Esta valoración se constituye como una hoja de ruta objetiva para las acciones de la autoridad ambiental, y puede analizarse de manera dinámica puesto que no necesariamente en los humedales con valores más altos se implementan acciones inmediatas. A su vez, también tiene en cuenta aquellos en los que se identifican mayor valor ecosistémico, mayor prestación de servicios y mayor impacto, o los menos estudiados. A partir de ahí se seleccionan los más relevantes para las coyunturas de gestión más demandantes en cada momento.



F. Aves acuáticas, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

¿CÓMO AJUSTAR los indicadores?

1

ELIMINACIÓN DE INDICADORES QUE NO APLIQUEN PARA LA JURISDICCIÓN



Ejemplo de indicador

- Humedales en categoría Ramsar > Se elimina cuando no existen este tipo de humedales en la jurisdicción.
- Pertenencia del humedal a un complejo > Se elimina cuando en la zona no es común la presencia de complejos de humedal o cuando se prefiere abordar los complejos individualmente.
- Falta de información sobre un tema específico > Se eliminan los indicadores sobre los cuales no existe información en la jurisdicción.

2

INCLUSIÓN DE INDICADORES DE IMPORTANCIA ADICIONALES PARA LA JURISDICCIÓN

Ejemplo de indicador

- Presencia de humedales kársticos : Se deben incluir indicadores relevantes para la jurisdicción, que no aparecen en el listado sugerido en este documento.
- Presencia de cultivos de papa en el área del humedal :



Figura 2.3. Ajuste de la tabla de indicadores según la realidad de cada una de las corporaciones autónomas regionales.



3

AJUSTE DE LAS VALORACIONES PARA CADA INDICADOR

Ejemplo de indicador

Tamaño de los humedales

La asignación de una puntuación mayor de acuerdo al tamaño del humedal puede ser útil en jurisdicciones donde existe una amplia variación, desde grandes complejos de tierras bajas hasta pequeños humedales de alta montaña.

4

AJUSTE DE LOS RANGOS UTILIZADOS EN LOS PARÁMETROS DE CADA INDICADOR SEGÚN LA REALIDAD DE LA JURISDICCIÓN

Ejemplo de indicador

Tamaño de los humedales

Porcentaje de la jurisdicción en área de humedal

En la columna de parámetro debe ajustarse el valor de acuerdo al tamaño mínimo y máximo de humedal que se encuentre en la jurisdicción.

5

PONDERACIÓN DE CATEGORÍAS E INDICADORES

Ejemplo de categorías

Para la corporación autónoma regional son más importantes los resultados obtenidos en la categoría Motores de cambio que los de Importancia biológica, ya que aunque sus humedales tienen una alta relevancia ecosistémica se observa una afectación específica que los está transformando significativamente.

➤ Para este fin, la categoría Motores de cambio tendrá una importancia relativa de 30%, y la de Importancia biológica, una del 10%. Las demás categorías tendrán una valoración total de 20%.



Tabla 2.1. Tabla con ejemplos para valoración semicuantitativa de tres humedales hipotéticos.

		ALTITUD M S.N.M.		▶	1000-1500	2400-2535	20	250-350	
		ÁMBITO		▶	INTERIOR	INTERIOR	COSTERO	INTERIOR	
VALOR DEL HUMEDAL	CATEGORÍA	INDICADORES	VALORACIÓN		HUMEDAL 1 Bien conservado-muy conocido	HUMEDAL 2 Bien conservado-poco conocido	HUMEDAL 3 Alterado-muy conocido	HUMEDAL 4 Alterado-poco conocido	
			PARÁMETRO O RANGO	VALOR					
Importancia ecosistémica	Importancia biológica del humedal	Presencia de especies endémicas	Sí	3	3	3	3		
			No	0				0	
		Presencia de especies en alguna categoría de amenaza	Crítica	3	3			3	
				2		NO EXISTE INFORMACIÓN			2
			Vulnerable	1					
		Hábitat de aves migratorias	Sí	3	3		NO EXISTE INFORMACIÓN	3	NO EXISTE INFORMACIÓN
			No	0					
		Hábitat de peces migratorios	Sí	3	3		NO EXISTE INFORMACIÓN	NO EXISTE INFORMACIÓN	NO EXISTE INFORMACIÓN
			No	0					
		Presencia de asociaciones vegetales raras o únicas	Sí	3	3		NO EXISTE INFORMACIÓN		
			No	0				0	
		Procesos de ciclaje de nutrientes importantes para la cuenca	Impotencia para el macrohábitat	3	3				
			Impotencia para el mesohábitat	2			NO EXISTE INFORMACIÓN	2	NO EXISTE INFORMACIÓN
			Impotencia para el microhábitat	1					
		Grado de conservación de la integridad biológica	Alto	3	3		3		
			Medio	2					
			Bajo	1				1	1
		Ecosistema raro o único en la jurisdicción	Sí	3	3		3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN
			No	0					



Continuación Tabla 2.1.

		ALTITUD M S.N.M.		▶	1000-1500	2400-2535	20	250-350		
		ÁMBITO		▶	INTERIOR	INTERIOR	COSTERO	INTERIOR		
VALOR DEL HUMEDAL	CATEGORÍA	INDICADORES	VALORACIÓN		HUMEDAL 1 Bien conservado-muy conocido	HUMEDAL 2 Bien conservado-poco conocido	HUMEDAL 3 Alterado-muy conocido	HUMEDAL 4 Alterado-poco conocido		
			PARÁMETRO O RANGO	VALOR						
Importancia ecosistémica	Importancia geofísica del humedal	Presencia de áreas con características geomorfológicas particulares	Sí	3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN	3	NO EXISTE INFORMACIÓN		
			No	0						
		Presencia de áreas con características edafológicas particulares	Sí	3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN	3	NO EXISTE INFORMACIÓN		
			No	0						
		Extensión del espejo de agua	> a 300.000 ha	3	3	3		NO EXISTE INFORMACIÓN		
			Entre 100.000 y 300.000 ha	2			2			
			< a 100.000 ha	1						
		Extensión del ecosistema de humedal (espejo de agua + área marginal)	> a 500.000 ha	3	3	3		NO EXISTE INFORMACIÓN		
			entre 100.000 y 500.000 ha	2			2			
			< a 100.000 ha	1						
		Humedal asociado a un complejo	Sí	3	3	3		3		
				0				0		
		Total importancia ecosistémica					39	18	25	6
		Importancia socioeconómica, cultural y política	Servicios ecosistémicos prestados por el humedal	Importancia como zona <i>buffer</i> para regulación de inundaciones	Alto	3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN		NO EXISTE INFORMACIÓN
Medio	2					2				
Bajo	1									
Importancia como zona de nacimiento de corrientes de agua	Alto			3	3	3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN		
	Medio			2						
	Bajo			1						
Suministro de agua del humedal para riego o consumo doméstico (abastecimiento)	> 60% de la población depende del agua			3				3	3	
	Entre 20 y 60% de la población depende del agua			2						
	< 20% de la población depende del agua			1	1	1				



Continuación Tabla 2.1.

		ALTITUD M S.N.M.		▶	1000-1500	2400-2535	20	250-350		
		ÁMBITO		▶	INTERIOR	INTERIOR	COSTERO	INTERIOR		
VALOR DEL HUMEDAL	CATEGORÍA	INDICADORES	VALORACIÓN		HUMEDAL 1 Bien conservado-muy conocido	HUMEDAL 2 Bien conservado-poco conocido	HUMEDAL 3 Alterado-muy conocido	HUMEDAL 4 Alterado-poco conocido		
			PARÁMETRO O RANGO	VALOR						
Importancia socioeconómica, cultural y política	Servicios ecosistémicos prestados por el humedal	Importancia para recarga de acuíferos	Sí	3	3	NO EXISTE INFORMACIÓN	3	NO EXISTE INFORMACIÓN		
			No	0						
		Dependencia de la población local de las actividades productivas tradicionales (pesca, agricultura)	Sí	3			3	3		
			No	0	0	0				
		Presencia de suelos particularmente fértiles	Sí	3			NO EXISTE INFORMACIÓN	3	NO EXISTE INFORMACIÓN	
			No	0	0					
		Presencia de actividades turísticas en el área del humedal	Sí	3				3	3	
			No	0	0	0				
		Patrimonio cultural del humedal (importancia arqueológica, sitios sagrados, etc.)	Sí	3			3			
			No	0	0	0		0	0	
		Total servicios ecosistémicos prestados					10	7	20	9
		Importancia socioeconómica, cultural y política	Motores de cambio en el área del humedal	Conectividad hidrológica alterada	Sí	3			3	3
					No	0	0	0		
				Acuífero asociado explotado	Sobreexplotado	3			NO EXISTE INFORMACIÓN	2
Explotado	2									
No explotado	1				0					
Proyectos de megainfraestructura	En desarrollo			3				3	3	
	Propuestos			2						
	Ausencia			1	0	0				
Explotación de hidrocarburos	En desarrollo			3				3	3	
	Propuestos			2						
	Ausencia			1	0	0				




Continuación Tabla 2.1.

		ALTITUD M S.N.M.		▶	1000-1500	2400-2535	20	250-350		
		ÁMBITO		▶	INTERIOR	INTERIOR	COSTERO	INTERIOR		
VALOR DEL HUMEDAL	CATEGORÍA	INDICADORES	VALORACIÓN		HUMEDAL 1 Bien conservado-muy conocido	HUMEDAL 2 Bien conservado-poco conocido	HUMEDAL 3 Alterado-muy conocido	HUMEDAL 4 Alterado-poco conocido		
			PARÁMETRO O RANGO	VALOR						
Importancia socioeconómica, cultural y política	Motores de cambio en el área del humedal	Actividad minera (actual o licencias solicitadas)	En desarrollo	3			3	3		
			Propuestos	2						
			Ausencia	1	0	0				
		Afectación por urbanización	Sí	3			3	3		
			No	0	0	0				
		Contaminación por aguas residuales	Alta	3			3	3		
			Media	2						
			Ausente	1	0	0				
		Proyectos de acuicultura flotante	Sí	3			3	3		
			No	0	0	0				
		Proyectos de ganadería bufalina	En desarrollo	3			3	3		
			Propuestos	2						
			Ausencia	1	0	0	0			
		Deforestación del área marginal por ganadería o agricultura	Sí	3			3	3		
			No	0	0	0				
		Grandes proyectos agroindustriales	En desarrollo	3			3	3		
			Propuestos	2						
			Ausencia	1	0	0				
		Presencia de especies exóticas	Sí	3			3	3		
			No	0	0	0				
		Total motores de cambio					0	0	35	33



Continuación Tabla 2.1.

		ALTITUD M S.N.M.	▶	1000-1500	2400-2535	20	250-350		
		ÁMBITO	▶	INTERIOR	INTERIOR	COSTERO	INTERIOR		
VALOR DEL HUMEDAL	CATEGORÍA	INDICADORES	VALORACIÓN		HUMEDAL 1 Bien conservado-muy conocido	HUMEDAL 2 Bien conservado-poco conocido	HUMEDAL 3 Alterado-muy conocido	HUMEDAL 4 Alterado-poco conocido	
			PARÁMETRO O RANGO	VALOR					
Importancia socioeconómica, cultural y política	Indicadores territoriales	Porcentaje del área subregional de la corporación cubierta por humedales	Más de 20%	3	3			3	
			Entre 10 y 20%	2		3	3		
			Menos de 10%	1					
		Área (ha) de cada subregión de la corporación cubierta por humedales	Más de 20.000 ha	3	3				3
			Entre 10.000 y 20.000 ha	2		3	3		
			Menos de 10.000 ha	1					
		Número de municipios en jurisdicción del humedal	Más de 10	3					
			Entre 5 y 10	2					2
			Menos de 5	1	0	0	0		
		Población asentada en el área del humedal	Más de 60%	3					3
			Entre 30 y 60%	2					
			Menos de 30%	1	0	0			
		Población en condiciones de pobreza	Más de 60%	3				3	
			Entre 30 y 60%	2					2
			Menos de 30%	1	0	0			
		Presencia de territorios colectivos	Sí	3		3	3		
			No	0	0				0
		Pertenece a algún tipo de área protegida	Sí	3	3	3	3		
			No	0					0
		Presencia de área Ramsar	Sí	3	3				
			No	0		0	0	0	0
		Localización en área urbana	Sí	3				3	
			No	0	0	0	0		3
		Total indicadores municipales-territoriales					12	12	18
TOTAL					61	37	98	64	
NO EXISTE INFORMACIÓN					0	11	1	13	

A photograph of a wetland with tall reeds and water. The reeds are in the foreground and middle ground, with their reflections visible in the water. The background is dark and out of focus.

“La selección final de
los humedales
a priorizar debe basarse en los resultados
obtenidos en la valoración
**multicriterio y su
respectivo mapeo”**

PARTE I

Preámbulo del límite



G. Madreveja del río Cauca,
Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.



2.3.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y MAPEO DE LOS RESULTADOS DE LA VALORACIÓN MULTICRITERIO

Con los resultados obtenidos en la valoración multicriterio se realiza una representación gráfica y espacial que facilita la toma de decisiones. Los valores pueden presentarse en gráficas como la de la figura 2.4.

Es fundamental elaborar un mapeo de los humedales evaluados, pues esta aproximación facilita que la selección final refleje la diversidad ecosistémica de la jurisdicción, incluyendo aquí representatividad de divisiones de la jurisdicción, límites municipales, rangos de altitud, subzonas hidrográficas y tipos de humedal, y en general elementos que permiten identificar características regionales, geológicas, ecológicas y ambientales (Figura 2.5).

Adicionalmente, posterior a la valoración multicriterio, se pueden realizar ejercicios más complejos de mapeo para la priorización, pero estos requieren de personal experto en SIG con mayor dedicación y experticia en este tema. Estos ejercicios pueden incluir superposición de capas con coberturas vegetales, inventarios de fauna y flora, capas de hidrología, suelos y áreas protegidas, entre otros. Para complementar la información también pueden

consultarse los manuales de Environmental Protection Agency EPA (Miller y Golet 2001; Lev 2013) y Fish and Wildlife Service USA (Smith 2008 y Lang 2012).

2.3.4. SELECCIÓN DE HUMEDALES

La selección final de los humedales para priorizar acciones como formulación de planes de manejo o implementación de los mismos debe basarse en los resultados obtenidos en la valoración multicriterio y su respectivo mapeo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en esta última fase son determinantes factores adicionales de carácter político, administrativo, logístico y operativo, fundamentales para la ejecución de cualquier acción en los humedales. Entre estos factores está la disponibilidad de recursos económicos y de personal, orden público y estado de emergencia en alguna de las zonas de la jurisdicción.

Finalmente, el ejercicio de priorización puede ayudar a concretar los objetivos de gestión de la autoridad ambiental. El foco de gestión puede estar centrado en humedales con un importante valor ecosistémico, en humedales alterados o en humedales prestadores de importantes servicios ecosistémicos. Con los resultados obtenidos en la priorización será fácil concretar esas decisiones.



CANALETE

Remo de pala ancha elaborado de madera compacta proveniente de un árbol de su mismo nombre.
Foto: Luis Fernando López.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA de los resultados

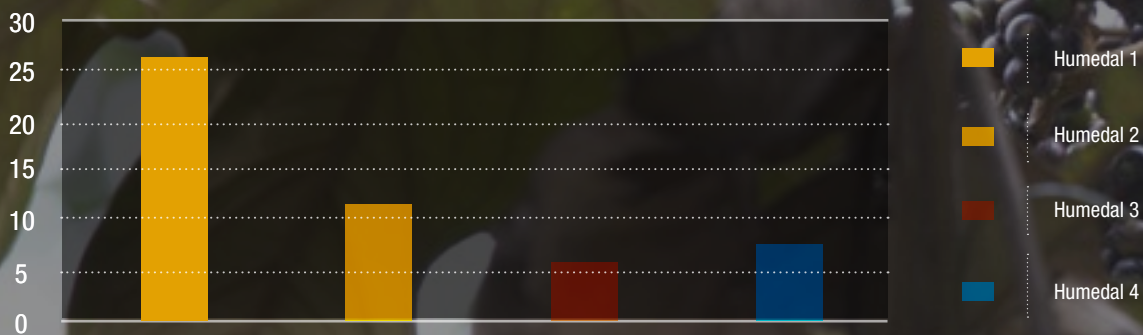
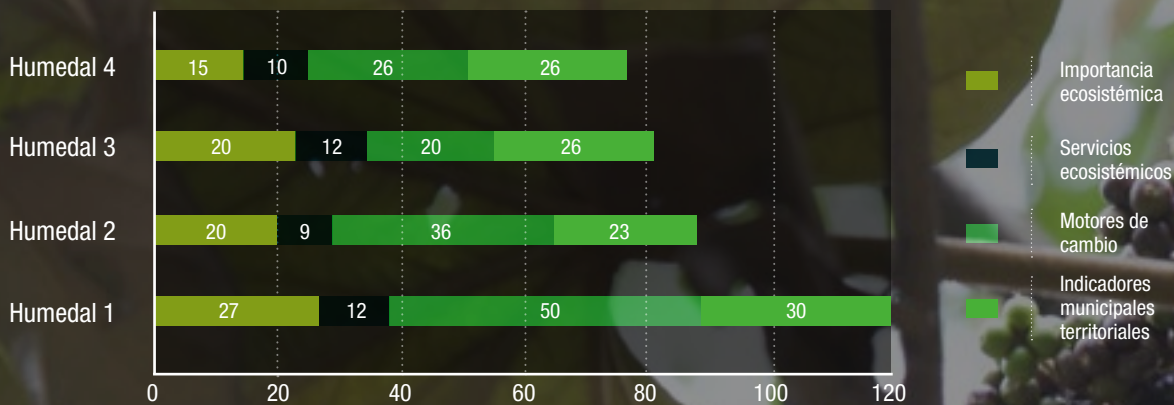


Figura 2.4. Modelos de representación gráfica de los resultados obtenidos.

MAPEO de humedales evaluados

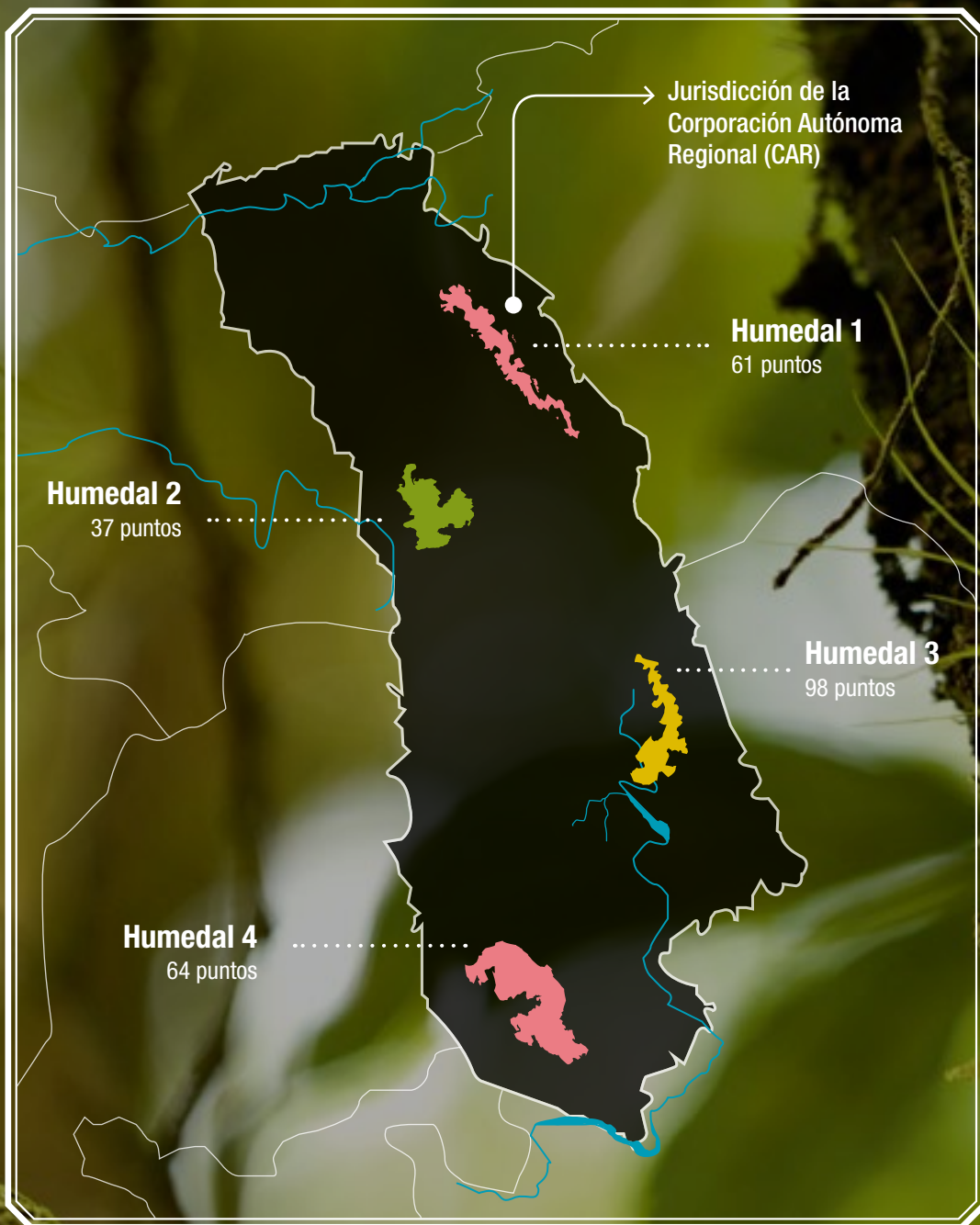


Figura 2.5. Modelo de mapas que se pueden elaborar para poder observar de manera explícita los resultados obtenidos: amarillo, humedal con alto grado de priorización, rosado con grado de priorización medio y verde con grado de priorización bajo.



LITERATURA

Contraloría General de la República. 2011. Evaluación de la implementación de la política nacional de humedales interiores de Colombia 2010-2011. En: Contraloría General de la República. Estado de los Recursos Naturales y Ambientales, Minería y Medio Ambiente. pp. 196-336. Contraloría General de la República. Colombia.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2015. Diccionario geográfico de Colombia. Disponible en: <http://www.igac.gov.co/digeo/app/index.html>

Jaramillo Villa, U., S. Peláez, C. Aponte, C. Flórez-Ayala, C. Avella, O. Manrique, W. A. Velásquez, S. A. Millán Cortes y A. Rodríguez Rodríguez. 2015. Hacia un inventario completo de los humedales. En: Jaramillo, U., J. Cortés-Duque y C. Flórez-Ayala (eds.). 2015. Colombia anfibia: Un país de humedales. Volumen I. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 p.

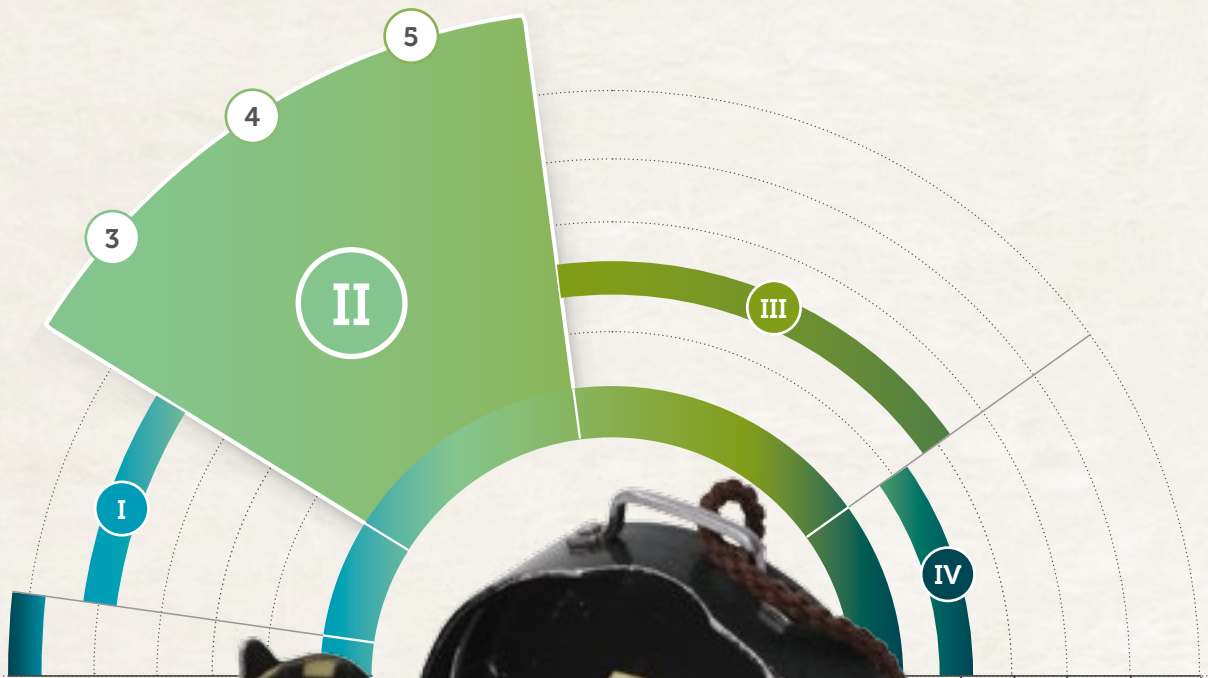
Lang, P.A. 2012. Wetland conservation prioritization model for Northwest Florida. U. S. Fish and Wildlife Service, Panama City Field Office. 40 p.

Lev, E. 2013. Tools to improve wetland restoration and mitigation: methods to attribute priorities to statewide wetlands. Abstract for The Wetlands Conservancy.

MADS. 2013. Metodología propuesta por el MADS en el Anexo 1 de los Términos de Referencia para la elaboración de los estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la delimitación de los ecosistemas de humedal a escala 1:25.000.

Miller, N. A. y F. C. Golet. 2001. Development of a statewide freshwater wetland restoration strategy: Site identification and prioritization methods. Department of Natural Resources Science. University of Rhode Island & Environmental Protection Agency EPA. 161 p.

Smith, S. 2008. Lentic riparian-wetland area prioritization guide: a process for evaluating management & restoration priorities for non-riverine systems. Bureau of Land Management Idaho State Office.



PARTE II

PRIMEROS PASOS

CAPÍTULO 3

Identificación del límite biofísico

Lina M. Estupiñán Suárez

Sergio Rojas

Carlos Flórez Ayala

Existen diferentes experiencias y protocolos de identificación, delimitación y caracterización de humedales (Cowardin *et al.* 1987, Environmental Laboratory 1987, Junta de Andalucía 2002, Environmental Protection Agency 2005, Fitoka y Keramitsoglou 2008, MMA Centro de Ecología Aplicada 2011). Estos en muchas ocasiones han sido orientados de acuerdo a las recomendaciones y la experiencia de Ramsar.

En cuanto a los procesos de delimitación, el desarrollo de los manuales de cada país está enmarcado dentro de las particularidades de sus humedales, la información disponible, los recursos técnicos y operativos con los que cuentan y los casos especiales. Cabe resaltar que la diversidad y complejidad de estos ecosistemas varía ampliamente entre países; para el caso concreto de Colombia, la topografía, la geología, el clima y otras variables bióticas y abióticas han determinado la gran diversidad de tipos de humedal y su biota asociada.

Para la identificación del límite biofísico de los humedales en Colombia se han propuesto cuatro criterios: geomorfología, hidrología, suelos de humedal y vegetación hidrófila, los cuales permiten reconocer la conectividad espacial y funcional, y la conexión y variación entre el humedal y el ecosistema terrestre desde un punto de vista ecológico (Vilardy *et al.* 2014). Esta variación es la que será identificada a partir de los cambios observados en los criterios a medida que se pasa del humedal al ecosistema terrestre.

Como ya se mencionó, pocas veces se presenta un límite abrupto, usualmente los cambios son graduales. Sin embargo, basados en información de los criterios se define este límite con el propósito de una gestión integral del ecosistema. Por otro lado, se ha observado que algunos de estos ecosistemas están sujetos a alteraciones por actividades antrópicas o procesos de transformación. Estos impulsores de cambio son diferentes a lo largo del país (Patiño 2016) y pueden afectar los criterios de identificación.



GAVIOTÍN

Nombre común del *Thalasseus maximus*, el cual es parte de la avifauna observada en la bahía de Cispatá.

Foto: María Isabel Henao.

Es así como lo anterior exige metodologías integradoras que incorporen información generada por diversas fuentes, nacionales e internacionales, sensores remotos y trabajo de campo, dependiendo de la escala de trabajo y del objetivo de estudio.

3.1. MARCO DE REFERENCIA

Una de las primeras publicaciones a nivel mundial de metodologías para la delimitación es la *Guía técnica de humedales del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos* (Environmental Laboratory 1987), en la cual los procesos de delimitación se dividen en dos tipos: el primero es una aproximación de rutina donde el acercamiento es general con un nivel básico que parte de información previa; el segundo es una aproximación extensiva que requiere de la participación de expertos, información detallada, métodos cuantitativos de integración y validación en campo.

Asimismo, países como Australia han reportado la viabilidad de implementar un criterio como índice identificador del





humedal (DERM 2011) en casos específicos como el de los humedales hiperestacionales, donde los suelos pueden guardar el registro de la inundación, pero de no ser así, únicamente el estudio del componente biótico en las épocas de lluvia puede servir como indicador del humedal.

Otra propuesta es la del reporte final del GlobWetland (MDA Geospatial 2008, Jones *et al.* 2009), en la cual hay un desarrollo importante de recursos de teledetección. Una de las herramientas iniciales es la generación de información del régimen de retorno del agua, a través de imágenes adquiridas en época seca y en época de lluvia, que refleje los valores máximos y mínimos de la lámina de agua (expansión-contracción), al igual que mapas de cuerpos de agua y de vegetación inundada. También se menciona la potencialidad de las imágenes de radar para identificar y discriminar diferentes tipos de humedales. Adicionalmente, GlobWetland tie-

ne una propuesta metodológica basada en la integración de información a través del uso de cuadrículas. Se centra en la integración de tres capas insumo: 1) mapas de cobertura y uso, 2) mapas de pendientes y 3) distancia a cuerpos de agua y vegetación inundada. A cada polígono o pixel de estas capas se le asigna un valor de asociación a humedal en un rango que va de 0 a 4, donde 4 es el mayor valor de asociación. Luego los valores se suman y según el resultado se interpretan en tres categorías: área potencial de humedal, probabilidad media y área de no humedal, para generar finalmente un mapa de dónde ocurre potencialmente acumulación de agua. Sin embargo, vale la pena recordar que la lámina de agua es uno de los componentes del humedal pero no el único, como se explica en la definición de Vilardy *et al.* (2014), construida y adoptada en el marco del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales.

La metodología expuesta en este documento tiene un enfoque multiescalar; busca ser una guía práctica tanto para definir el límite de humedales pequeños (menores a 20 ha) como para grandes complejos partiendo de la integración de cuatro criterios biofísicos: geomorfología, hidrología, edafología y vegetación, fundamentales para identificar los humedales



- A.** Sobrevuelo de las sabanas inundables de la Orinoquia, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.
- B.** Espejo de agua Humedal La Conejera, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.
- C.** Oruga, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.



(Junta de Andalucía 2004). Sin embargo, en ocasiones algunos de estos criterios no se cumplirán debido a su singularidad ecológica, procesos de transformación o vacíos de información sumados a limitaciones operativas (Vilardy *et al.* 2014). Cabe resaltar que en todos los casos se debe incorporar información de la dinámica temporal y espacial del ecosistema, vital en la planeación del territorio y gestión del riesgo. Así mismo, es importante durante todo el proceso enmarcarse en una visión de cuenca y ver a los humedales como sistemas hídricos conectados.

La información cartográfica resultante del proceso de integración representará la posición, forma y tamaño del humedal a una escala determinada, de acuerdo con el nivel de detalle de los insumos, y su extensión incorporando la dinámica espacial y temporal del ecosistema. Adicionalmente, el proceso debe integrar el conocimiento del experto y el local, lo cual enriquece la comprensión del ecosistema, genera aportes a la revisión y evaluación de la información y apoya la toma de decisiones.

También se debe tener en cuenta que la información socioecológica es fundamental para entender el contexto en el cual se delimita el humedal, las implica-

ciones que tiene, los actores que participan, los servicios ecosistémicos prestados, entre otros. Las metodologías para su estudio se describen en la parte IV del libro y deben ser vistas de manera conjunta con el límite biofísico del humedal.

Este capítulo (Identificación del límite biofísico) se divide en cuatro secciones. Primero se muestra un acercamiento al humedal desde la visión de cuenca, el cual permite identificar variables externas que intervienen en él. Luego se sigue la ruta general para obtener los insumos necesarios para la identificación del límite. Posteriormente, se presenta el proceso de integración de la información generada por los criterios y su validación. Finalmente, se dan algunas recomendaciones con miras a la gestión.

3.2. EL HUMEDAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La primera aproximación al humedal o complejos de humedales desde los aspectos físicos y de vegetación debe partir desde una visión de cuenca. Uno de los insumos cartográficos base para este acercamien-



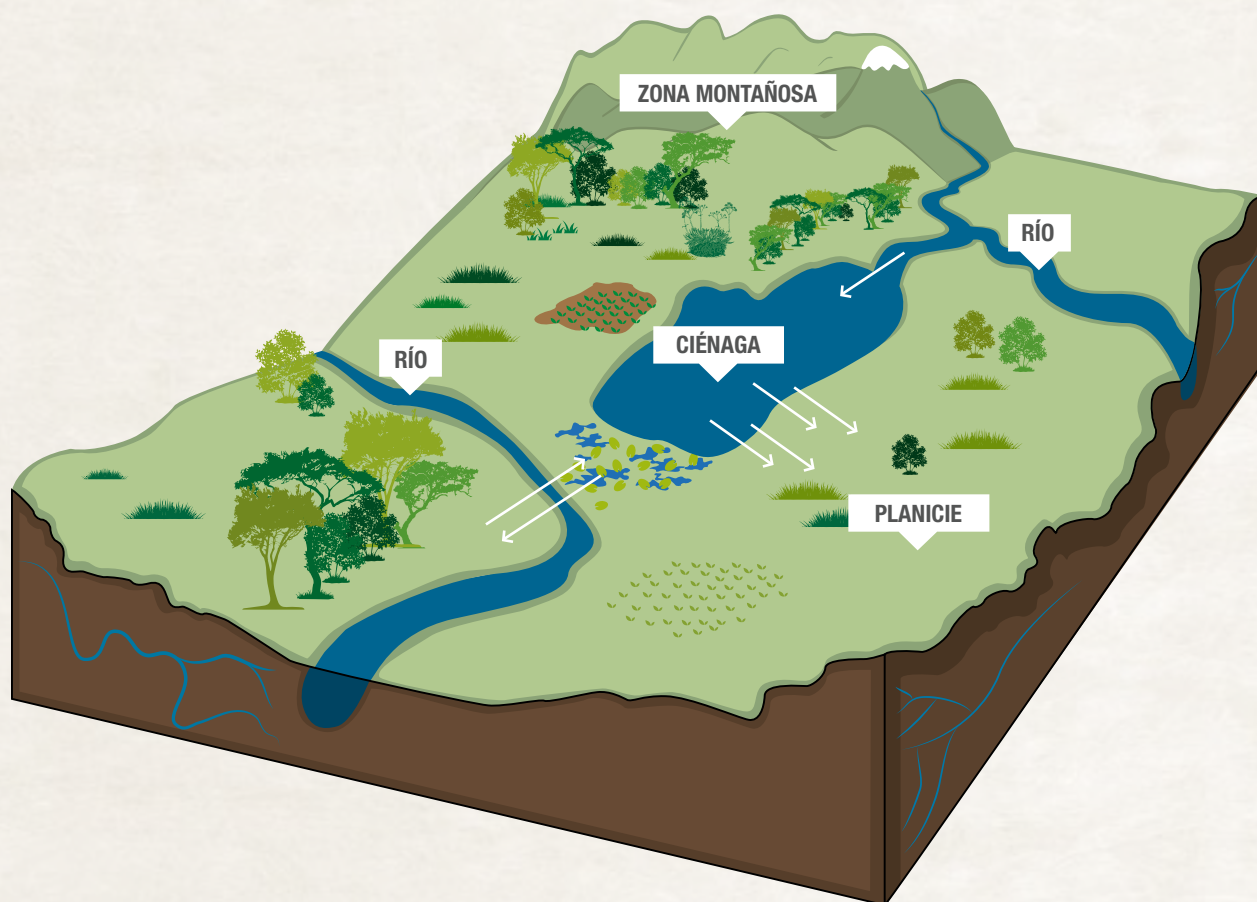
D. Garza blanca, nombre común de la *Ardea alba*. Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.

E. Espejo de agua, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.

DESARROLLO CONCEPTUAL del funcionamiento hidrológico del humedal




Figura 3.1. Flujo diagrama de las fuentes hídricas conocidas del humedal.



Para tener un primer acercamiento de la dinámica hídrica del humedal se proponen estas preguntas:

- 1 ¿Cuáles son los principales afluentes y efluentes del humedal?
- 2 ¿Se conoce alguna relación con aguas subterráneas o acuíferos? Si es así, ¿cómo son los flujos: monodireccionales o bidireccionales?
- 3 ¿Cómo es el patrón de lluvias en la zona y cómo afecta al humedal?
- 4 ¿Se puede identificar la dinámica de expansión y contracción de la lámina de agua?
- 5 ¿Se conocen las direcciones hacia donde fluye el agua en época seca y de lluvia?



“El conocimiento local
es un **insumo valioso**
en la primera aproximación
al humedal”

to es el mapa de las subzonas hidrográficas propuestas por el IDEAM (2013), en el que se debe sobreponer la red de drenaje para identificar el área o las áreas de drenaje que influyen en el ecosistema objeto de estudio. De la misma manera, la categoría de superficies de agua de la cartografía base a escala 1:100.000 del IGAC (2014), o escala 1:25.000 cuando esté disponible, se recomienda para conocer las principales fuentes de agua, ríos (tipos de drenaje: doble, sencillo) y cuerpos de agua (lagunas, ciénagas, entre otros).

En casos donde existan estudios de aguas subterráneas o se conozca algún proceso relacionado con la recarga de acuíferos, es necesario incluirlos. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha generado información para zonas específicas del país. A nivel regional existen algunos estudios realizados por corporaciones autónomas o universidades. Además, en 2016 Betancur *et al.* revisaron la relación de algunos humedales con aguas subterráneas como producto del convenio 15-13-014-068 CE de 2015 entre la Universidad de Antioquia y el Instituto Humboldt.

En general esta información puede brindar un panorama del papel del humedal en la cuenca y de su conectividad hídrica superficial, así como de las principales entradas, salidas y direcciones de flujo del agua (mono o bidireccional). En este punto se sugiere construir conceptualmente un diagrama que incorpore las principales fuentes de agua que alimentan y salen del humedal, y que afectan su dinámica espacial y temporal (Figura 3.1).

Como complemento, el conocimiento local en esta parte del proceso es un insumo valioso. La gente de los humedales conoce y entiende el comportamiento natural del ecosistema ya que hace parte de su cotidianidad y en algunos casos del conocimiento ancestral. Esto se evidencia claramente con las comunidades de pescadores que conocen la conectividad de las ciénagas, los flujos hídricos de entrada y salida del agua, su dirección y corriente, así como zonas de importancia biológica que sirven de protección y refugio de la fauna, información fundamental en planes de manejo de los humedales y de recuperación y conservación de poblaciones de peces y otras especies (Figura 3.2).



Figura 3.2. Presentación de la Asociación de Pescadores de las ciénagas del bajo Cesar (2016). Foto: Eduardo Cadena.



PARTE II

Primeros pasos

De la misma manera, cartografía con cobertura nacional como el Mapa de Humedales Continentales de Colombia (I. Humboldt 2015, Flórez Ayala *et al.* 2016) brinda información de las áreas y clases de humedal (permanente y temporal) de la jurisdicción de cada autoridad ambiental y da una línea a la conectividad y continuidad de estos ecosistemas. Para tal fin, la capa de ecosistemas acuáticos del Mapa de Ecosistemas escala 1:100.000 elaborado por el IDEAM y otras instituciones del SINA (Sistema Nacional Ambiental) también es un insumo valioso. (IDEAM *et al.* 2015).

Otro aspecto a tener en cuenta es el régimen de lluvias, ya que tiene un efecto directo sobre la dinámica hidrológica del sistema. Conocer las temporadas de lluvia y de sequía permite tener un mejor entendimiento de la funcionalidad del humedal, así como reconocer su papel en la regulación hídrica y aprovisionamiento de agua en eventos extremos



F. Ave de humedal, ciénagas de Lórica, Córdoba.

Foto: María Isabel Henao.

G. Sobrevuelo en las sabanas inundables de la Orinoquia, Casanare.

Foto: Luis Fernando López.



como años de los fenómenos de La Niña y de El Niño, esencial en la gestión del riesgo. Estos datos pueden ser obtenidos de la estación meteorológica del IDEAM más cercana que conserve características ambientales similares o más generales en la mayoría de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

Adicionalmente, los POMCA (Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas) proveen información de usos, coberturas, suelos, entre otras, para la cuenca en general. Otros insumos útiles para conocer las principales actividades que allí se desarrollan son el mapa de coberturas de la tierra Corine Land Cover (CLC), resultado del Convenio Especial de Cooperación No. 018 de 2008 firmado entre el IDEAM, el Instituto Humboldt, SINCHI, UAESPNN e IGAC, realizado con imágenes de 2005 a 2010 (IDEAM 2010), y el estudio del conflicto de uso del territorio en Colombia realizado por el IGAC *et al.* (2012).

Por último, se puede hacer uso de herramientas de teledetección. Imágenes satelitales de libre acceso o servidores como

Google™ Earth o Bing facilitan la visualización y ubicación del humedal en una visión de cuenca, además de servir como insumos posteriormente en la delimitación. Con toda esta información se busca identificar cuáles son las principales variables que afectan el humedal y el tipo de relaciones que allí ocurren; por ejemplo, se puede analizar el estado de conservación de la cuenca, principales actividades productivas e infraestructura relacionada con humedales como embalses, puertos, puentes, entre otros.

3.3. RUTA DEL PROCESO BIOFÍSICO

La implementación de los criterios de identificación y la generación de información son una herramienta clave para entender y conservar el ecosistema. No obstante, es importante entender que la integralidad de los humedales va más allá del límite que se establezca, ya que es un ecosistema muy dinámico, con una alta

PARTE II

Primeros pasos



H. Laguna de Siecha, páramo de Chingaza, Cundinamarca.
Foto: María Isabel Henao.

I. Güio o anaconda sumergida en un morichal en Casanare, Orinoquia.
Foto: Eduardo Cadena.

J. *Pelecanus occidentalis*, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

conectividad, y es afectado por procesos que ocurren en otras escalas (local, regional e incluso nacional). En este sentido, la aproximación inicial se debe realizar a nivel de cuenca con el fin de identificar los elementos asociados al contexto regional que afectan el humedal y definir la estrategia de aproximación al estudio con base en la extensión y complejidad de este ecosistema.

Por tal razón, la escala debe ser flexible, ya que la extensión de los humedales en Colombia varía ampliamente; además, el nivel de detalle y la información disponible en el país no son uniformes. Por ejemplo, existen trabajos a escalas muy detalladas (1:1.000-1:10.000) que pueden ser generalizados a escalas menores de ser necesario con el acompañamiento temático de expertos. Estos estudios comúnmente se encuentran en humedales altoandinos o en centros urbanos. Por otro lado, grandes complejos de humedales como sabanas y bosques inundables, entre otros, requieren de escalas operativas que hagan el trabajo viable, y por eso una escala más gene-

ral (1:25.000-1:100.000 aproximadamente) puede funcionar mejor. De esta manera se logra incorporar todos los elementos que hacen parte del complejo de humedales y brindar lineamientos con una mayor injerencia en la gestión del humedal o complejo de humedales estudiados.

El proceso para la delimitación involucra diferentes etapas. Como se explicó en la sección anterior, la primera aproximación es desde la cuenca (Figura 3.1). Los pasos que se sugieren a continuación son una guía que podrá ajustarse de acuerdo a las condiciones particulares de cada humedal.

La siguiente etapa es la revisión de la información disponible, es decir, la cartografía existente y estudios realizados por la entidad encargada o entidades externas que ayuden a comprender e identificar los elementos que intervienen en la definición biofísica del límite. Esta fase comúnmente se ha denominado “trabajo de oficina”. El objetivo es tener conocimiento de la información disponible, reconocer cuál es útil para el proceso de delimita-





ción y cuál es la que hace falta con el fin de priorizar la información que se debe generar (Capítulo 4).

Luego se propone el uso de sensores remotos para la identificación de humedales. Para esto, se recomienda la consulta del Banco Nacional de Imágenes del IGAC y la revisión de imágenes libres disponibles en la web como Landsat, que cuenta con un archivo histórico desde 1985; Sentinel-2, que está en órbita desde 2015, y visualizadores como Google™ Earth y Bing (Capítulo 5). Vale destacar que esta información se genera permanentemente, brindando así datos actualizados de las zonas de interés. Sin embargo, esto no excluye el uso de otro tipo de imágenes de mayor resolución espacial, de radar o fotografías aéreas que estén disponibles o puedan ser adquiridas. En el momento de realizar la selección y los análisis se deben incluir imágenes de temporada seca y de lluvia y tener en cuenta los años de los fenómenos de La Niña y de El Niño, los cuales se resumen en Bedoya *et al.* (2010). En lo posible, se sugiere usar imágenes de años de La Niña, que es cuando se presenta la mayor extensión de los humedales,

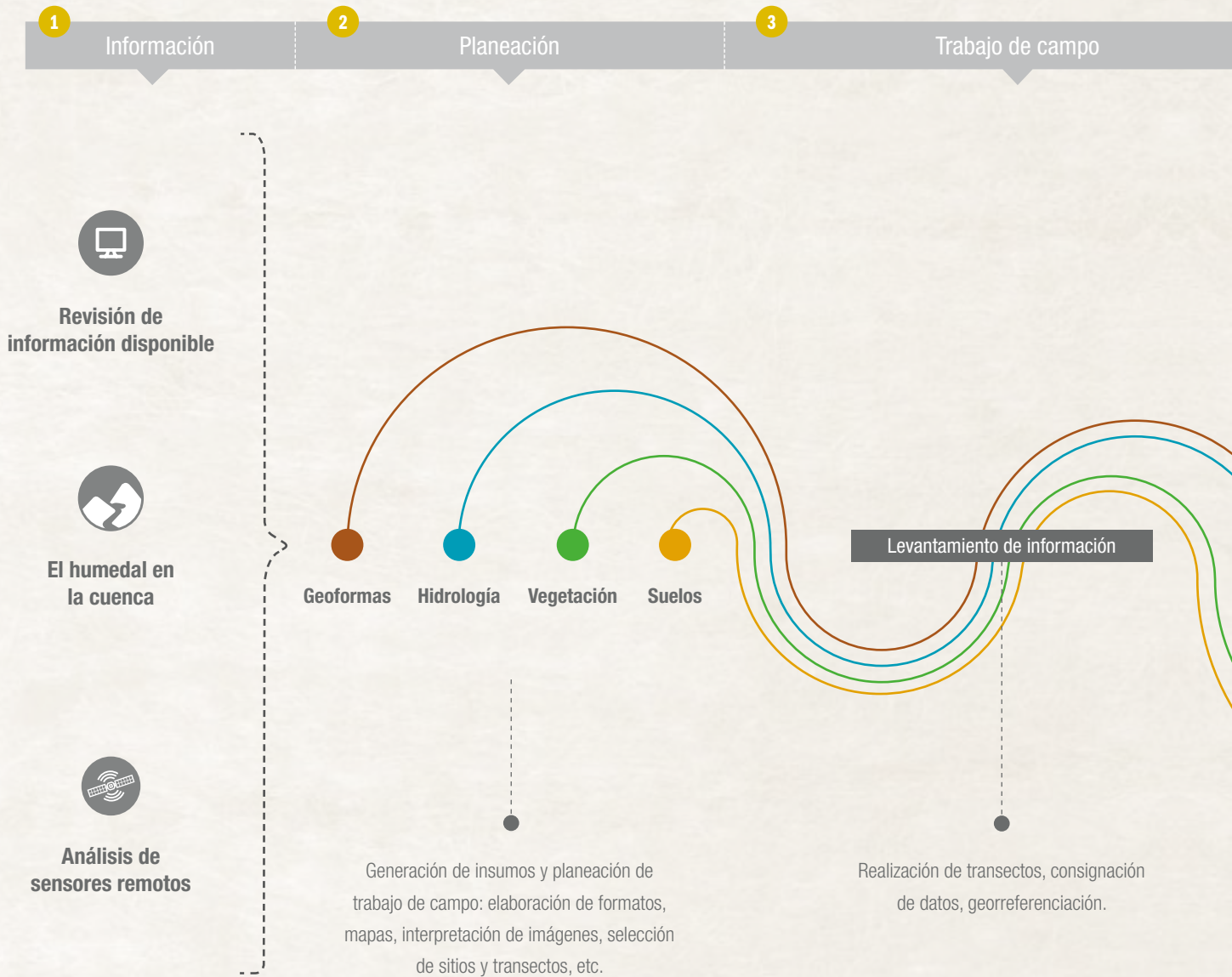


aunque esto implica una mayor probabilidad de nubes, lo que dificulta la visibilidad y obtención de datos.

Las imágenes son insumos valiosos para los cuatro criterios; además, permiten realizar análisis multitemporales y reconocer la dinámica del ecosistema de acuerdo con la variabilidad inter e intraanual. Con sensores ópticos es posible observar procesos de expansión-contracción de la lámina de agua en humedales abiertos. En cuanto a la dinámica de humedales permanentes bajo dosel los sensores ópticos exigen un mayor esfuerzo y tienen más limitaciones por su inhabilidad de penetrar el dosel (Figura 3.3.).

IDENTIFICACIÓN DEL LÍMITE

Ruta de trabajo



ETAPAS PARA IDENTIFICAR EL LÍMITE BIOFÍSICO

La identificación del límite biofísico del humedal se desarrolla en cinco etapas. La inicial se centra en la revisión de fuentes de información, tanto de documentos como de cartografía disponible para la cuenca. También se debe realizar la revisión de imá-

genes satelitales, fotografías aéreas y servidores disponibles en internet. Cada vez es más frecuente la generación o liberación de imágenes por parte de agencias espaciales.

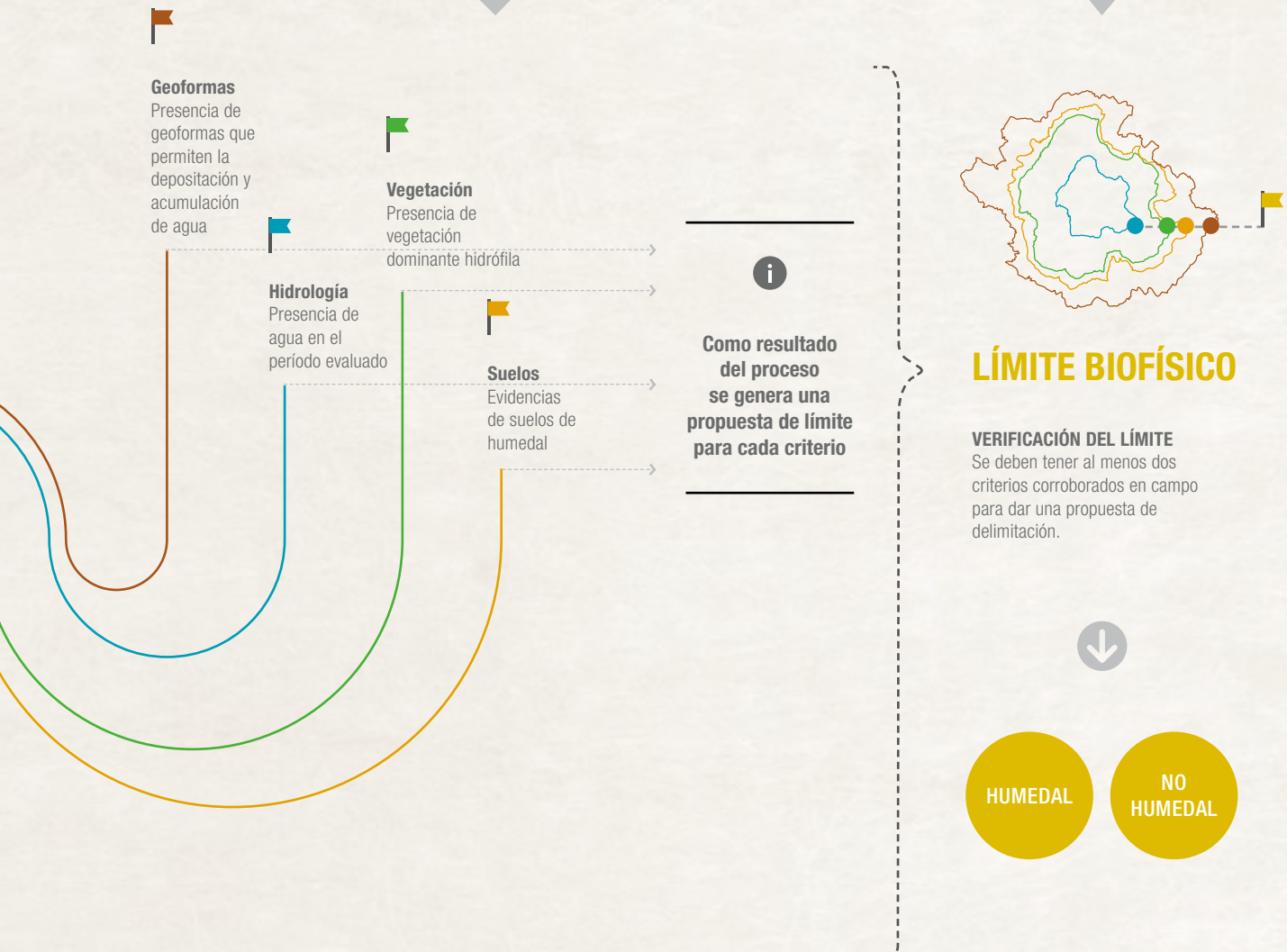
Después de revisar la información con la que se cuenta para el estudio del límite del humedal, se identifica qué levantamientos en campo se realizan para los criterios seleccionados. Se recomienda organizar las

4

Análisis de datos

5

Integración de criterios



salidas simultáneamente facilitando la logística para el uso de los recursos y la complementariedad de las observaciones y criterios en campo. Todos los datos deben ser georreferenciados para trabajarse en sistemas de información geográfica. En la fase de análisis de datos se genera el límite desde cada criterio, en esta etapa se debe tener en cuenta la temporalidad del humedal y especial-

mente la época en que han sido tomados ya que algunas zonas solo son asequibles en la época de verano, cuando las condiciones de humedal son menos evidentes y la presencia de agua es reducida o nula.

Finalmente se realiza la integración de las capas cartográficas generadas por los criterios evaluados y se define el límite del humedal.



Figura 3.3. Esquema de trabajo para el proceso de identificación del límite biofísico del humedal.

PARTE II

Primeros pasos



- K.** Espejo de agua, madresviejas en el Valle del Cauca.

Foto: Luis Fernando López.

- L.** Gastrópodo asociado a troncos caídos en playas arenosas. Sanquianga, Nariño.

Foto: Luis Fernando López.

El proceso continúa con la obtención de información en campo de los criterios de identificación y su análisis. El trabajo de campo es esencial para generar datos y verificar o actualizar la información seleccionada en el proceso de revisión y la que ha sido interpretada en la oficina. De la misma manera, el reconocimiento de los vacíos de información indica qué criterios de identificación tienen datos faltantes o nulos, orientando el esfuerzo de muestreo. La generación de insumos, la planeación y los protocolos para los levantamientos de geomorfología, hidrología, suelos y vegetación se presentan en detalle en los capítulos 6, 7, 8 y 9 respectivamente. Allí también se describen metodologías o herramientas para el análisis que permitirán generar una propuesta de límite desde cada criterio. Se recomienda que los levantamientos de información se realicen de manera simultánea para todos los criterios. De no ser posible, se sugiere que por lo menos el componente de

suelos y vegetación se lleven a cabo al mismo tiempo ya que los protocolos propuestos se basan en transectos, lo cual permite que el trabajo sea complementario.



Finalmente, se realiza el proceso de integración de la información cartográfica en un Sistema de Información Geográfica (SIG). En este paso se integran las capas cartográficas de los criterios donde se ha almacenado información de susceptibilidad a la inundación según la geomorfología, registro de inundación por parte de la hidrología, hidromorfismo de los suelos o tipos de sustrato, y vegetación hidrófila. Cabe aclarar que estos pasos dependen de la capacidad técnica, económica y de recursos humanos de las entidades encargadas.

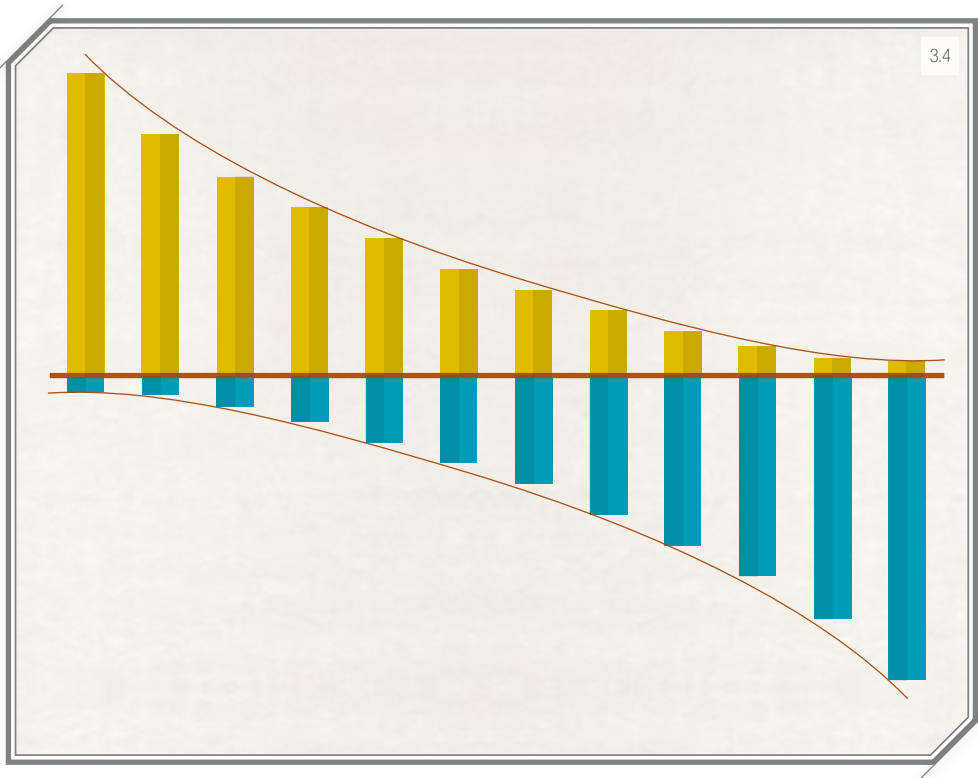
Es importante resaltar que el proceso de delimitación requiere de información detallada y recopilada rigurosamente para garantizar precisión en la propuesta de límite. Inicialmente se parte de un proceso general de identificación a nivel de cuenca,





Figura 3.4. Relación entre el nivel de información y la incertidumbre.

 Nivel de información
 Nivel de incertidumbre



en el cual la escala de trabajo es semidetallada (1:25.000-1:100.000), lo que implica una alta incertidumbre. A medida que la información disponible aumenta y es complementada y validada con trabajo de campo, la incertidumbre disminuye (Figura 3.4). De esta manera, la integración de información de todos los criterios proporciona una mayor certeza en el proceso de reconocimiento del límite funcional. En resumen, los alcances del producto final estarán determinados por la calidad y detalle de la información.

En este sentido, la aplicación de los cuatro criterios da mayor robustez y certeza a la identificación del límite. Por otro lado, se reconocen limitaciones logísticas, operativas o particularidades de los humedales que dificultan la medición de todos los criterios. En estos casos se recomienda evaluar cuáles criterios son los más adecuados para la identificación según las particularidades del ecosistema, seleccionar al menos dos con validación en campo y complementarlos con información de sensores remotos.

En este contexto es importante aclarar que el criterio de vegetación presenta limitaciones en áreas muy extensas y heterogéneas, ya que se requiere una alta densidad de datos para que los resultados puedan ser

extrapolados. Generalmente la zona transicional entre el humedal y la tierra firme ha sido pobremente estudiada y exigiría un esfuerzo de muestreo viable en pocos casos. Por tal razón, en los grandes complejos de humedal con vegetación heterogénea se recomienda que este criterio sea usado solo para corroborar el límite propuesto.

3.4. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Después de la revisión de la información disponible y del uso de herramientas de identificación desde la teledetección se recopilan o generan datos para los cuatro criterios: *geomorfología*, donde se identifican las geoformas que facilitan la acumulación de agua, *hidrología* para conocer la dinámica del agua en los sistemas de humedal (entradas y salidas, expansión-contracción, temporalidad, estacionalidad), *suelos de humedal*, que guarda el registro de la inundación y su duración, y finalmente *vegetación* como la expresión biológica de organismos adaptados a condiciones de inundación y que se pueden representar en la escala cartográfica de trabajo.

PARTE II

Primeros pasos



M. Avifauna asociada a la madreveja, río Cauca, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.



Se presenta una metodología de integración de la información para la identificación del límite biofísico, modificada de la propuesta desarrollada para GlobWetland (MDA Geospatial 2008, Jones *et al.* 2009), teniendo en cuenta que la información requerida para establecer el límite del humedal en Colombia debe ser detallada, orientada a la gestión y que los criterios de identificación cuentan con datos tomados o validados en campo. Se proponen tres “puntajes” para asignar la presencia de humedal que aplican para los criterios biofísicos propuestos en Vilar *et al.* (2014), los cuales fueron explicados anteriormente. El primer puntaje hace referencia a las áreas donde hay una alta presencia de hidromorfismo (V1), se refiere a humedales permanentes o temporales de variabilidad interanual (el agua está presente durante cierto período del año), lo cual moldea las características físicas y biológicas de estas áreas, y se les asigna un valor de 10. El segundo puntaje (V2) es para zonas de humedal donde la inundación ocurre con menor frecuencia y tiene una recurrencia interanual; así los indicadores de presencia de agua son más bajos y se le asigna un valor de 1. Los valores denominados V2 son opcionales; en casos excepcionales el límite del humedal es abrupto, por lo tanto las condiciones cambian radicalmente y no se requiere el uso del puntaje V2. Finalmente, las áreas

que el criterio no reconoce como zonas de humedal tienen un valor de cero “0” (V3).

De esta manera a cada una de las unidades representadas en la capa de cada criterio se le asigna un valor asociado a la presencia o no de humedal (V1 o V2 o V3) según la información obtenida en campo. Cuando toda esta información se encuentra analizada, procesada, cartografiada y almacenada de manera estructurada en un SIG, se realiza el proceso de integración usando una función de intersección o combinación de capas.

A las unidades representadas en la capa de cada criterio se les asigna un valor asociado a la presencia o no de humedal según la información obtenida en campo. La integración se hace mediante una función espacial de adición o suma de capas de los cuatro criterios o los insumos que se tengan disponibles. En zonas donde por lo menos un criterio se identifica como humedal, se reconoce esta área como humedal (valores ≥ 1). Las zonas donde ningún criterio identifica área de humedal (valores=0) quedan como no humedales.

Como resultado se obtienen zonas donde todos los criterios coinciden y se reconocen como áreas de humedal y otras donde no existe humedal. Según la permanencia de la lámina de agua se reconocen humedales permanentes y temporales. Los últimos pueden presentar variaciones intraanuales, entre la época seca y la



TRABAJO DE CAMPO

La fase de campo es fundamental para recolectar y verificar información sobre el humedal.

Foto: Luis Fernando López.



“En los **humedales**

se pueden identificar zonas inundadas de forma

**permanente o
temporal”**

PARTE II

Primeros pasos



N. *Phalacrocorax brasilianus*, ave marina conocida como cormorán negro o bigua. Ciénaga de La Virgen, Bolívar. Foto: Luis Fernando López.

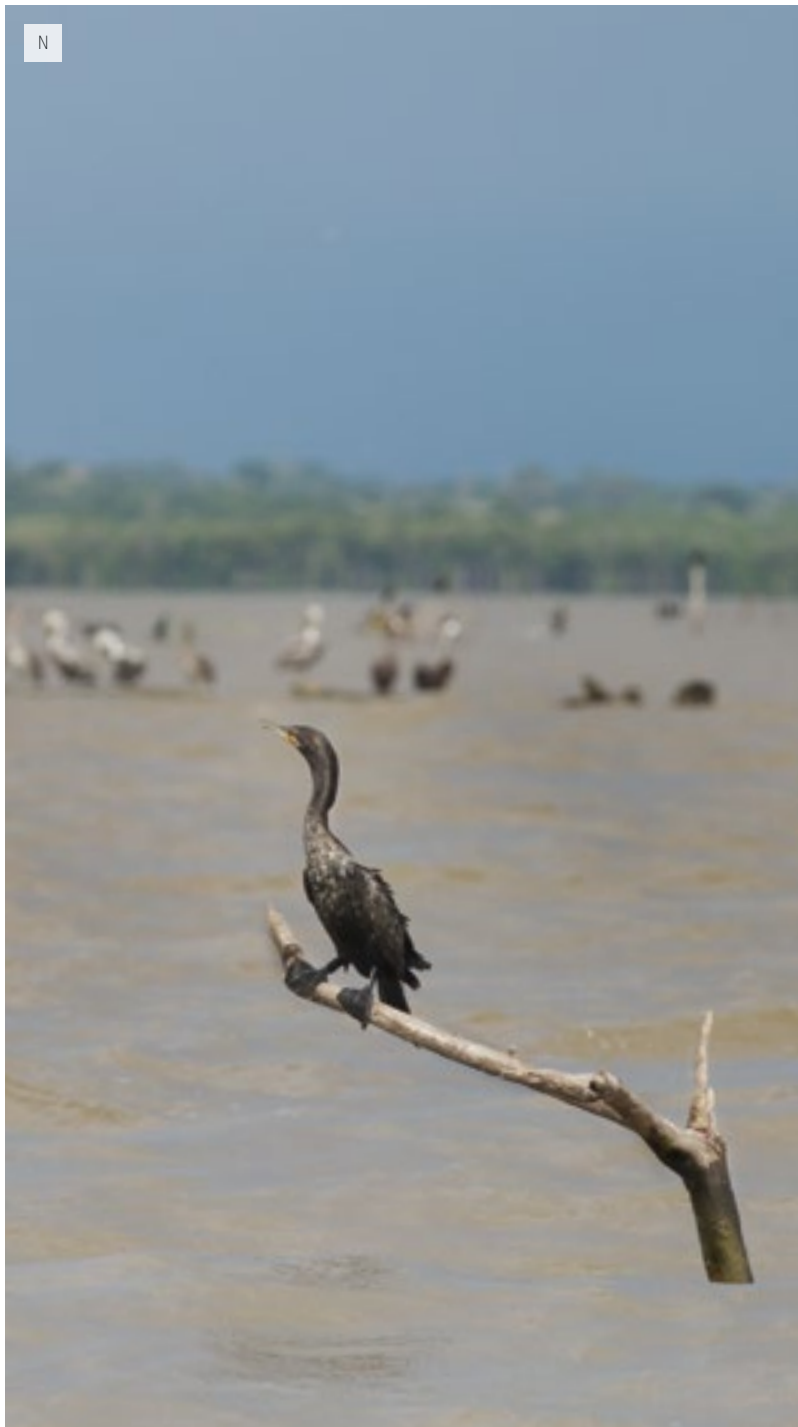
de lluvia, y guardan altas características propias del ecosistema. En los humedales temporales con frecuencia interanual las características de humedal no son tan evidentes; no obstante, los criterios evaluados y los análisis multitemporales entre varios años permiten su reconocimiento.

Debido a la temporalidad, existen áreas que hacen parte del humedal, pero por la diferencia de condiciones entre la época seca y la de lluvia (humedales temporales) el agua no está presente; sin embargo, los criterios evaluados y los análisis multitemporales permiten su reconocimiento. En este caso hablamos de humedales temporales con variabilidad interanual.

La figura 3.5 ilustra el proceso de integración y representa algunas de las combinaciones posibles. Por ejemplo, situaciones donde todos los criterios coinciden con los valores de asociación (líneas continuas) y otras donde las áreas evaluadas presentan diferentes valores de asociación (líneas punteadas). En algunos casos la integración de la información puede no contar con todos los criterios, pero se debe garantizar que por lo menos dos se realicen con verificación en campo.

La integración muestra como resultado zonas de humedal (zh) y zonas de no humedal (znh). Dentro de las zonas de humedal se reconocen áreas focales y áreas intermitentes, donde los usos pueden variar, pero esto se definirá en los planes de zonificación y manejo. La zona focal (zf) es moldeada fuertemente por la presencia constante o intraanual del agua y cumple con al menos uno de los siguientes criterios: 1) tiene geoformas con una alta susceptibilidad a la inundación, 2) la lámina del agua o su huella es evidente, 3) los suelos de humedal tienen un alto hidromorfismo, 4) la vegetación dominante es hidrófila. En la zona intermitente (zi) la inundación ocurre con una intermitencia más larga, es decir, con variabilidad interanual; por tal razón la susceptibilidad a la inundación y el grado de hidromorfismo son menores, al igual que la dominancia de organismos adaptados a estas condiciones. Estas zonas se inundan en fuertes temporadas invernales y son esenciales en la gestión del riesgo. Por último, la znh no presenta rasgos de humedal.

Para áreas de mayor extensión se pueden implementar algoritmos de SIG, los cuales requieren datos de campo para la calibración y validación pero pueden ser más operativos que levantamientos exhaustivos de los criterios. En este caso, el proceso de delimitación se centrará en el uso de sensores remotos y estudios previos de los criterios, y generará una primera aproximación al límite que se ajustará y validará con información de campo. La precisión del límite estará determinada por el nivel de detalle de las imágenes (tamaño del pixel).



LÍMITE BIOFÍSICO

Integración de los criterios

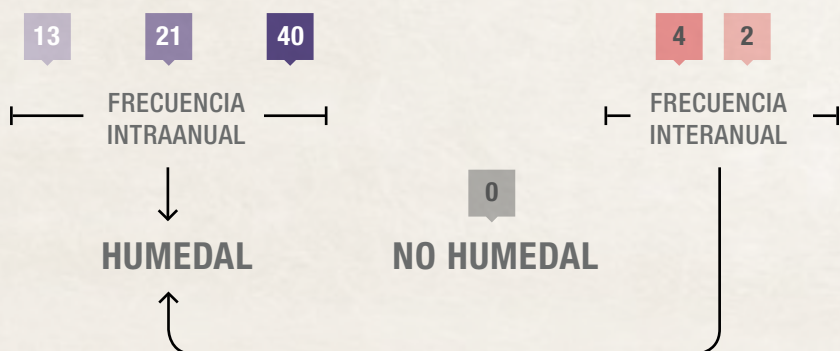
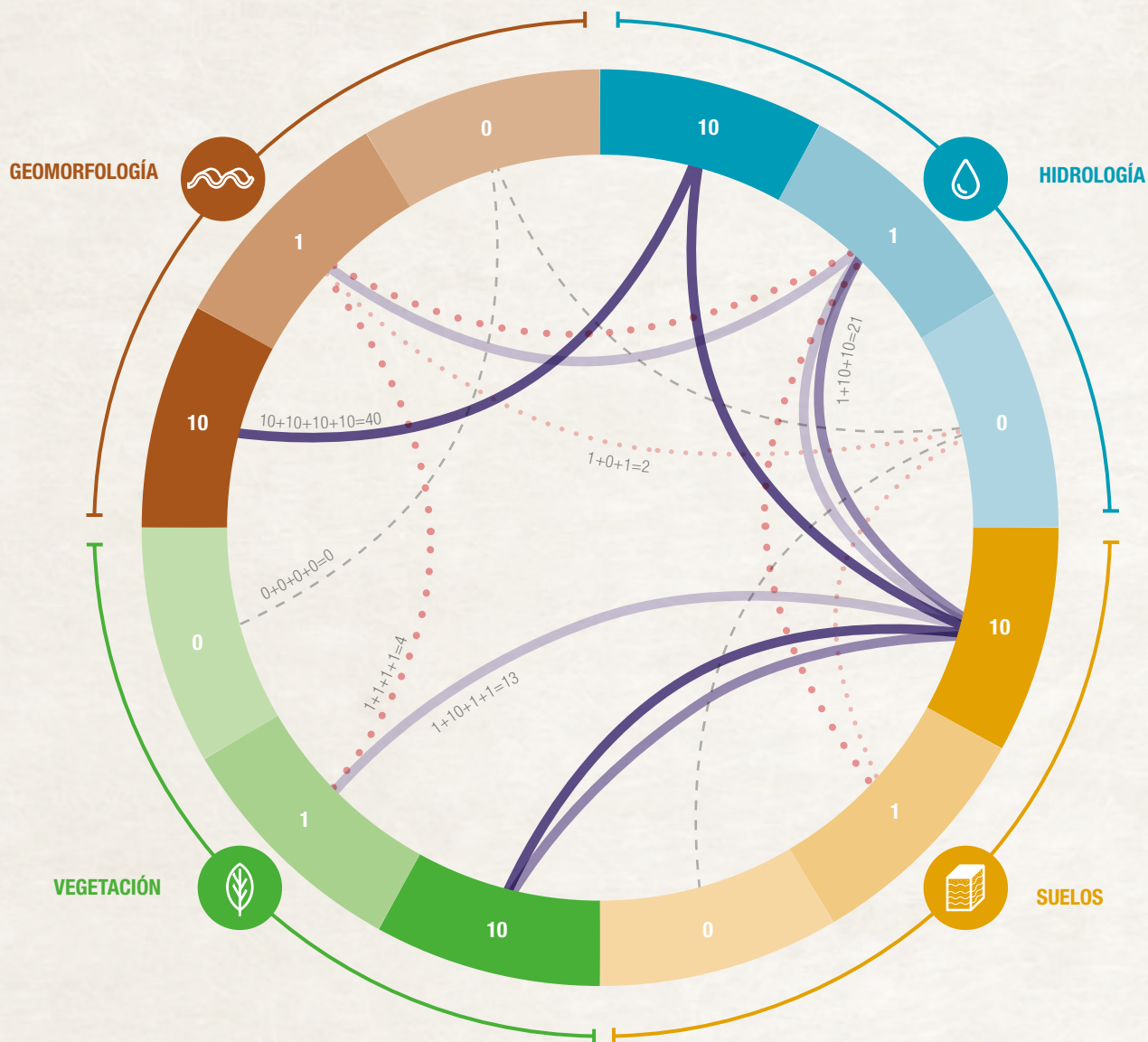


Figura 3.5. Proceso de integración de criterios. La intensidad de color está dada por el grado de asociación de la variable al humedal. Las líneas moradas son ejemplos que tienen valores iguales o mayores a diez. Las líneas rosadas son valores mayores a cero y menores a diez, y la línea gris es cero.

3.5. VERIFICACIÓN DEL LÍMITE

Después de definir el límite del humedal o del complejo de humedales es necesario conocer la exactitud temática del mapa; por tal motivo se requiere una validación, la cual puede ser una corroboración en campo o mediante el uso de imágenes satelitales que no hayan sido usadas como insumos en ninguna de las etapas. Una de las metodologías más usadas es el cálculo de la exactitud del productor, la confianza del usuario y la exactitud global tras la implementación de una matriz de confusión (Lillesand *et al.* 2008). Existen diversas metodologías para seleccionar aleatoriamente los puntos a corroborar. El número de puntos (muestras) debe ser representativo. Este cálculo se hace teniendo en cuenta el total de clases evaluadas, para nuestro caso dos (zh, znh), y el área del humedal estudiado. (Chuvienco 1995, Mc Coy 2005 y Meidinger 2003).

Si los datos que se usan en la validación provienen de trabajo de campo se recomienda que la captura de datos en el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se realice en el sistema de coordenadas geográficas WGS84 y se reporte la precisión del equipo, la cual depende de las condiciones atmosféricas y del número de satélites que se alcancen a conectar. Posteriormente, en un computador

con software SIG se deben proyectar los puntos de posicionamiento al sistema de coordenadas planas correspondiente. Es importante que la captura del punto se realice a una distancia prudencial de los límites de los polígonos, determinada según la escala de trabajo, para así reducir errores generados por el efecto de borde.

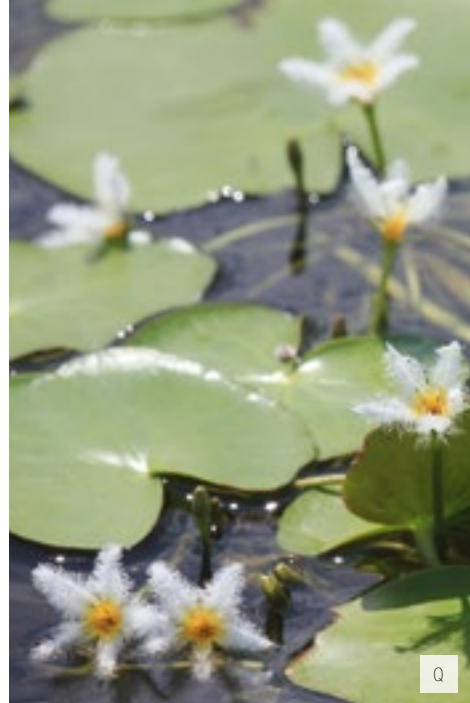
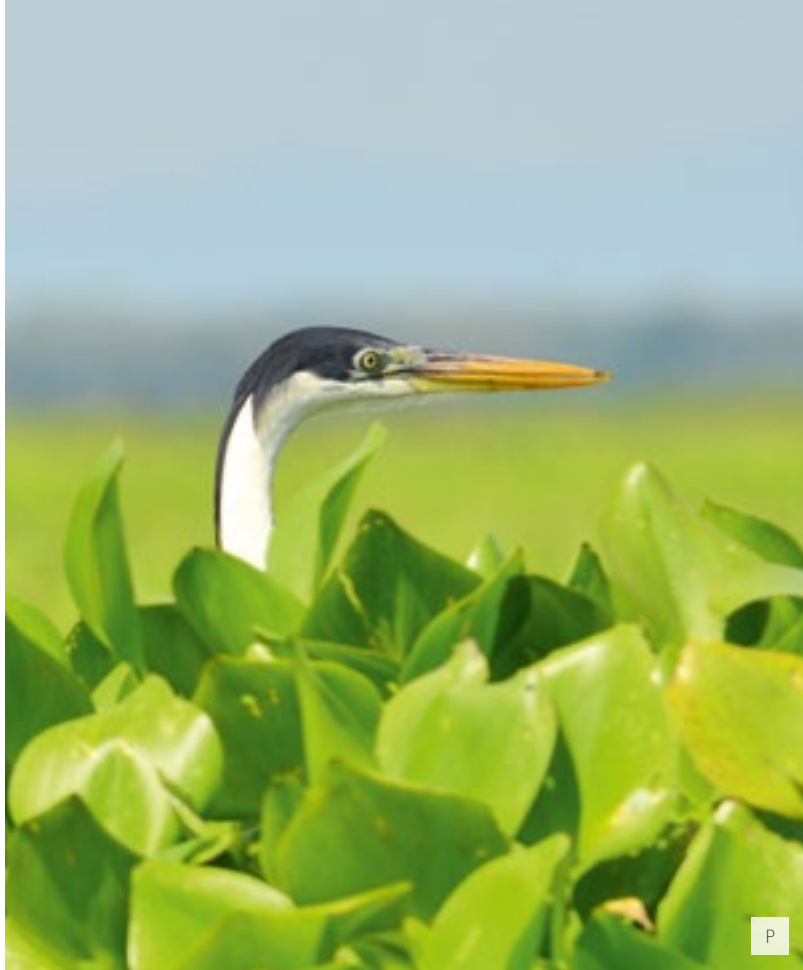
La corroboración en campo se centra en la captura de puntos GPS de las clases de humedal y no humedal, seleccionados previamente, para así compararlos con los resultados del proceso de integración. Debido a la temporalidad de los humedales y a que algunas zonas solo son accesibles en época seca, la determinación en campo de la presencia del humedal puede requerir de expertos en los criterios. Asimismo, es necesario recurrir a registros históricos y huellas de inundación (capítulos 7 y 8), y en todos los casos es importante tener en cuenta el conocimiento local de los habitantes de la zona, con el fin de reducir los errores de omisión.

Cuando los datos de validación provengan de la interpretación de imágenes satelitales, el proceso consiste en comparar los puntos generados en las imágenes con las clases de humedal y no humedal del mapa. Es importante verificar que todos los archivos se encuentren en el mismo sistema de referencia, al igual tener en cuenta si la fecha de captura de la imagen corresponde a un mes o una año seco o húmedo.



- O.** *Paleosuchus palpebrosus*, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.
- P.** *Ardea cocoi*, garza cuca o garza mora de la bahía de Cispatá, Córdoba.
Foto: Fernando Trujillo.
- Q.** Vegetación en la ciénagas de Lorica, Córdoba.
Foto: María Isabel Henao.





3.6. HUMEDALES CON ALTERACIÓN POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

Uno de los mayores desafíos en el proceso de delimitación de humedales está relacionado con los humedales transformados. Los primeros criterios de identificación que se pierden son la cobertura vegetal natural y usualmente la conectividad hídrica por la construcción de diques, carreteras, viviendas, etc. Generalmente se asocian a zonas en que el uso del suelo se ha cambiado a procesos de urbanización, agricultura y ganadería; en estos casos es crucial su reconocimiento como área de humedal para desarrollar un manejo acertado partiendo de que la inundación es un componente de su dinámica natural.

El estudio de suelos se convierte en una herramienta fundamental en la delimitación de humedales donde la cobertura vegetal se ha perdido, ya que los suelos guardan el registro de la inundación e incluso se pueden ver patrones (colores, moteados; Capítulo 8) dejados por condiciones de humedad cuando se han ge-

nerado grandes intervenciones que han llevado a la pérdida de horizontes.

También es importante evaluar la conexión o desconexión al sistema hídrico, ya sea por causas naturales o de infraestructura. Zonas aisladas por obras de infraestructura son susceptibles a inundaciones, especialmente en épocas de eventos climáticos acentuados, como se observó en el fenómeno de La Niña de 2010-2011; por lo tanto, es necesario incluirlas en programas de planeación y de gestión del riesgo.

Complementariamente, la caracterización de las geoformas y su susceptibilidad a inundación brinda información determinante en el momento de decidir si un área es humedal o no. Por ejemplo, planicies de inundación que han sido aisladas de la dinámica hidrológica son un claro ejemplo de zonas que potencialmente se puedan inundar si el río sobrepasa los diques. Estos análisis se pueden basar en modelos de hidrología superficial sobre modelos digitales de elevación para así brindar una idea de la dinámica de la inundación, recordando que el alcance de los resultados dependerá del nivel de detalle de los insumos.

3.7. RECOMENDACIONES

Se debe reconocer que los ecosistemas son continuos, no acaban abruptamente y, en el caso concreto de los humedales, mantienen una alta conectividad. Sin embargo, también se debe reconocer que el límite propuesto es la mejor aproximación espacio-temporal al humedal, y que el resultado servirá para orientar y enfocar los esfuerzos de manejo del ecosistema. En este sentido, la delimitación se convertirá en una herramienta tangible para la gestión.

El proceso de delimitación debe enmarcarse dentro de un contexto que tenga como objetivo contribuir y ser un enlace en la gestión de humedales a partir de herramientas prácticas, que guíen a las autoridades ambientales en la priorización de su gestión y su incorporación en planes de manejo.

La alta diversidad de los humedales en Colombia hace que las escalas de aproximación y las metodologías deban ajustarse a las condiciones particulares de cada humedal.

Asimismo, los recursos técnicos, económicos y humanos en las diferentes regiones e instituciones varían, lo cual también de-





S



R

fine el alcance de la delimitación. En este sentido algunas instituciones deberán ser fortalecidas o contar con acompañamiento para el buen desarrollo del proceso.

El reconocimiento y la implementación del límite del humedal deben estar siempre enmarcados dentro de principios sociales y, como se propone en esta publicación, bajo el marco socioecológico (ver Parte IV). En este contexto es necesario resaltar que los tiempos para los estudios biofísicos y sociales pueden variar significativamente. Mientras que los estudios biofísicos pueden ser planeados con cierta seguridad en un cronograma teniendo en cuenta factores climáticos y de acceso, los trabajos con las comunidades son procesos que normalmente pueden tomar más tiempo de lo esperado. En ciertos casos, donde se necesite una consulta previa, se debe invitar a todos los actores a cargo y a las instituciones designadas para tal fin. Incluir



R. Manglares, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

S. Detalle canoa, ciénaga de La Virgen, Bolívar.

Foto: Luis Fernando López.

PARTE II

Primeros pasos



T. *Utricularia foliosa*, planta nativa con hábito carnívoro. Sus inflorescencias son flotantes, sostenidas por estructuras bulbosas. Lago Tarapoto, Amazonas. Foto: María Isabel Henao.

U. Macrofauna edáfica de las madrevejas, Valle del Cauca. Foto: Luis Fernando López.

estos tiempos en la planeación es determinante para el buen desarrollo del proyecto.

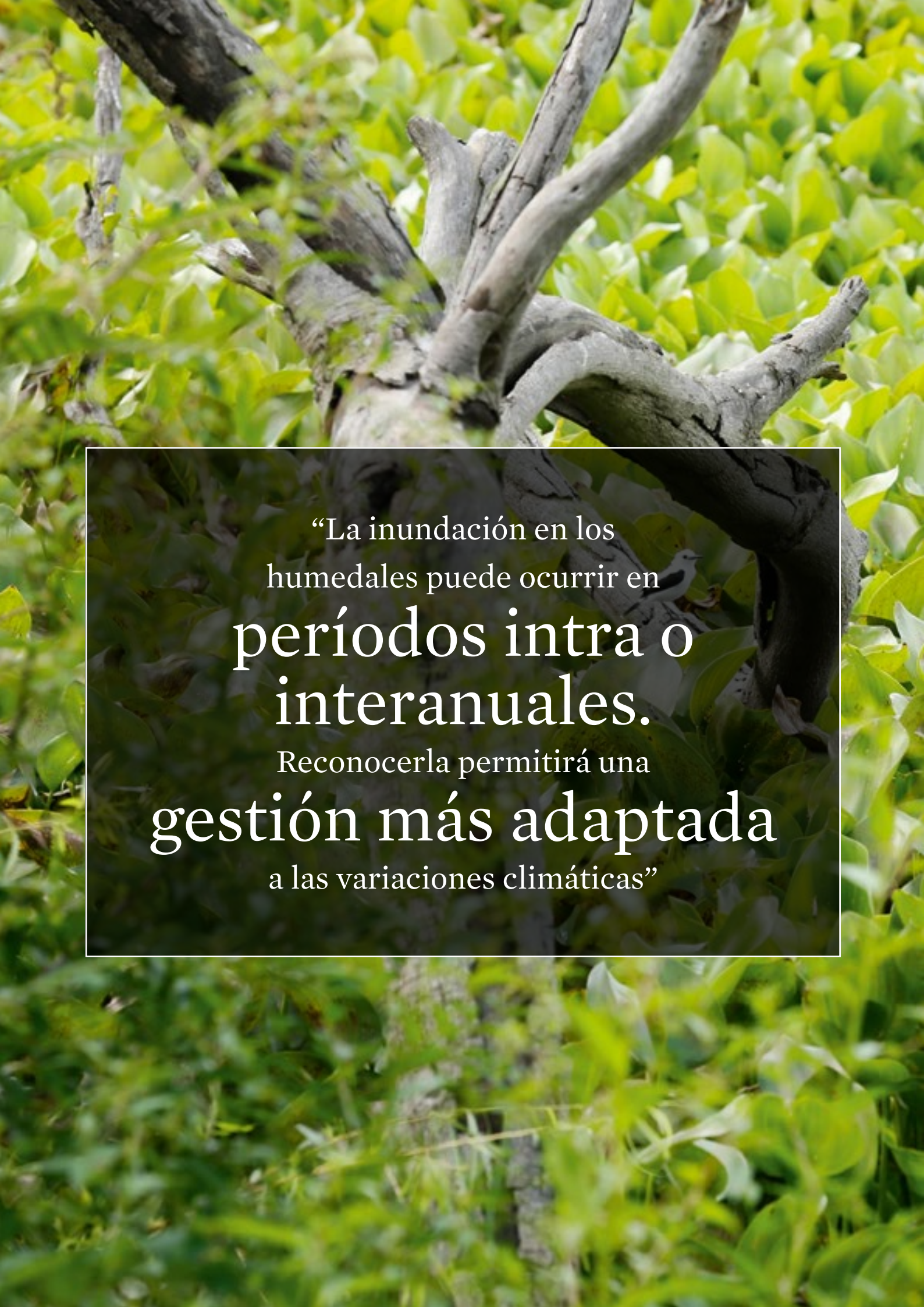
Posterior a la definición del límite biofísico es fundamental realizar procesos de zonificación para fortalecer la gestión diferencial de acuerdo con el tipo de humedal que permita la conservación y uso adecuado del ecosistema. De igual manera, cuando se realicen procesos de gestión se debe entrar a mirar la relación con figuras de protección y ordenamiento territorial a diferentes escalas, así como temas de tenencia de tierra, actividades culturales, étnicas, asimetrías de poder, entre otras (Vilardy et al. 2014) que tienen que ser incorporados para entender los procesos que se dan dentro del humedal.

Adicionalmente, estudios de caracterización biológica y modelamiento hidrológico, acompañados de estudios sociales pueden brindar una línea base para el monitoreo y ayudar a una mejor comprensión del funcionamiento del ecosistema, los servicios que presta y su vulnerabilidad frente a motores de transformación y variabilidad climática, fundamentales en la gestión del riesgo.

El límite del humedal acompañado de estudios complementarios puede orientar la toma de decisiones para definir qué actividades no comprometen su existencia y pueden llevarse a cabo con cierta capacidad de carga. Igualmente, define las actividades que deben ser restringidas o prohibidas porque atentan contra su conservación e integridad ecológica.

El reconocimiento de los humedales puede fortalecer los planes de desarrollo. Reconocer qué zonas se inundan con cierta periodicidad servirá como lineamiento para una planeación adaptativa a esta dinámica disminuyendo los daños en fuertes períodos de lluvia. De la misma manera, ayudará a identificar zonas de recarga de los humedales y de acuíferos para mejorar el aprovisionamiento de agua que se evidencia en las temporadas secas.





“La inundación en los
humedales puede ocurrir en
**períodos intra o
interanuales.**

Reconocerla permitirá una
gestión más adaptada
a las variaciones climáticas”



LITERATURA

- Bedoya, M., C. Contreras y F. Ruíz.** 2011. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. Capítulo 7, pp. 228-320. En: Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Bogotá D. C., Colombia.
- Betancur et al.** 2016. Relación de algunos humedales asociados a aguas subterráneas en Colombia. Universidad de Antioquia Grupo GIGA e Instituto Humboldt. En prensa.
- Chuvioco, E.** 1995. Fundamentos de teledetección espacial. 2a edición. Ediciones Rialp S.A. Madrid. 449 p.
- Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Gole y E. T. LaRoe.** 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, FWS/OBS-79/31. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. Washington D. C. 103 p.
- DERM - Department of Environment and Resource Management.** 2010. Queensland wetlands delineation and mapping guidelines. Queensland Government. Brisbane.
- Environmental Laboratory.** 1987. Corps of engineers wetlands delineation manual. Wetlands Research Program Technical Report Y-87-. Washington D. C. Disponible en: <http://www.cpe.rutgers.edu/Wetlands/1987-Army-Corps-Wetlands-Delineation-Manual.pdf>
- Environmental Protection Agency.** 2005. Wetland mapping and classification methodology – overall framework – a method to provide baseline mapping and classification for wetlands in Queensland, version 1.2. Queensland Government. Brisbane. 45 p.
- Fitoka, E. y I. Keramitsoglou (eds.).** 2008. Inventory, assessment and monitoring of mediterranean wetlands: mapping wetland-using Earth observation techniques. EKBY & NOA. MedWet publication. (Scientific reviewer Nick J Riddiford). 139 p.
- Flórez Ayala, C., L. Estupiñán Suárez, S. Rojas, C. Aponte, M. Quiñones, O. Acevedo y Ú. Jaramillo.** 2016. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. Biota Colombiana. En prensa.
- IDEAM.** 2005. Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.
- IDEAM.** 2010. Leyenda nacional de coberturas de la Tierra. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Metodología Corine Land Cover adaptada

para Colombia. Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

IDEAM. 2013. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

IDEAM, MADS, Instituto Humboldt, SINCHI, INVEMAR, IIAP, PNN e IGAC. 2015. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología. Bogotá D. C., Colombia.

IGAG, MADR, MADS, MINVIVIENDA, INCODER, CORPOICA, IDEAM, UAESPNN, Instituto Humboldt, INVEMAR, SINCHI e INGEOMINAS. 2012. Conflictos de uso del territorio Colombiano. Escala 1:100.000. Proyecto Convenio Marco de Cooperación Especial. Coordinación técnica Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C., Colombia.

IGAC. 2014. Cartografía base, gdb escala 1:100.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. C., Colombia.

Instituto Humboldt. 2015. Mapa de humedales continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Fondo Adaptación. Convenio 13-014 (FA 005 de 2013). Bogotá D. C., Colombia.

Jones, K., Y. Lanthier, P. van der Voet, E. van Valkengoed, D. Taylor y D. Fernández-Prieto. 2009. Monitoring and assessment of wetlands using Earth Observation: The GlobWetland Project. *Journal of Environmental Management* 90: 2154-2169.

Junta de Andalucía. 2002. Plan andaluz de humedales. Consejería de Medio Ambiente. Egondi Artes Gráficas S. A. Sevilla. 253 p.

Lillesand, T. M., R. W. Kiefer y J. W. Chipman. 2008. Remote sensing and ima-

ge interpretation. Jhon Wiley & Sons, Inc. 6ª edición. Estados Unidos. 756 p.

McCoy, R. M. 2005. *Field Methods in Remote Sensing.* New York: The Guilford Press. 159 p.

MDA Geospatial. 2008. GlobWetland Final Technical Report. Prepared by MDA Geospatial Inc. to European Space Agency ESA. Disponible en: http://due.esrin.esa.int/files/131-176-149-30_20097910856.pdf

Meidinger, D. V. 2003. Protocol for Accuracy Assessment of Ecosystem Maps. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Tec. Rep.11. 23 p.

MMA Centro de Ecología Aplicada. 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de Chile. Santiago de Chile. 164 p.

Patiño, J. E. 2016. Análisis espacial cuantitativo de la transformación de humedales continentales en Colombia. *Biota Colombiana.* En prensa.

Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010. Inventario de humedales: marco de Ramsar para el inventario y la descripción de las características ecológicas de los humedales. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales.* Volumen 15. 4ª edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 84 p.

Vilardy, S. P., Ú. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez y C. Aponte. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales. Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia.

CAPÍTULO 4

Revisión de información disponible

Lina M. Estupiñán Suárez
Juan Carlos Arias García
Oscar Javier Acevedo Amaya
Jorge E. Patiño
Adriana Prieto Cruz
Diego F. Restrepo Zambrano
Sergio Rojas
Agustín Rudas Lleras



El análisis de los criterios biofísicos que llevarán a la identificación del límite funcional comienza con la revisión de información disponible a nivel local, regional e incluso nacional. Esta debe centrarse en estudios físicos o biológicos que brinden datos relevantes para establecer el límite funcional del ecosistema. Por lo tanto, se debe ser riguroso en su selección ya que es fundamental diferenciar correctamente entre estudios que sean caracterizadores del humedal y los que aborden la zona de transición entre el ecosistema de humedal y áreas aledañas, donde la acumulación de agua no ocurre o sucede en un tiempo insuficiente para generar condiciones que propicien un ecosistema de humedal.

4.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA COLOMBIA

A continuación se describen fuentes, documentos, cartografía, entre otros, que proveen información valiosa en el estudio de los humedales organizada temáticamente (Figura 4.1); se incluye una descripción general, fuentes sugeridas de consulta y lugares donde se puede descargar u obtener. Vale mencionar que esta información no es estrictamente indispensable; no obstante, sí aporta mucho al conocimiento previo del área de estudio, que es muy útil para dirigir el trabajo de campo y tener una idea preliminar de los procesos que ocurren en la zona de interés.

A. INFORMACIÓN GENERAL A TRAVÉS DE:

- 1 Consulta de estudios previos de caracterización, identificación o delimitación del humedal. En los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) y los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) muchas veces se encuentra información general descriptiva de los principales humedales presentes en cada municipio.
- 2 Estudios realizados o contratados por la corporación autónoma regional correspondiente pueden brindar las primeras bases en la consolidación de los criterios biofísicos.
- 3 Consulta de documentos históricos respecto al humedal que puedan orientar sobre sus características iniciales o antecesoras al momento del ejercicio, el uso que ha tenido, los cambios y su dinámica en general.
- 4 El inventario nacional de humedales, construido a partir de información secundaria generada o recopilada por las CAR, el MADS,



B

la Contraloría General de la República, PNN, INVEMAR e IIAP, brinda información homogenizada de diferentes fuentes. Los datos se encuentran en un único formato cartográfico (*shape*) de puntos con atributos asociados a planes de manejo, nombres geográficos, localización y datos generales (altura, área, etc.) en los casos donde la información está disponible. Este proceso fue liderado por el Instituto Humboldt en el marco del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales



- A. Chigüiros en la sabana inundable, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.
- B. Mariposa búho, *Caligo* sp. Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

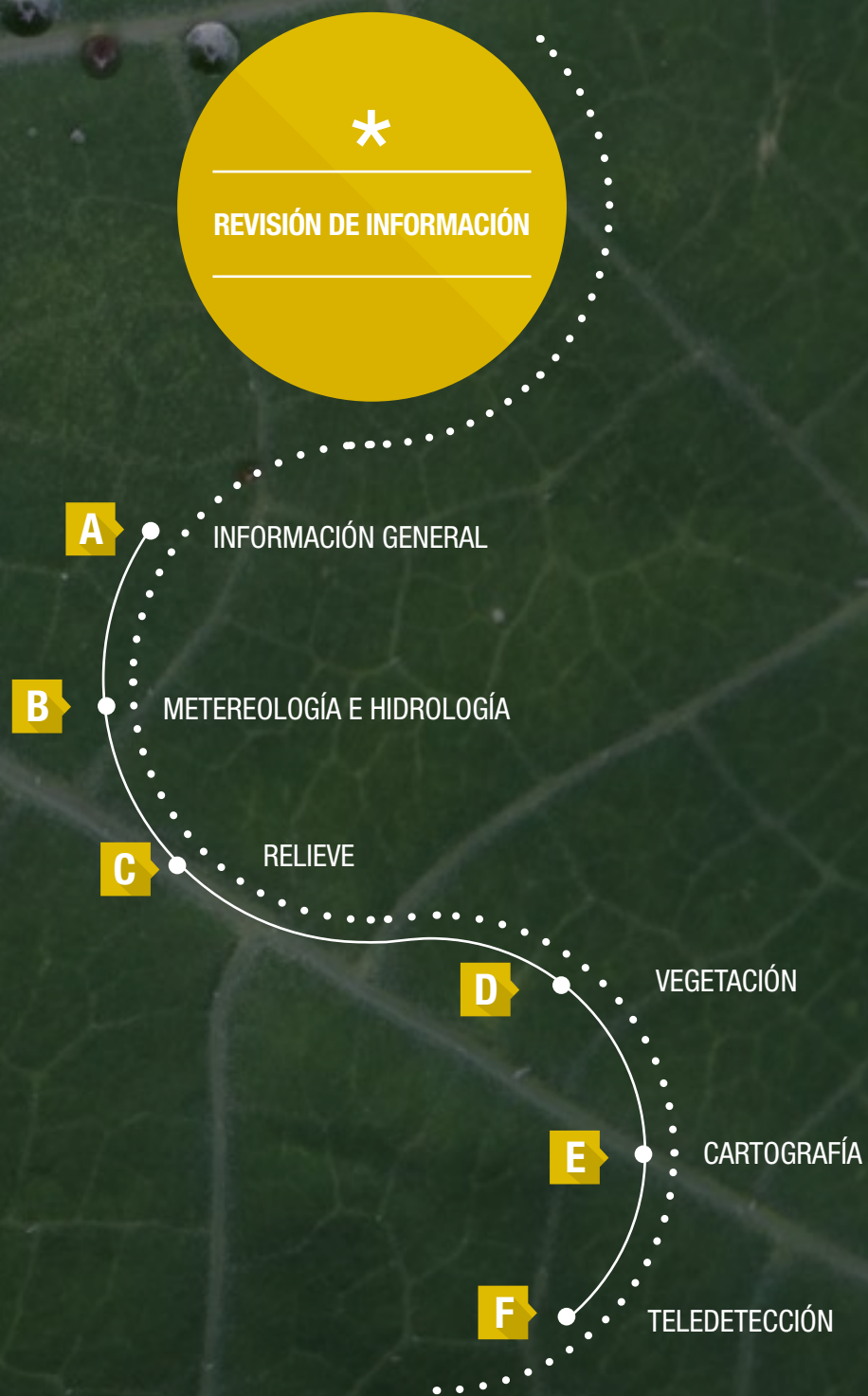


Figura 4.1. Fuentes de información disponible para la identificación del límite del humedal.

B. METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA A TRAVÉS DE:

5 Datos climáticos que ayudan a la interpretación y determinación de la permanencia de los humedales y a identificar los ciclos de aguas altas y aguas bajas. Si no se tiene acceso a datos climáticos, se puede aproximar esta información mediante entrevista con los pobladores locales de la zona bajo estudio, en la que se indague por la ocurrencia de períodos de lluvias y sequías a lo largo del año y de eventos extremos que hayan impactado en la zona. La entidad encargada de la recopilación de datos climáticos en Colombia es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), aunque en muchas partes del país existen iniciativas locales de instrumentación y análisis de información hidrometeorológica local que también son útiles para identificar los períodos secos y húmedos a lo largo del año. Algunas son estaciones de gremios, como el Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé), acueductos, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), entre otros.

6 Superficies climáticas de los promedios mensuales multianuales de temperatura (mínima, media, máxima), precipitación y humedad de la serie 1981-2010 (Figura 4.2), al igual que de las series homogenizadas y completadas estadísticamente para el mismo período, productos generados en el marco del proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales.

7 Datos de niveles y caudales de las estaciones limnográficas o limnimétricas. La red nacional es administrada por el IDEAM; sin embargo, también pueden existir estaciones regionales o locales.

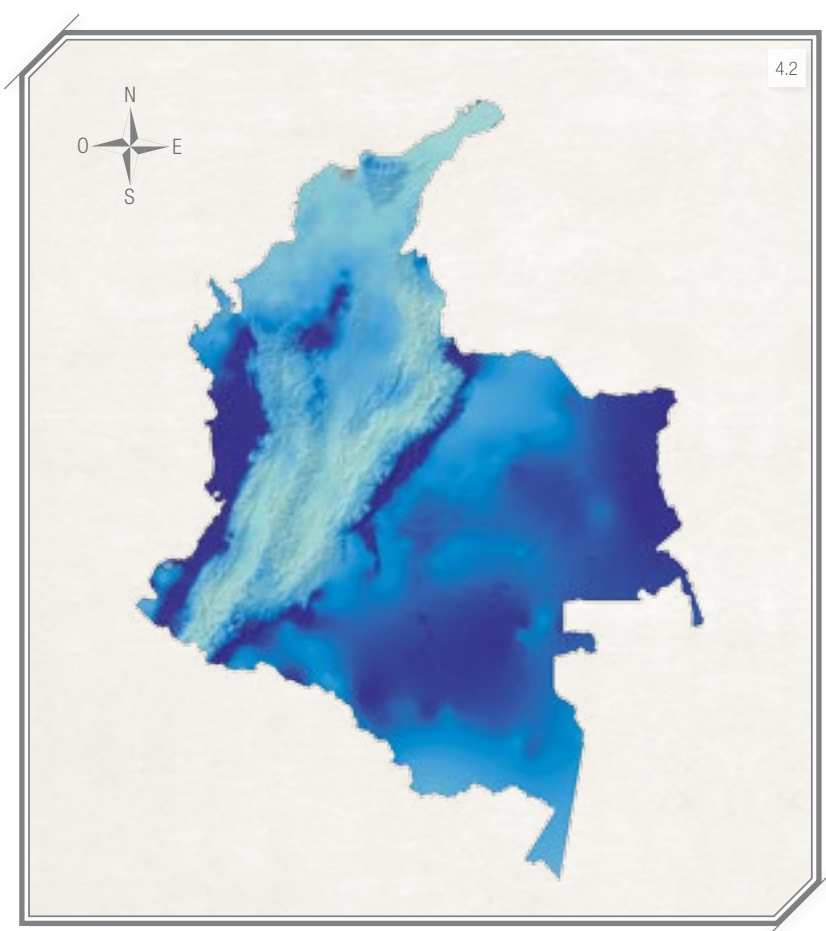
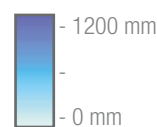
C. RELIEVE A TRAVÉS DE:

8 La revisión de levantamientos topográficos y batimétricos cuando estén disponibles para la zona. Estos pueden ser la base de estudios hidrológicos para evaluar la capacidad de retención de las cubetas, los flujos hidrológicos, entre otros.

9 El Modelo de Elevación Digital (DEM) y los modelos de sombras elaborados a partir del mismo, así como el de pendientes, son un insumo útil para identificar puntos de quiebre de la pendiente, zonas de pendiente nula y depresiones. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) provee gratuitamente un modelo de elevación global con resolución de 30 m (<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>), el cual es poco útil para zonas planas. Asimismo, los análisis realizados para zonas de montaña solo sirven a niveles generales y son indicativos debido



Figura 4.2. Promedio mensual multianual de precipitación para el mes de junio, territorio continental. Serie 1981-2010. Fuente: IDEAM e Instituto Humboldt (2014).





C. Coleópteros en las sabanas inundables de la Orinoquia, Casanare.
Foto: Eduardo Cadena.

D. Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.

D. VEGETACIÓN A TRAVÉS DE:

10 Compilaciones de documentos de diferentes fuentes bibliográficas (artículos científicos, tesis, literatura gris, informes técnicos, boletines, entre otros) que contengan información sobre vegetación o estudios florísticos realizados en el humedal y que permitan conso-

lidar un listado de las especies registradas en el área de interés, para posteriormente identificar la vegetación hidrófila. Algunos de los sitios donde se puede encontrar son:

- a. Tesis: consultar los repositorios institucionales de las universidades. Para ello buscar en internet por palabras claves como “repositorio Universidad Nacional de Colombia” o la universidad de su interés o región.
- b. Artículos científicos: hay muchas revistas a nivel nacional e internacional que publican documentos de caracterización de humedales. Se puede hacer una búsqueda en internet, revista por revista (por ejemplo, Biota Colombiana, Caldasia, Actualidades Biológicas, Revista de la Facultad de Agronomía, Céspedesia, Orinoquia, entre otras). También se puede hacer una búsqueda a través del motor Google académico (www.scholar.google.com), donde las consultas realizadas direccionan respuestas en portales de revistas científicas y libros.
- c. Libros de información general sobre biología y ecosistemas de diferentes regiones de Colombia que pueden ser consultados, en los cuales es posible obtener descripciones y caracterizaciones de humedales:
 - i. *Serie Colombia Diversidad Biótica*, publicada por el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, disponible en: www.colombiadiversidad-biotica.com
 - ii. *Serie de Regiones de Colombia*, publicada por el Banco de Occidente, disponible en : http://imeditores.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=43&Itemid=174

11 Compilación de los registros florísticos de las bases de datos de los herbarios en línea, nacionales e internacionales. Casi siempre es posible seleccionar un área geográfica aproximada para visualizar y descargar los listados, que se han compilado, de especies registradas. Algunas direcciones que se pueden consultar son:

- a. El Sistema de Información en Biodiversidad (SiB), disponible en: www.sibcolombia.org
- b. Nombres comunes (Bernal *et al.* 2015a).
- c. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al.* 2015b).
- d. El herbario del Instituto Alexander von Humboldt, disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/servicios/colecciones-biologicas/herbario-federico-medem>
- e. El Herbario Nacional Colombiano, disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>
- f. El herbario de la Universidad Distrital, disponible en: <http://herbario.udistrital.edu.co/herbario/>
- g. El herbario del Missouri Botanical Garden, disponible en: www.mobot.org
- h. El herbario del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, disponible en: http://www.sinchi.org.co/coleccionesbiologicas/index.php?option=com_herbariov_oc&Itemid=29
- i. El herbario del Instituto para la Investigación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (INCIVA), disponible en: www.inciva.gov.co/biodiversidad/colecciones/herbario-tulv-db

- j. El herbario del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB), disponible en: <http://coleccion.jbb.gov.co/herbario/especimen/simple>
- k. El herbario de la Universidad Tecnológica del Chocó, disponible en: <http://coleccionbiologicas.utch.edu.co/?menu=38&tipo=pagina&accion=ver&id=>
- l. El herbario de la Universidad de Nariño, disponible en: <http://herbariopso.udenar.edu.co/colecciones.php>
- m. El herbario de la Universidad Católica de Oriente (Antioquia), disponible en: <http://www.uco.edu.co/floraorienteantioquia/Paginas/default.aspx>



1. Un ejemplo es la misión WorldDEM generada con imágenes TanDEM-X <http://worlddem-database.infoterra.de/>





E. Madrevieja, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.



BICHOFUÉ CHICO

Pitangus lictor
Se encuentra comúnmente en matorrales y pastizales inundables cerca de ríos y pantanos. Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.

n. Debido al esfuerzo nacional que se ha realizado para consolidar la información de las especímenes biológicos en una sola plataforma nacional a través del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB), varios herbarios regionales no cuentan con páginas que permitan consultar los especímenes que poseen. Para información regional se recomienda consultar la página del Registro Único Nacional de Colecciones Biológicas, en donde se podrán encontrar todas las colecciones registradas y los datos de contacto de los administradores para referir las preguntas que se tengan.

E. CARTOGRAFÍA A TRAVÉS DE:

12 Cartografía base 1:100.000 nacional actualizada en 2014, elaborada por el IGAC. Adicionalmente, se puede encontrar cartografía temática a escalas mayores: para la gran parte del territorio existen planchas a escala 1:25.000, aunque en algunas zonas no ha sido actualizada. También existe, particularmente para cascos urbanos, cartografía básica a escalas 1:10.000 y 1:2.000. La cartografía base incluye capas de super-

ficie de agua como drenajes dobles y sencillos, lagos, lagunas, ciénagas, y características del relieve como curvas de nivel, además de otras capas que pueden ser de interés.

13 La cartografía geológica 1:100.000, 1:50.000 y 1:25.000 que permite identificar el tipo de materiales del sustrato y las edades geológicas de los mismos. En Colombia los mapas geológicos son responsabilidad del Servicio Geológico Colombiano (SGC, antes Ingeominas). En las diferentes sedes del SGC se puede consultar o comprar la cartografía geológica de la región de interés.

14 El Estudio de Sistemas Morfogénicos 1:500.000 que es útil para identificar regiones y ambientes geomorfológicos (IDEAM 2010), así como para la clasificación de los humedales identificados; también se puede recurrir a la cartografía de unidades geomorfológicas en escalas de mayor detalle (1:100.000 – 1:25.000) de estudios previos donde estén disponibles. Esta información es útil para identificar geoformas asociadas a la presencia de humedales, y en Colombia hay varias ins-

titaciones que elaboran mapas de este tipo (IGAC, IDEAM y SGC).

15 La cartografía de suelos a escala general (1:100.000) que debe tomarse como indicativa de la presencia de suelos hídricos, que luego debe verificarse en el terreno. En Colombia la cartografía de suelos (geopedología) es responsabilidad del IGAC. En sus diferentes sedes se pueden consultar o comprar los mapas de suelos de la zona de estudio. También existen estudios departamentales de este tipo a escalas variables, los cuales son de utilidad.

16 El mapa de humedales de Colombia 2015 que fue generado a partir de la integración de mapas temáticos de geomorfología, suelos, cobertura de la Tierra, red hidrográfica y frecuencias de inundación. Tiene una resolución espacial de 25 m, y su unidad mínima de mapeo es 25 hectáreas, lo que significa que humedales con un área inferior no son identificados (aunque se pueden dar casos excepcionales) (Figura 4.4.). Los límites aquí consignados deben ser tomados como indicativos, ya que su alcance es nacional, y verificarse posteriormente el trabajo a escalas de mayor detalle. Su leyenda presenta cinco categorías de humedales:

- Permanentes abiertos: humedales donde la presencia de agua es constante y no hay cobertura de árboles. Por ejemplo: lagos, lagunas, ciénagas, ríos, glaciares, etc.
- Permanentes bajo dosel: siempre están inundados y cuentan con una cobertura de bosque. Por ejemplo, los bosques inundables del Atrato, el Amazonas o los manglares.
- Temporales: la presencia de agua no es constante pero sí se presenta con cierta periodicidad, como en las sabanas inundables de la Orinoquía.

- Potencial medio: en estos las características del suelo y las geoformas indican que puede haber un humedal en un área específica.
- Potencial bajo: corresponde a zonas con características similares a las de potencial medio, en las cuales los criterios presentan mayor incertidumbre respecto a su grado de asociación con humedales.

17 Los mapas de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia a escala 1:500.000 de 2007 y 1:100.000 de 2015, proceso liderado por el IDEAM y resultado de mesas técnicas del SINA. Estos mapas integran información de suelos, coberturas, zonificación climática, entre otras. El mapa 1:100.000 presenta una categoría de ecosistemas acuáticos.

18 El mapa de coberturas de la Tierra con metodología Corine (CLC) del IDEAM a escala 1:100.000 que tiene dos períodos de generación: la línea base 2000-2002 y el período 2005-2009. Es el resultado de estudios realizados por IDEAM, el

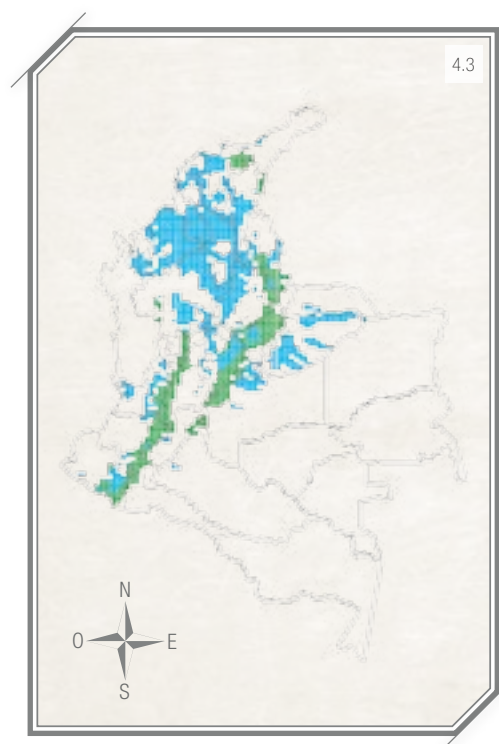


Figura 4.3. Actualización cartográfica base en zonas de páramo y de humedales. Escala 1:25.000, en el marco del convenio IGAC, Instituto Humboldt - Proyecto Fondo Adaptación (IGAC 2016).

■ Páramos
■ Humedales

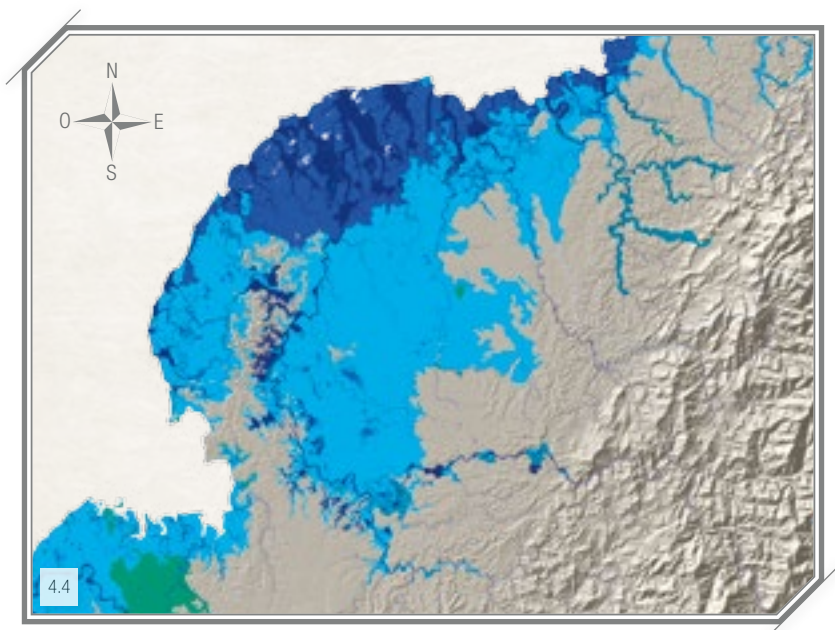


Figura 4.4. Acercamiento mapa de humedales de Colombia. Costa pacífica, Nariño (Instituto Humboldt 2015).

	Permanente abierto
	Permanente bajo dosel
	Temporal
	Potencial medio
	Potencial bajo

Instituto Humboldt, el SINCHI, la UAESPNN y el IGAC. En la leyenda de este mapa se incluyen clases como bosques y áreas seminaturales con evidencia de inundación y superficies de agua. Para algunas zonas como los páramos, existen mapas de cobertura a escala 1:25.000 realizados en el marco del Proyecto de Insumos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales.

19 La zonificación y codificación de unidades hidrográficas de Colombia a cargo del IDEAM que cuenta con un archivo cartográfico (*shapefile*) actualizado a 2013, el cual presenta una primera división general de las áreas hidrográficas asociadas a las grandes vertientes: Pacífico, Amazonas, Orinoco, Caribe y la cuenca Magdalena-Cauca que está separada de la vertiente Caribe por su importancia política y socioeconómica. Las áreas hidrográficas a su vez se dividen en unidades de menor jerarquía, zonas y subzonas, que permiten implementar las directrices de gestión y planificación ambiental del territorio.

20 El reporte de áreas afectadas por la inundación 2010-2011, a cargo del



IDEAM, el IGAC y el DANE, que elaboró el mapa de susceptibilidad a la inundación línea base 2001 e identificó las zonas afectadas en 2011. Información complementaria que puede encontrarse en la infraestructura de datos colombianos, disponible en: <http://www.icde.org.co/web/riesgo-emergencia-2010>

F. TELEDETECCIÓN A TRAVÉS DE:

21 Fotografías aéreas e imágenes satelitales de fechas diferentes y de alta resolución espacial (~ 1 m, escala 1:5.000-1:30.000) permitirán revelar la historia del sitio y los cambios que se han producido en el tiempo. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) tiene un archivo extenso de fotografías aéreas e imágenes satelitales de todo el país. Las primeras pueden consultarse y adquirirse en las diferentes sedes del IGAC a lo largo del país, mientras que las imágenes satelitales pue-



den buscarse a través del Banco Nacional de Imágenes disponible en: <http://bni.igac.gov.co:81/home/srv/es/main.busqueda>

22 Imágenes satelitales de media resolución también se usan para la interpretación visual y el cálculo de varios índices normalizados básicos, relativamente fáciles, para determinar la presencia de agua en el paisaje con imágenes SPOT y Landsat (ver Chan y Xu 2013 y Davranche et al. 2013). Las bandas del infrarrojo cercano también pueden usarse para observar diferencias en la humedad del suelo. Las imágenes SPOT son de carácter comercial, mientras que las imágenes Landsat son de acceso gratuito a través del USGS, disponible en: <http://eros.usgs.gov/satellite-imagery>. Adicionalmente, la Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó en 2015 el satélite Sentinel-2, el cual también será de libre acceso. Se podrá encontrar in-

formación más detallada sobre sensores, conceptos y procedimientos generales en el capítulo 5.

23 Mapas de radar generados a partir de mosaicos de imágenes obtenidas por el sensor ALOS-PALSAR I entre los años 2007-2011, elaborados para cubrir el territorio nacional continental. Los mapas resultantes de análisis multitemporales fueron generados con series temporales de mosaicos. Los análisis con resolución de 50 m contaron con 7 períodos distintos, mientras que los de 100 m de resolución, con 28. Adicionalmente se contó con un mosaico de 25 m de resolución para un solo período. Los productos, que se presentan a continuación, fueron elaborados por la compañía SarVision de los Países Bajos, en marco del convenio IDEAM-Instituto Humboldt del proyecto Fondo Adaptación, y contaron con el apoyo de la Agen-



F. Manglares, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.



2. "Levantamiento" es el nombre técnico que hace referencia al estudio de los suelos y su representación cartográfica.
3. Gran parte del país cuenta con levantamientos realizados por el IGAC mediante sus estudios departamentales a escalas 1:100.000 y 1:250.000. También existen estudios a escalas de mayor detalle para algunas regiones elaborados en la década del 70, disponibles en la biblioteca del IGAC.

cia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y la Universidad de Wageningen de los Países Bajos.

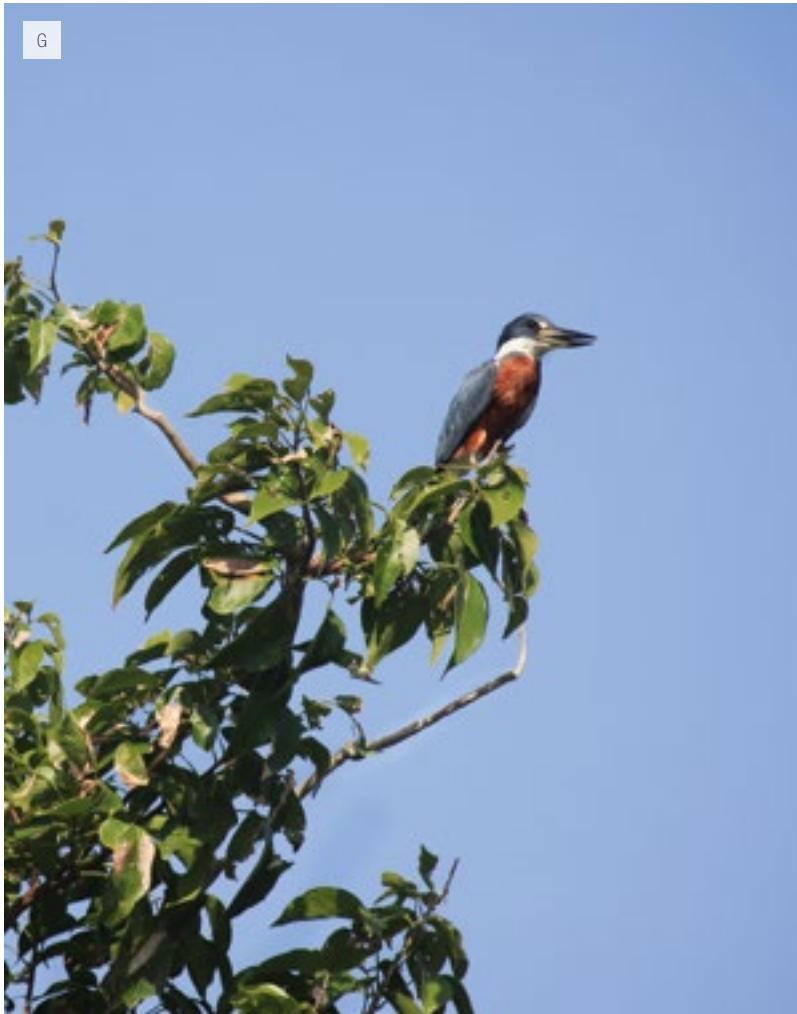
- a. Mapas de inundación: muestran las zonas con presencia de agua (abierto o bajo dosel) en cada una de las fechas en las que fueron tomadas las imágenes (de manera independiente). Están en resolución de 25, 50 y 100 m.
- b. Mapas de frecuencias: muestran el número de veces en el que cada uno de los píxeles de las imágenes tuvo presencia de agua, ya fuese en condiciones de inundación abierta o bajo dosel. Están con resolución de 50 y 100 m con 7 y 28 frecuencias respectivamente para cada condición de inundación (Figura 4.5).
- c. Mapas de inundación máxima: muestran la extensión máxima de inundación, que corresponde a los píxeles en los que se identificó agua en al menos una fecha, sin

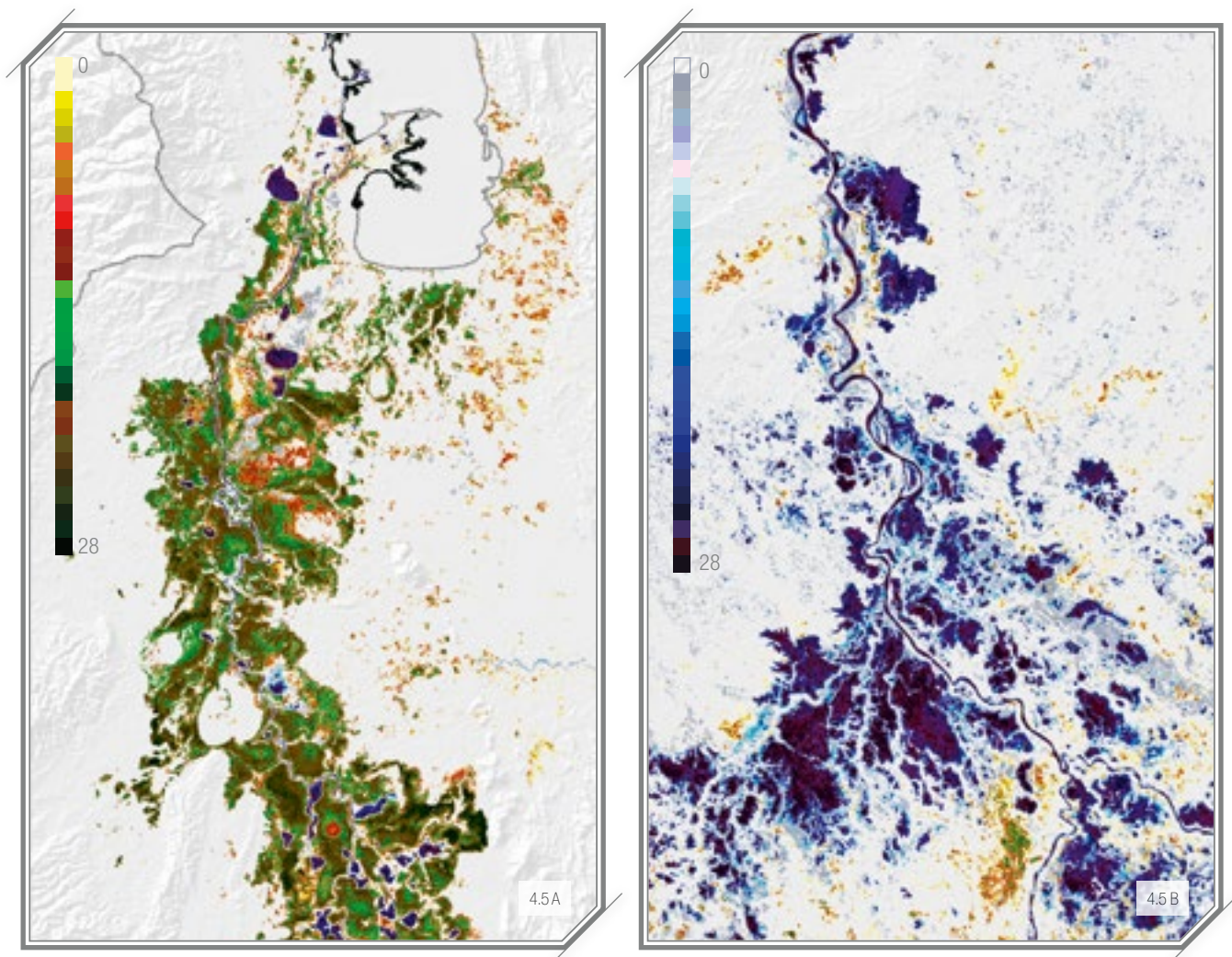
discriminar la condición de inundación (abierto o bajo dosel) a 50 m de resolución.

- d. Mapa de vegetación: corresponde a un mapa cuya clasificación se basa en las diferencias estructurales de la vegetación. Está conformado por 11 clases diferentes: bosque inundado, pantano, bosque alto, bosque en montaña, bosque degradado, arboladas, arbustales altos, arbustales bajos, pastos y arbustos, sabanas y sabanas inundables. Este mapa fue generado con resolución de 50 m a partir de imágenes de radar de diferentes características y años, aunque la base nominal corresponde al año 2010.

Después de la revisión y selección de la información obtenida es necesario evaluar cuál es útil en el contexto de la delimitación y cuál hace falta, con el fin de priorizar la información que se debe generar en campo. Con la interpretación de esta información se espera:

- + Identificar vacíos de información que pueden ser complementados en campo y a su vez generar insumos para el trabajo en la zona teniendo en cuenta criterios tales como mapas, selección de transectos, vías de acceso, interpretación de unidades de paisaje, unidades geomorfológicas, coberturas, zonas de inundación, etc.
- + Seleccionar los sitios de muestreo y los transectos y preparar el material necesario para la salida de campo como mapas de cobertura, vías de acceso, cartografía base, zonas de inundación y unidades a confirmar, como por ejemplo geoformas, entre otros que se consideren necesarios.
- + Identificar obras de infraestructura como canalizaciones, desagües, jarillones y terraplenes que afecten el flujo natural del agua y los límites aparentes





del humedal, apoyado de documentos históricos y estudios multitemporales que evidencien estos cambios espaciales y que modifiquen el drenaje de agua superficial y subterránea, y los patrones de estancamiento.

- + Definir la heterogeneidad vegetal del humedal para planear el diseño del muestreo teniendo en cuenta la cartografía y los lugares donde se realizará el levantamiento de información de campo, de modo que se incluyan todos los sectores identificados que conforman el humedal.
- + Reconocer las zonas húmedas a partir de fotografías aéreas. Estas se observan en tonos más oscuros cuando se trata de blanco y negro y en tonos verdes más oscuros en fotografías a color. Asimismo, la interpretación con visión estereoscópica permite visua-

lizar el relieve en tres dimensiones e identificar canales de la red de drenaje y otros elementos del paisaje como montículos, planos inundables y depresiones. Esta interpretación es muy valiosa para el componente de geomorfología y suelos.

- + Generar información sobre los rasgos del terreno tales como topografía, patrones de drenaje y estancamiento, usos de la tierra, comunidades de vegetación y cobertura, y fragmentación y pérdida de hábitat a través de fotografías aéreas.
- + Saber qué tipos de suelos se presentan en un área determinada a partir de levantamientos² a 1:100.000 o más detallados, y revisar la plancha respectiva al sitio de estudio³. Este acercamiento permite una mejor preparación para su reconocimiento, ya



Figura 4.5. A y B. Mapa de frecuencias de inundación 100 m (2007-2011). A: bosques inundables del río Atrato. B: complejo cenagoso La Mojana. Los colores indican la frecuencia de inundación, siendo cero el menor valor y 28 el mayor.



G. *Megaceryle torquata*, martín pescador de collar. Ciénagas de Lórica, Córdoba.
Foto: María Isabel Henao.



H. Monjita, *Chrysomus icterophalus*, en la Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.

que no es lo mismo enfrentarse a suelos orgánicos a minerales, o incipientes a muy evolucionados.

- + Generar una aproximación completa sobre la morfología, las características y las propiedades químicas y físicas de los suelos involucrados, además de la posición geomorfológica donde se presentan, lo cual es un buen indicativo para las personas que reconocen estas geformas del relieve en el campo.
- + Con las imágenes satelitales se pueden hacer observaciones similares a las que se realizan con fotografías aéreas, con diferentes combinaciones espectrales que ayuden a identificar unidades y así lograr mayores contrastes para separar visualmente objetos en la imagen. Adicionalmente se pueden generar índices de humedad u otros que faciliten la identificación de humedad como se explica en el capítulo 5.
- + Determinar la permanencia de rasgos en el tiempo; por ejemplo, las características topográficas usualmente permanecen, mientras que ocurren variaciones significativas por el uso de la tierra, canales de drenaje, carreteras y otras estructuras detectadas mediante

la revisión de fotos aéreas o imágenes satelitales de diversos años.

- + Determinar las características naturales o inducidas por el hombre que puedan estar afectando los aspectos hidrológicos, de vegetación y de suelos del humedal (Moss 2006). A partir de esto, identificar las diferentes zonas que presenta el humedal para posteriormente seleccionar la ubicación de los transectos en el mapa, la imagen o la fotografía.

El producto final de esta fase es la organización y consolidación de la información disponible, lista para ser usada en cualquiera de los criterios. Además, este proceso ayuda a la detección de los vacíos de información donde el trabajo de campo se hace más valioso para tomar los datos faltantes.

Finalmente, toda la información cartográfica deber ser homogenizada bajo los mismos parámetros. Es decir, todos los archivos deben encontrarse bajo la misma proyección cartográfica, sistema de coordenadas y unidades. En el caso concreto de Colombia, el marco geocéntrico nacional de referencia es MAGNA-SIRGAS, *datum* adoptado oficialmente para Colombia. Adicionalmente, se cuenta con cinco orígenes diferentes cuando se trabaja con coordenadas planas, dependiendo de la localización del área de estudio. Es importante que los archivos cartográficos estén organizados en una base de datos geográfica que facilite su visualización en un software SIG para su posterior procesamiento. Existen programas libres como QGIS, GRASS GIS y MultiSpec y otros que requieren licencias de uso como ArcGIS, ERDAS y ENVI.

Los insumos obtenidos en esta revisión pueden ser usados en varios de los criterios de identificación, como es el caso del modelo de elevación de terreno que sirve para geomorfología, hidrología y suelos. Igual ocurre con las imágenes satelitales que proporcionan información espacial y temporal valiosa, útil para todos los criterios (el capítulo 5 ofrece una descripción detallada).



LITERATURA

Bernal, R., G. Galeano, A. Rodríguez, H. Sarmiento y M. Gutiérrez. 2015a. Nombres comunes de las plantas de Colombia. Disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/>

Bernal R., S. R. Gradstein y M. Celis. 2015b. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. Disponible en: catalogo.plantascolombia.unal.edu.co

Chan, K. K. Y. y B. Xu. 2013. Perspective on remote sensing change detection of Poyang Lake wetland. *Annals of GIS* 19(4): 231-243. Doi: 10.1080/19475683.2013.843589.

Davranche, A., B. Poulin y G. Lefebvre. 2013. Mapping flooding regimes in Camargue wetlands using seasonal multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 138: 165-171. Doi: 10.1016/j.rse.2013.07.015.

IDEAM. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

IDEAM. 2010. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Escala 1:500.000. (A. Flórez, ed.). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

Moss, R. 2006. Guía de identificación y manejo para humedales en propiedades privadas en Costa Rica. 52 p. Disponible en: <https://www.setena.go.cr/documentos/baulas/ASPECTOS%20TECNICOS%20DE%20MANEJO/GUIA%20DE%20HUMEDALES/GUIA%20DE%20HUMEDALES.pdf>. Consultado en mayo de 2015.

USGS. 2016. Productos Landsat. Datos disponibles gracias a U.S. Geological Survey. La página web de USGS es <http://eros.usgs.gov/about-us/data-citation>.

CAPÍTULO 5

Sensores remotos: principios y aplicaciones

Sergio Rojas

Lina M. Estupiñán Suárez

Los sensores remotos son una importante fuente de información para la identificación del límite de los humedales, pues facilitan el acercamiento a nivel regional y con una visión de cuenca hidrográfica. De esta manera han sido empleados intensamente en trabajos de ecosistemas de humedal tanto a nivel nacional como en otras partes del mundo. Sin embargo, su óptimo uso requiere conocer sus potencialidades y sus limitaciones.

Este capítulo busca dar a conocer precisamente ¿en qué situaciones se pueden usar los sensores remotos como herramienta en la identificación del límite de los humedales?, ¿cómo se puede hacer más eficiente su uso?, ¿cuál es su potencialidad como insumo de identificación de los aspectos biofísicos? y ¿cuáles resultados se pueden esperar?, etc. Las definiciones y conceptos que se dan tienen la finalidad exclusiva de responder las preguntas anteriormente planteadas. En tal sentido este documento se debe entender como una guía o una herramienta que brinda lineamientos en este contexto, al igual se sugiere otras fuentes de consulta para ampliar los temas tratados.

Cabe resaltar el énfasis que se hace en la revisión de los satélites de libre acceso y geovisores para así evaluar si se requiere adquirir otro tipo de imágenes. Adicionalmente, estas imágenes, al ser gratuitas o de libre acceso, tienen una gran ventaja y es que con ellas es más viable generar una serie temporal, la cual es esencial



A. Ave en Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.

Foto: Luis Fernando López.



para evaluar la dinámica del humedal. En este sentido, es necesario contar con imágenes correspondientes a la época seca y a la de lluvia y, de ser posible, en años del fenómeno de La Niña, que es cuando se generan condiciones extremas de inundación y el humedal abarca una mayor extensión (aunque en estos años la constante presencia de nubes limita las imágenes disponibles).

5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos de observación terrestre tienen la capacidad de obtener datos a distancia con base en la detección de la luz que reflejan o emiten los elementos de la superficie. A su vez la luz, en el sentido físico, entendida como radiación electromagnética que se propaga a través del espacio, se puede describir como ondas definidas por parámetros como la longitud de onda, la amplitud y la frecuencia.

Existen diversos tipos de luz que se diferencian básicamente por su longitud de onda, la cual puede abarcar desde tamaños atómicos hasta kilómetros. La serie ordenada de las longitudes de onda, des-



El capítulo está organizado de la siguiente manera: primero se presentan las generalidades de los sensores (sección 5.1), el tipo de información que generan (sección 5.2), y su relación y potencialidad con los criterios de identificación (sección 5.3). Posteriormente, se definen los criterios para la búsqueda y selección de imágenes, entre los que se explican conceptos de resolución y escala (sección 5.4). Después se describen los principales pasos para el trabajo con imágenes satelitales:

1. Revisión de los sensores o satélites disponibles (sección 5.5), útiles para el estudio de humedales.
2. Descripción de las etapas de preprocesamiento (sección 5.6), las cuales aumentan la confiabilidad y precisión del análisis.
3. Cálculo de índice de humedad (sección 5.7), el cual facilita la detección del agua y de humedad.
4. Clasificación de imágenes (sección 5.8).



de las más pequeñas hasta las más grandes, es lo que se ha denominado espectro electromagnético. Dentro de este se encuentran varias secciones, de las cuales tres son de particular interés en los sistemas de observación de la Tierra: el visible, el infrarrojo, el térmico y las microondas.

De acuerdo con el tipo de energía electromagnética que captan los sensores, y si esta energía es generada o no por el sensor, se puede diferenciar entre sensores ópticos o sensores de radar. Los primeros captan energía solar reflejada por la superficie de la Tierra en el rango del infrarrojo, visible y termal. Los segundos operan en el rango de las microondas y cuentan con dispositivos para emitir una frecuencia específica a la Tierra que al retornar es captada por el sensor.

Dentro de los sensores ópticos se destacan dos tipos: los pancromáticos y los multiespectrales. Los sensores pancromáticos captan energía en una sección

relativamente amplia del espectro, por lo que reciben un alto volumen de información que da lugar a una alta capacidad para discriminar elementos de tamaños reducidos. Dentro de estos se encuentran las tradicionales fotografías aéreas y otros de tipo electrónico que se encuentran a bordo de los satélites de observación de la Tierra.

Por otra parte, están los sensores multiespectrales e hiperespectrales¹, los cuales tienen la capacidad de captar de manera separada diferentes rangos de longitud de onda. Esta característica ofrece grandes capacidades de detección y diferenciación de los elementos de la superficie, teniendo en cuenta que cada elemento presenta tendencias particulares a través de las diferentes regiones del espectro; tal comportamiento es lo que se ha denominado firma espectral.

En la figura 5.1 se muestra el rango del espectro electromagnético usado por tres



1. Los sensores hiperespectrales se diferencian de los multiespectrales en que pueden captar información hasta en varias decenas de secciones del espectro electromagnético.



sensores ópticos de libre acceso: Landsat 7 ETM+ con 8 bandas, Landsat 8 con 11 bandas (y que cuenta con dos instrumentos: un sensor de imagen operativa denominado OLI y otro sensor que provee dos bandas en el infrarrojo termal –TIRS, bandas 10 y 11–), y Sentinel-2, que tiene 12 bandas. En la figura se comparan los valores de longitud de onda y la transmisión atmosférica. Esta última expone la facilidad de la luz de traspasar la atmósfera, la cual está compuesta por diferentes gases y partículas que absorben determinadas longitudes de onda.

Los sensores de radar, por su parte, operan en el rango de las microondas y se diferencian de los sensores ópticos no solo por el tipo de energía que captan sino porque son activos y no pasivos. Esto quiere decir que los sensores de radar emiten y reciben la energía que registran, contrario a lo que ocurre con los sensores pasivos, en los que la energía registrada proviene de una fuente diferente al sensor, normalmente el sol o el mismo objeto.

Por sus características los sensores de radar no pueden ser interpretados bajo los mismos parámetros de las imágenes

ópticas. Realmente lo que se observa en las imágenes depende de la rugosidad del terreno y de sus propiedades dieléctricas (Richards y Jia 2006). Es necesario, además, considerar la geometría de la captura, aspectos como la polarización de la luz y el tipo de longitud de onda empleada, que en la mayoría de los casos se inscribe en la banda X, C o L.

Por último, es importante resaltar que las imágenes generadas por sensores tanto pasivos como activos deben tener un preprocesamiento adecuado ya que este garantiza la confiabilidad y exactitud de los resultados (sección 5.6).

5.2. LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LOS SENSORES REMOTOS: MÁS QUE IMÁGENES

Los sensores remotos son reconocidos por suministrar datos en forma de imágenes, las cuales se pueden utilizar para la interpretación de coberturas, formas del paisaje, clasificación, análisis multitem-



- B.** Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.
- C.** Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Comparación de bandas de sensores ópticos

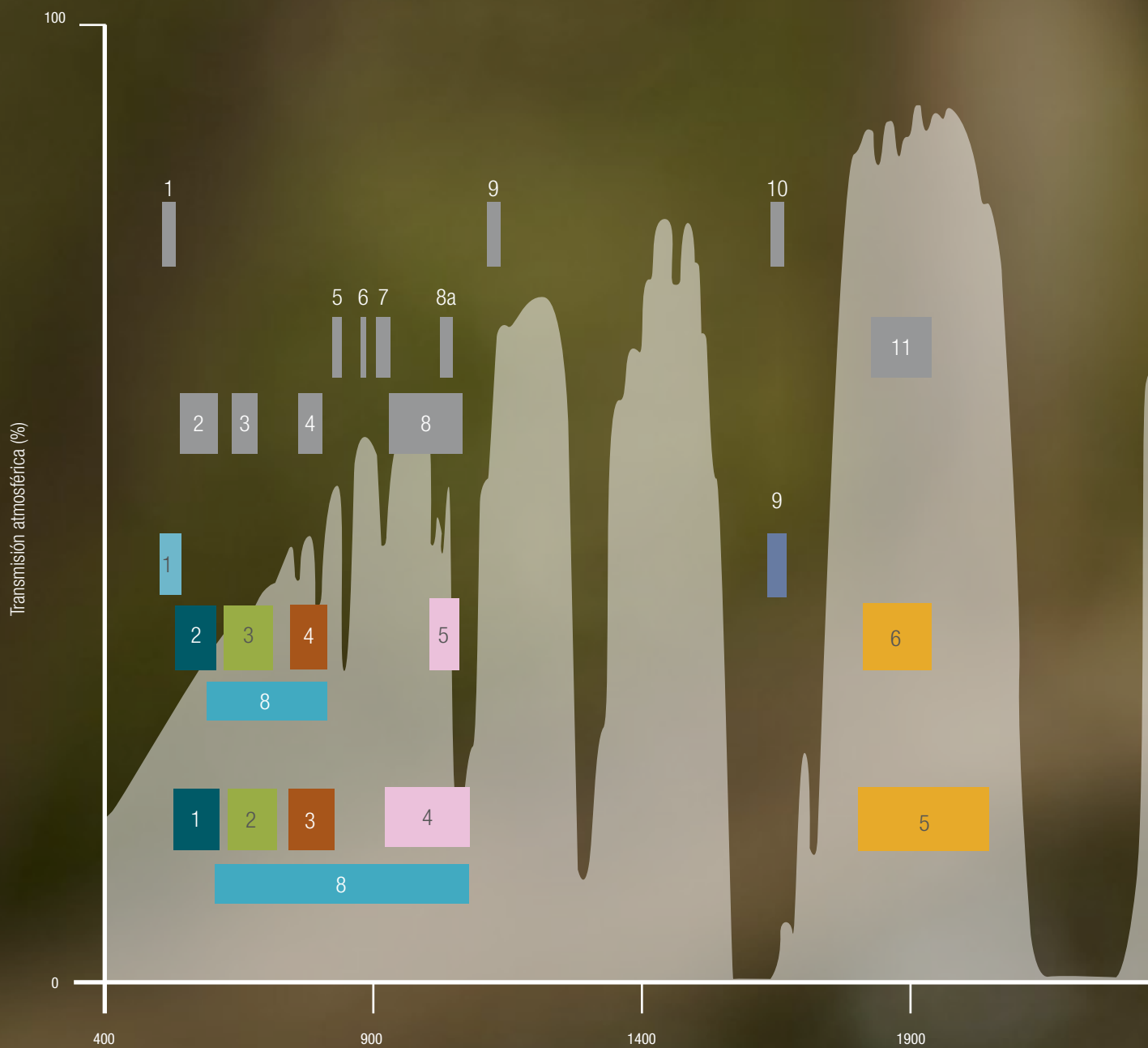
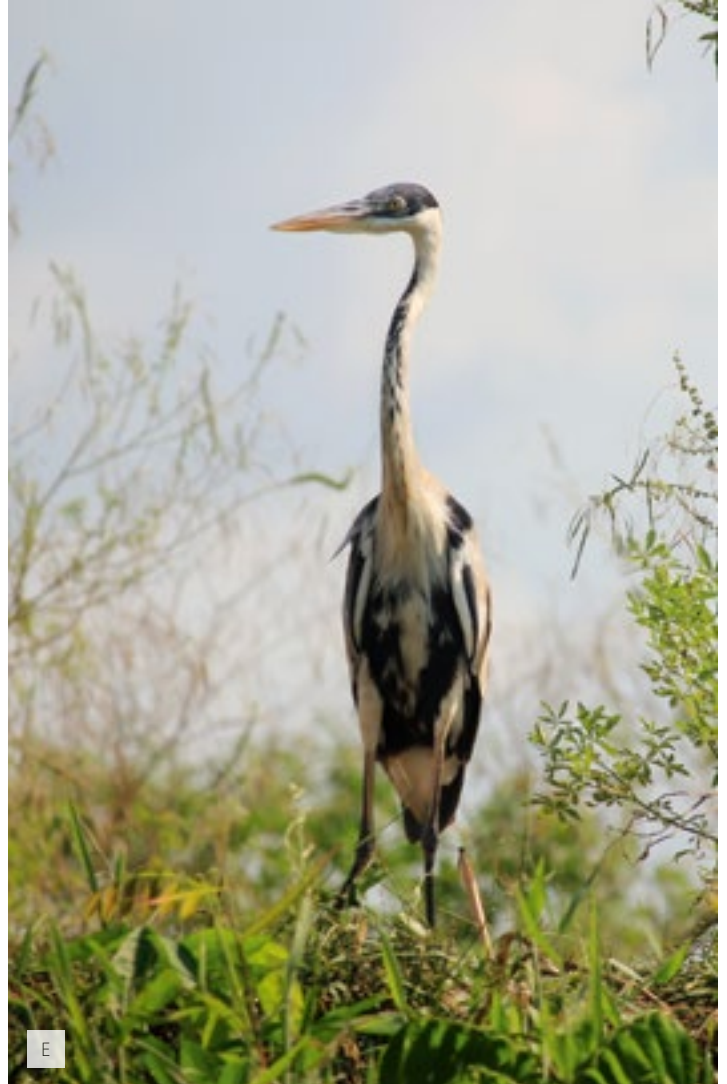




Figura 5.1. Espectro electromagnético. En el eje de las X se presentan los valores de longitud de onda, y en el eje de las Y, la transmisión atmosférica representada por la transparencia. Los números en los rectángulos indican el número de bandas de Landsat 7 ETM+ (8 bandas), Landsat 8 (11 bandas) y Sentinel-2 (12 bandas). El ancho de cada banda (rectángulos en la figura) representa el rango de captación (inicio y fin). TIRS: Sensores Térmicos Infrarrojos. OLI: Sensor Operativo de Imágenes. MSI: Instrumento Multiespectral. Tomado de NASA (2015).



Longitud de onda (nm)



porales, etc. Sin embargo, es importante destacar que este no es el único tipo de información que proveen; con ellos también es posible generar información tridimensional del terreno.

Tradicionalmente, la observación y el análisis tridimensional del terreno a partir de sensores remotos ha sido la observación estereoscópica con el uso de pares de fotografías aéreas. Con este método es posible interpretar diferentes aspectos del terreno como la geomorfología o la vegetación e incluso la elaboración de modelos digitales de terreno y planos topográficos.

Actualmente, con el desarrollo de hardware y software es posible hacer observación estereoscópica mediante sistemas digitales tanto de fotografías aéreas como de imágenes satelitales, lo que abre una amplia gama de posibilidades para obtener información del terreno. Estos procedimientos pueden ser complejos, costosos o requerir de bastante información; sin embargo, algunas entidades han puesto a disposición del público datos ge-

nerados a partir de tales sistemas, los cuales son de gran utilidad, como es el caso de los modelos digitales del terreno. Algunos sensores de radar también permiten generar estos modelos mediante una técnica llamada interferometría, con la que además se pueden observar fenómenos como la deformación del terreno por subsidencia o movimientos en masa entre otros. Esta técnica es bastante compleja, por lo que se requiere un personal y software muy especializados, en caso de querer implementarse.

5.3. LOS HUMEDALES EN LOS SENSORES REMOTOS

Los humedales, tal como se dimensionan en este libro, corresponden a ecosistemas con condiciones geomorfológicas e hidrológicas que permiten la acumulación de agua (temporal o permanentemente), dando lugar a tipos característicos de sue-



D. Ciénaga Grande de Beté, Choco.
Foto: Luis Fernando López.

E. Juvenil de *Ardea cocoi*.
Ciénagas de Lorica, Córdoba.
Foto: María Isabel Henao.

A dense field of green water hyacinths with a central text box.

“Los **sensores remotos**
permiten conocer en tiempo cercano
el real estado de los ecosistemas
y son esenciales en los **programas**
de monitoreo”

los y organismos adaptados a estas condiciones (Vilardy *et al.* 2014). Esto significa que en la identificación de humedales es necesario considerar dichos aspectos.

En primer lugar está la geomorfología, que para fines de identificación del límite de humedales involucra el mapeo de las formas del terreno, lo que a su vez hace posible realizar análisis e inferencias sobre su origen y dinámica. En esta labor uno de los elementos más relevantes es la tridimensionalidad del terreno; por este motivo han sido de particular importancia los métodos de interpretación estereoscópica de fotografías aéreas. No obstante, mediante el uso de imágenes en un ámbito bidimensional también se pueden llegar a apreciar algunos rasgos de interés para la identificación de humedales tales como barras de arena, áreas anegadas, etc.

Los suelos son un elemento fuertemente correlacionado con la geomorfología y con otros factores asociados a su proceso de formación como el clima, la materia orgánica o el material parental y el tiempo de formación; todos ellos pueden ser consultados a través de información secundaria o criterio de expertos. Extraer información adicional sobre aspectos que permitan deducir el nivel de asociación de los suelos a los humedales,





G



como reducción de oxígeno por procesos de hidromorfismo, es poco probable con el uso de sensores remotos. En este sentido, la identificación de este ecosistema con base en atributos del suelo requiere, la mayoría de las veces, de trabajo en campo o información secundaria obtenida generalmente de perfiles de suelos.

Uno de los atributos del suelo que sí se puede llegar a deducir a partir de sensores remotos es la humedad. Al respecto resulta importante la banda del infrarrojo medio, que es sensible a esta característica (menor intensidad de energía es reflejada a mayor humedad). El radar, por su parte, es sensible a las propiedades dieléctricas de los objetos, lo que está altamente correlacionado con la humedad (mayor humedad-mayor brillo); en este sentido



F. Fruto de un día de pesca, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.

G. Herpetofauna de Lago Tarapoto, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

PARTE II

Primeros pasos



- H.** Mariposa de la familia Nymphalidae en la Laguna de Sonso, Cali.
Foto: Luis Fernando López.

es igualmente posible hacer inferencias acerca de la humedad de los suelos.

Respecto a las condiciones hidrológicas que permiten identificar el límite funcional, los sensores remotos se pueden inscribir dentro de dos posibles orientaciones metodológicas. La primera está relacionada con el modelamiento hidrológico que se hace a partir de datos obtenidos por estaciones hidrometeorológicas y de modelos digitales de terreno. Estos tipos de análisis requieren de modelos del terreno tan exactos como sea posible para reducir la incertidumbre en las predicciones, pero además es necesaria, en la mayoría de los casos, información que describa las propiedades tridimensionales del lecho o la cubeta.

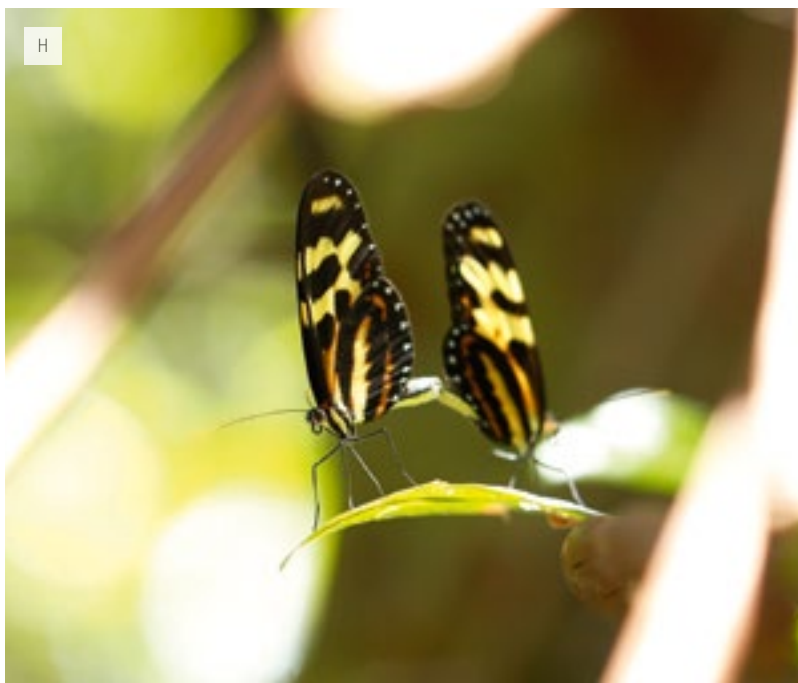
Por la cantidad y calidad de información requerida en el modelamiento hidrológico es, en muchas ocasiones, más factible el análisis hidrológico a partir del uso exclusivamente de imágenes satelitales. Como lo que se puede observar en tal caso es la expansión y contracción de los cuerpos de agua a través del tiempo, es entonces necesario contar con series temporales de imágenes tan densas y extensas como sea posible, pero principalmente que sean representativas de los períodos húmedos y secos en los que se enmarca la dinámica del humedal.

La identificación de los espejos de agua en las imágenes ópticas es relativamente fácil, teniendo en cuenta que el agua tiene una firma espectral muy particular y cla-

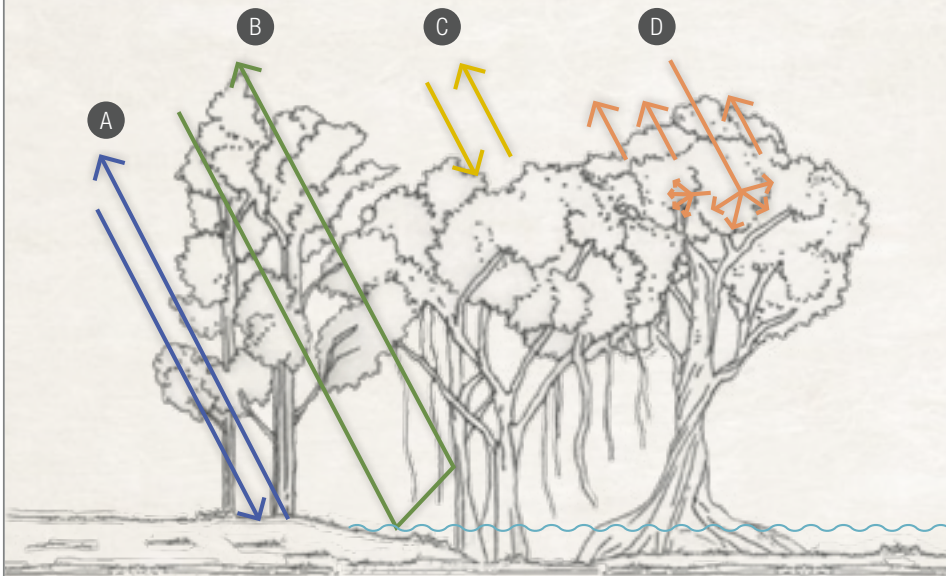
ramente diferenciada de otras coberturas, con una alta absorción de luz que incrementa con la longitud de onda. Sin embargo, es posible encontrar variaciones o picos dentro de la firma espectral (dependiendo del humedal), en la banda del visible verde causada por la presencia de materia vegetal en suspensión, en la banda del visible rojo cuando hay sedimentos en suspensión, o en la banda del visible azul cuando hay bruma o aerosoles en la atmósfera. Otros aspectos como la profundidad o la química del agua también pueden afectar y deben ser considerados.

Las imágenes ópticas, sin embargo, tienen algunas limitaciones en el análisis hidrológico. La más importante es la imposibilidad de obtener información bajo condiciones nubladas, que es cuando los humedales suelen tener mayor extensión. En este sentido resultan de gran utilidad las imágenes de radar, dado que la energía de microondas empleada por estas puede transmitirse o atravesar ciertos medios u objetos, lo que hace posible obtener información de superficies cubiertas por nubes, humo o incluso vegetación.

Las superficies de agua en los sensores de radar tienden a dar una respuesta clara resultante de un mecanismo de retrodispersión llamado especular, en el cual el agua actúa como un espejo de modo que la onda rebota contra la superficie en sentido contrario a la fuente, por lo que la energía que retorna al sensor es cercana a cero, dando lugar a zonas oscuras en las imágenes. En los casos en los que se puede obtener información de la superficie subyacente al dosel arbóreo y esta es agua, se presenta también una respuesta clara resultante de un mecanismo de retrodispersión llamado doble rebote, en el cual el haz de microondas emitido por el sensor toca la superficie de agua para luego encontrarse con el tronco de los árboles y regresar al sensor (Figura 5.2). Dado que la cantidad de energía retornada es alta, en las imágenes este tipo de interacción onda-superficie se observa en tonos brillantes, alcanzando en ocasiones un aspecto de saturación de brillo.



MECANISMOS DE retrodispersión: sensores de radar



En sistemas activos como los sensores de radar, el dispositivo que emite la onda es usualmente el mismo que recibe el retorno. Una de sus principales ventajas es que no son afectados por la presencia de nubes.

Las ondas interactúan con la superficie de la Tierra de acuerdo con su longitud. Aquellas de mayor longitud, como la Banda L, tienen la capacidad de penetrar el dosel de los árboles y llegar hasta la superficie. Cuando estas se encuentran con el suelo, ocurre un retorno directo **A**, mientras que al encontrarse con una lámina de agua se presenta un retorno de doble rebote **B** (de manera que las ondas entran primero en contacto con el agua y al regresar chocan con los árboles). Así, este tipo de ondas permite identificar y estudiar la dinámica de los bosques inundables. Por otro lado, bandas como la C y la X, con longitud de onda más corta, interactúan directamente con la superficie del terreno o la vegetación **C**, tienen un bajo nivel de penetración y son sensibles a la rugosidad **D** lo que permite estudiar características y variaciones del dosel.



Figura 5.2. Mecanismos de retrodispersión en el agua. A: retorno directo del suelo B: doble rebote del agua (horizontal) y de los troncos (vertical). C: retorno directo de las hojas. D: retorno múltiple o difuso de ramas y hojas. Modificado de SarVision, material Capacitación Radar (2014).



GANADERÍA BUFALINA

Especie introducida en los humedales. Su impacto en estos ecosistemas aún no ha sido estudiado en Colombia. Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena. Foto: Luis Fernando López.

Pese a las virtudes de los sensores de radar es necesario hacer ciertas salvedades relacionadas con el tipo de banda. La banda X, por ejemplo, es la que tiene menor transmisividad, por lo que ante la presencia de nubes densas como las del tipo nimbos, puede llegar a obtener información deficiente; con esta banda es también improbable obtener información debajo del dosel arbóreo. Por otra parte, la banda X es altamente sensible a la rugosidad del terreno², por lo que la típica reflexión especular de los espejos de agua que da lugar a zonas oscuras y que permite diferenciarlos del contorno con relativa facilidad puede llegar a ser poco clara, como en condiciones de oleaje (incluso leve), o cuando hay presencia de vegetación acuática.

La banda C, por otra parte, puede presentar limitaciones similares a las de la banda X tanto por transmisividad como por sensibilidad a la rugosidad pero en una magnitud considerablemente inferior, por lo que se puede considerar más idónea para la identificación de espejos de agua. La banda L, en cambio, presenta una mayor transmisividad por lo que la captura se ve afectada de una manera mínima por los elementos en la atmósfera y presenta una alta capacidad de obtener información de la superficie subyacente al dosel arbóreo. Con esta banda, al ser menos sensible a la rugosidad fina, la respuesta de los espejos de agua tiende a ser bastante clara.

Finalmente, la vegetación como indicador de la presencia de agua se puede identificar con el uso de datos tridimensionales como fotografías aéreas; sin embargo, es más común con el uso de sensores multiespectrales. En términos generales, la vegetación tiende a presentar una alta reflectividad en la región espectral del visible verde y muy baja en la región del visible rojo, de ahí la manera como nuestros ojos la perciben. Sin embargo, la reflectividad es aún mayor en la región espectral del infrarrojo cercano, lo que no logramos distinguir debido a que nuestra vista no es sensible a este tipo de radiación. Por otra parte, cuando la vegetación presenta humedad, absorbe la energía que se ubica en la región espectral



del infrarrojo medio, lo que tampoco podemos observar a simple vista; no obstante, estos aspectos se pueden hacer visibles mediante el uso de software de procesamiento de imágenes satelitales.

5.4. ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL USO DE SENSORES PARA LA IDENTIFICACIÓN: RESOLUCIÓN Y ESCALA

5.4.1. LA RESOLUCIÓN EN LOS SENSORES REMOTOS

La resolución se puede entender como la habilidad de registrar información al detalle discriminándola (Chuvieco 1995). En el ámbito de los sensores remotos se habla generalmente de cuatro tipos de resolución: espacial, espectral, radiométrica y temporal, las cuales se describen a continuación.



2. La rugosidad no depende exclusivamente de la longitud de onda y las características del terreno: influye también el ángulo de incidencia (ángulo formado entre la línea que describe la dirección en la que es emitida la onda y la vertical). Más información disponible en: http://www.levs.uchile.cl/Biblioteca/Radar/gsarcd_s.pdf o en http://earth.eo.esa.int/download/eoedu/Earthnet-website-material/to-access-from-Earthnet/2008_Bilko-SAR-Land-Applications-Tutorial/sar_land_apps_1_theory.pdf. Fecha de consulta: 27 de agosto de 2015.



I

Mayor información es descrita en Chuvieco (1995) y en Lillesand *et al.* (2008).

Resolución espacial: se refiere a la capacidad que tienen los sensores remotos de identificar elementos de acuerdo con su tamaño, entre mayor sea la capacidad de identificar elementos de menor tamaño, el sensor tiene una mayor resolución espacial. La unidad de medición de la resolución espacial es el tamaño del pixel, medido como la longitud de sus lados. Actualmente existen sensores con resoluciones espaciales que van desde centímetros hasta varios cientos de metros.

Resolución espectral: como se mencionó anteriormente, los sensores remotos tienen la capacidad de registrar la energía reflejada o emitida en una o varias regiones del espectro electromagnético (Figura 5.1). Cuanto mayor es el número de regiones del espectro que el sensor tiene

la capacidad de discriminar y más angostas sean estas, es mayor la resolución espectral (número de bandas), y por ende, la capacidad de diferenciar los elementos de la superficie con base en su respuesta. Los sensores que existen actualmente permiten obtener desde imágenes pancromáticas con una sola banda hasta aproximadamente de 250 bandas, con los sensores hiperespectrales.

Resolución radiométrica: los sensores son más o menos sensibles a la intensidad de la energía reflejada o emitida; este grado de sensibilidad define la resolución radiométrica, la cual se ve expresada en las imágenes por el número de valores posibles que puede llegar a tener un pixel. Este tipo de resolución se mide en bits. Los sensores de observación actuales tienen resoluciones que van desde 8 a 16 bits (256 a 65.536 valores posibles, respectivamente).



I. Sobrevuelo, Paz de Ariporo, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.

Resolución temporal: los satélites de observación terrestre orbitan alrededor de la Tierra de manera que toman datos de cada zona ubicada sobre su órbita cada cierto tiempo. La frecuencia con la que se obtiene información de cada zona determina la resolución temporal, que es más alta en la medida en que se hagan más registros en un determinado tiempo. Los satélites actuales de observación terrestre permiten obtener imágenes con intervalos de 1 a 20 días aproximadamente. Algunas misiones han optado por poner en órbita constelaciones de satélites con iguales características, lo que permite aumentar la frecuencia para captarlas. Sin embargo, estos intervalos no garantizan la obtención de imágenes útiles. Por ejemplo, en algunas zonas muy lluviosas de Colombia como el Amazonas solo se logra obtener un número cercano a 20 imágenes con máximo 10% de cobertura de nubes en un período de 10 años, a una resolución de 30 m (Landsat 5 y 8), es decir, dos imágenes por año que generalmente corresponden a la época seca (Estupiñán Suárez *et al.* 2016). Esta resolución es muy influyente en el estudio de los humedales ya que debido a su alta pulsatilidad es importante contar con imágenes de temporadas de lluvia y de sequía, al igual que de

años con los fenómenos de El Niño y de La Niña cuando están disponibles. Todo esto en su conjunto permitirá estudiar la dinámica del humedal.

5.4.2. ESCALA Y UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO

La escala es un concepto que tiene diferentes connotaciones según su ámbito de uso, ya sea entre diferentes disciplinas e incluso dentro de una misma como ocurre en la geografía. En términos generales, se identifican cuatro tipos de escalas espaciales: cartográfica, geográfica, resolución y operacional que se encuentran ampliamente explicadas y discutidas en publicaciones como las de Goodchild y Proctor (1997) y Quattrochi y Goodchild (1997). Con base en estos autores se entiende que:

- + La escala cartográfica corresponde a la relación numérica que se da entre la realidad y el mapa. Así es como, por ejemplo, a escala 1:25.000, un centímetro del mapa representa 25.000 cm de la realidad o 250 m; una escala grande se refiere a un alto nivel de detalle (ejemplo: 1:2.000), mientras que una escala pequeña hace referencia



- J. *Caiman crocodilus*, Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.
- K. Pelicano en la ciénaga de La Virgen, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.



a un bajo nivel de detalle (ejemplo: 1:1.000.000).

- + La escala geográfica, por otra parte, indica la cobertura espacial y sugiere también un cierto tipo de análisis. En este caso se puede hacer referencia, por ejemplo, a escalas regionales, locales, nacionales, etc.
- + La escala entendida como resolución está relacionada con el concepto de resolución espacial, desarrollado anteriormente, el cual hace referencia a la capacidad que se tiene para identificar un objeto de acuerdo con su tamaño.
- + La escala operacional se refiere a la escala espacial en la que opera un fenómeno. Una laguna de páramo opera en una escala espacial menor que un complejo de humedales.

Es importante resaltar que estas escalas están estrechamente relacionadas. Por ejemplo, una escala cartográfica grande requiere de una alta resolución espacial y permite identificar elementos que operan en espacios reducidos y puntuales. A su vez, una alta resolución restringe la posibilidad de abarcar espacios demasiado



amplios, lo que generalmente obliga a reducir la escala geográfica (Figura 5.3).

En cuanto a la identificación del límite de los humedales, es importante tener claridad acerca de estos tipos de escalas y su relación. Por ejemplo, si el área que se requiere trabajar corresponde a una escala geográfica amplia (ejemplo: región andina), la cartográfica no puede ser demasiado grande (podría ser entre 1:100.000 a 1:250.000), lo que significa que el nivel de detalle es relativamente bajo y por ende también la resolución espacial (ejemplo: 50 m). Todo esto en conjunto da lugar a restricciones para identificar elementos que operan en escalas espaciales reducidas (ejemplo: lagunas de páramo).

En resumen, los datos espaciales empleados para identificar y mapear el límite funcional de un humedal deben ser coherentes. Para la delimitación de humedales a escala 1:5.000, por ejemplo, no es adecuado usar imágenes con una resolución espacial de 100 m, así como en una delimitación a escala regional resulta poco práctico y posiblemente improbable utilizar imágenes con resolución espacial de un metro, considerando restricciones computacionales, de costos y de personal.

TIPOS DE ESCALA y su idoneidad

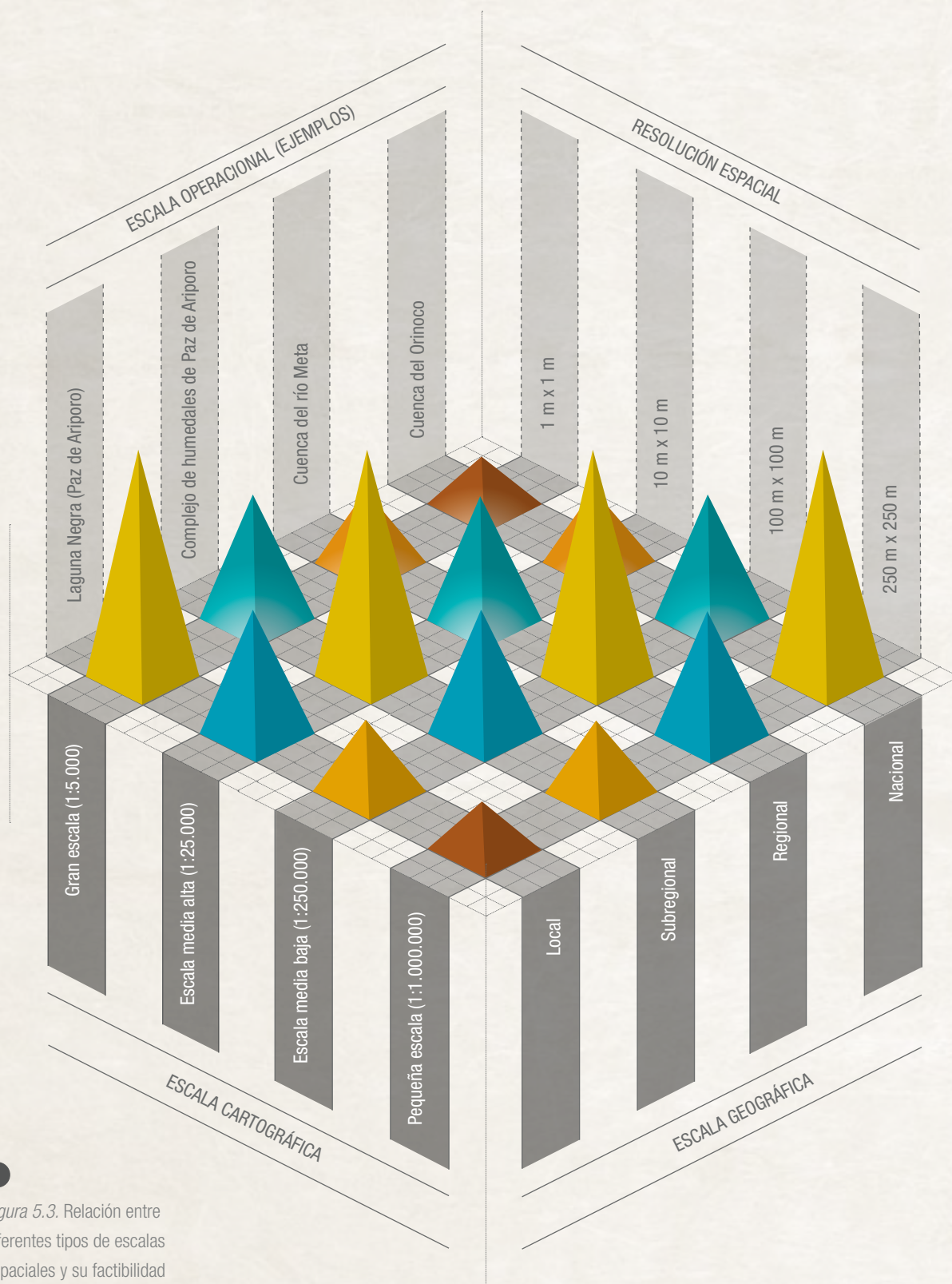


Figura 5.3. Relación entre diferentes tipos de escalas espaciales y su factibilidad o idoneidad, donde amarillo es altamente idóneo, azul es moderadamente idóneo, naranja claro es poco idóneo, y ocre intenso no es idóneo.

Cuando el mapeo se hace con base en la cartografía existente es necesario igualmente tener en cuenta consideraciones de escala. Es inadecuado, por ejemplo, el uso de cartografía de suelos a escala 1:500.000 para el mapeo del límite de los humedales a escala 1:25.000, mientras que en casos contrarios, cuando se cuenta con mapas de una escala mayor a la del objetivo de mapeo, la diferencia puede ser manejable mediante procedimientos de generalización cartográfica y temática donde es esencial la participación de un experto.

Pese a la evidente necesidad de establecer formas con las cuales definir la idoneidad de datos para trabajar en determinadas escalas, no existen reglas aceptadas de modo generalizado. No obstante, hay propuestas con un consenso más o menos amplio; tal es el caso del planteamiento de Tobler (1987), de acuerdo con el cual la resolución³ espacial (en metros) debe ser equivalente, de manera aproximada, a la mitad de la escala dividida en mil. Es así como a una escala 1:100.000 la resolución de las imágenes empleadas debe ser de aproximadamente 50 m.

Un enfoque diferente para definir la resolución espacial óptima y que resulta particularmente interesante para la identificación de humedales es el de la metodología Globwetland, principalmente por estar orientado al estudio de este tipo de ecosistemas. Tal enfoque tiene un componente más alto de complejidad debido a que, más allá de la escala cartográfica y la resolución espacial, tiene en cuenta el tamaño de los elementos que se pretenden mapear, es decir, su escala operacional.

El principio es que el límite físico en el que el ser humano puede llegar a diferenciar un objeto es aproximadamente 2 mm x 2 mm, mientras que el tamaño en el que se pueden llegar a observar los objetos en un mapa depende de la escala de trabajo; en este sentido el tamaño mínimo de un objeto debe ser de 2 mm x 2 mm en el mapa o su área equivalente en la realidad. Por otra parte, se plantea que es necesario un mínimo de 4 píxeles para detectar un elemento, pero su identificación requiere como mínimo 3 veces esto,



L

es decir, 12 píxeles, mientras que a partir de 28 píxeles se puede dar una identificación adecuada (Globwetland 2008).

Si se tiene en cuenta por una parte el tamaño de los objetos en una escala determinada (> 2 mm x 2 mm) frente al número de píxeles mínimo para su identificación, se puede establecer una relación para obtener una resolución óptima del tipo de imágenes a emplear, tal como se plasma en la Ecuación 5.1.

Σ Ecuación 5.1.

$$RE_m = \sqrt{\frac{LSCAR_{(ha)}}{CMP_{ID}}} \times 100$$

Donde: RE_m = resolución espacial requerida para las imágenes (en metros).

$LSCAR_{(ha)}$ = extensión en hectáreas del elemento más pequeño a identificar o detectar; en los mapas según la escala cartográfica se pueden observar con dimensiones de 2 mm x 2 mm, 5 mm x 5 mm, etc.

CMP_{ID} = cantidad mínima de píxeles para detección (12) o identificación (28).



L. Iguana a orillas del cañón de Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.



3. En algunas aproximaciones, como la de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, la resolución óptima en metros se define no por la mitad sino por la tercera parte dividida en mil, de manera que para la escala 1:100.000 la resolución óptima es cercana a 30 m.

La tabla 5.1 muestra, con base en la ecuación, diferentes resultados que indican la resolución necesaria para identificar humedales con diferentes extensiones. Por ejemplo, si los humedales más pequeños del área de interés tienen un área aproximada de 25 ha y la escala de trabajo es 1:100.000, se requiere de sensores con una resolución espacial mínima de 144,3 m para identificarlos y de 94,6 m para lograr una identificación adecuada⁴.

Es importante mencionar que el área mínima que pueden ocupar el grupo de píxeles de la misma clase para ser identificados (señalada en la tabla 5.1 como área correspondiente *ha*) equivale a la Unidad Mínima de Mapeo (UMM), lo

que define el umbral de objetos observados de acuerdo con su tamaño y a su vez la extensión mínima de un elemento continuo dentro del mapa. En el enfoque de Globwetland (2008) se sugiere la posibilidad de manejar UMM desde 2 x 2 píxeles, equivalente por ejemplo, en una escala 1:100.000 a 4 ha; usualmente en los métodos de interpretación visual de imágenes, como es el caso de Corine Land Cover, se usan umbrales de 5 x 5 píxeles o más, lo que a escala 1:100.000 equivale a 25 ha.

Un aspecto final es que la UMM debe presentar un área, en la medida de lo posible, igual o inferior a la es-



Tabla 5.1. Resoluciones espaciales dadas para diferentes escalas y tamaños de elementos según la metodología MDA Geospatial (2008).

ESCALA DESEADA			
1:10.000	Límite de la salida cartográfica (mm)	2 x 2	
	Área correspondiente (ha)	0,04	
	Cantidad mínima de píxeles para la identificación	12	28
	Resolución espacial mínima requerida (m)	5,8	3,8
1:25.000	Límite de la salida cartográfica (mm)	2 x 2	
	Área correspondiente (ha)	0,25	
	Cantidad mínima de píxeles para la identificación	12	28
	Resolución espacial mínima requerida (m)	14,4	9,4
1:50.000	Límite de la salida cartográfica (mm)	2 x 2	
	Área correspondiente (ha)	1	
	Cantidad mínima de píxeles para la identificación	12	28
	Resolución espacial mínima requerida (m)	28,9	18,9
1:100.000	Límite de la salida cartográfica (mm)	2 x 2	
	Área correspondiente (ha)	4	
	Cantidad mínima de píxeles para la identificación	12	28
	Resolución espacial mínima requerida (m)	57,7	37,8



4. Nótese la diferencia en relación con la propuesta de Tobler (1987) respecto a la resolución espacial mínima requerida.

cala operacional, dado que de no ser así se pueden omitir los elementos más pequeños, que no por eso son menos relevantes; en razón de esto, se debe definir una escala cartográfica acorde a las unidades de interés, tal como se ha venido señalando, o definir una leyenda jerárquica que permita generalizar la representación hasta un nivel en el que, por ejemplo, se puedan agrupar unidades pequeñas y aisladas como humedales bajo esta condición en unidades más grandes como complejos de humedales. La comprensión del concepto de escala espacial y UMM es esencial para la correcta selección del sensor teniendo en cuenta su resolución espacial y el área del humedal.

5.5. IMÁGENES SATELITALES: DIFERENTES SENSORES Y SU UTILIDAD EN LA IDENTIFICACIÓN

Con base en el tipo de información que proporcionan los sensores remotos, sus características de resolución, las exigencias de escala, las características del terreno y los objetivos de delimitación definidos, es posible identificar el tipo de imágenes más adecuadas para tal fin. A continuación se describen precisamente algunos de los sensores remotos disponibles y su pertinencia para la identificación del límite de los humedales, teniendo en

	3 x 3		4 x 4		5 x 5		6 x 6		7 x 7	
	0,09		0,09		0,09		0,09		0,09	
	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28
	8,7	5,7	11,5	7,6	14,4	9,4	17,3	11,3	20,2	13,2
	3 x 3		4 x 4		5 x 5		6 x 6		7 x 7	
	0,56		1		1,56		2,25		3,06	
	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28
	21,7	14,2	28,9	18,9	36,1	23,6	43,3	28,3	50,5	33,1
	3 x 3		4 x 4		5 x 5		6 x 6		7 x 7	
	2,25		4		6,25		9		12,25	
	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28
	43,3	28,3	57,7	37,8	72,2	47,2	86,6	56,7	101	66,1
	3 x 3		4 x 4		5 x 5		6 x 6		7 x 7	
	9		16		25		36		49	
	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28
	86,6	56,7	115,5	75,6	144,3	94,5	173,2	113,4	202,1	132,3



MARTÍN PESCADOR

Megaceryle torquata.

Vive a las orilla de ríos, lagos, lagunas, entre otros. Se encuentra en Centroamérica y Suramérica. Se observa usualmente de manera solitaria.

Ciénaga de Lórica, Córdoba.

Foto: María Isabel Henao.



M. Mariposa del género *Heliconius*. Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

cuenta las variables biofísicas relacionadas con la formación y desarrollo de estos.

5.5.1. SENSORES ÓPTICOS DE RESOLUCIÓN ESPACIAL ALTA (> 10 m)

Estos sensores se caracterizan por presentar una resolución espacial alta y una resolución espectral relativamente baja, que generalmente incluye las regiones del visible y una banda o dos del infrarrojo cercano. Tal es el caso de sensores como Ikonos, Quickbird, Pleiades, Geoeye, Spot 6-7 y Rapideye. Estas características permiten observar con gran detalle los cuerpos de agua y la vegetación asociada a humedales, aun cuando sus dimensiones sean reducidas (25 m² a 3 ha aproximadamente), por lo que estos sensores se pueden considerar compatibles con escalas de entre 1:2.000 y 1:25.000 (Anexo 5.1). Vale la pena mencionar que estos no hacen un registro sistemático en el tiempo y deben ser programados con antelación.

La alta resolución también permite ver aspectos del terreno útiles para el mapeo de aspectos del suelo y la geomorfología como pueden ser suelos desnudos, diaclasas, suelos con humedad, etc. Sin embargo, su mayor potencial es que la mayoría de los sensores de este tipo tienen la capacidad de obtener pares de imágenes que se pueden usar para generar modelos estereoscópicos. Esto hace posible la interpretación de las formas del terreno (geometría, pendiente, orientación, etc.) o la generación de modelos digitales del terreno, útiles para el mismo fin o para el modelamiento hidrológico. Es importante señalar que la visualización tridimensional y/o generación de modelos digitales del terreno requiere de personal, software y hardware especializados, lo que puede restringir este tipo de uso.

Por otra parte, el análisis de series de tiempo para identificar aspectos propios del régimen hidrológico como la expansión y contracción de los espejos de agua es restringido debido a la limitación propia de los sensores ópticos que no tienen la capacidad de obtener información cuando se presenta nubosidad y al elevado costo de estas imágenes, lo que exige una alta financiación y programación para hacerse a ellas con frecuencia.

5.5.2. SENSORES ÓPTICOS DE RESOLUCIÓN ESPACIAL MEDIA (10 m a 50 m)

Esta clase incluye sensores como Landsat, Spot, Aster y Sentinel-2, los cuales registran información espectral en las regiones del visible y en diferentes regiones del infrarrojo, haciendo posible identificar diferentes tipos de coberturas vegetales asociadas o no a humedales y espejos de agua. La resolución espacial de estos sensores permite abordar trabajos de delimitación en escalas que van desde 1:20.000 a 1:100.000, en donde es posible identificar de manera aproximada elementos con un área de entre 0,25 y 50 ha, respectivamente.

Además de sus potencialidades respecto a la vegetación y cobertura de la Tierra en general, este tipo de sensores





“Imágenes satelitales
de resolución espacial media y baja
se encuentran libres para descarga en
internet y sirven como un primer acercamiento al
estudio multitemporal
de los humedales”

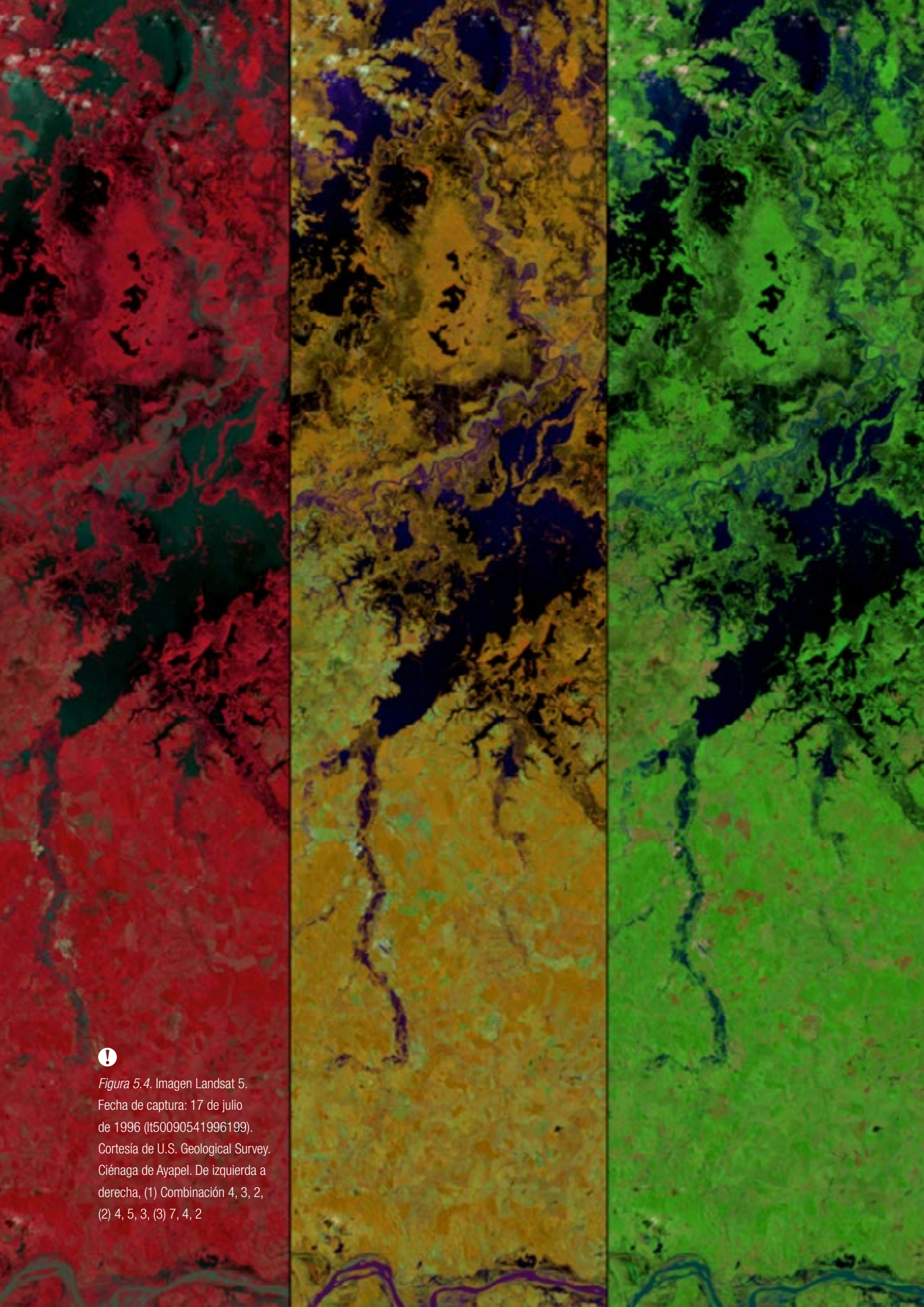


Figura 5.4. Imagen Landsat 5.
Fecha de captura: 17 de julio
de 1996 (It50090541996199).
Cortesía de U.S. Geological Survey.
Ciénaga de Ayapel. De izquierda a
derecha, (1) Combinación 4, 3, 2,
(2) 4, 5, 3, (3) 7, 4, 2

puede ayudar a inferir aspectos relativos al suelo y la geomorfología, como por ejemplo la humedad del suelo o las grandes estructuras geológicas; sin embargo, tanto por la resolución como por la limitación de hacer sinergismos con modelos de elevación, se imposibilita la visualización tridimensional del terreno, lo que limita la obtención de información sobre estas variables.

Respecto a la posibilidad de observar la expansión y contracción de espejos de agua, igualmente se tienen limitaciones por la nubosidad, pero como los programas que han desarrollado estos sensores en su mayoría han tenido continuidad y un largo período de funcionamiento, es posible disponer de densas series temporales de imágenes con las cuales se puede observar la dinámica hidrológica y aspectos relacionados de interés como la pérdida de coberturas naturales. Tal es el caso de misiones como Landsat, Spot o Aster, que operan, respectivamente, desde la década de los 70, mediados de los 80 y finales de los 90. Adicionalmente, una ventaja importante de estas misiones es el bajo o nulo costo de sus imágenes. Landsat⁵, Aster⁶ y Sentinel-2⁷, por ejemplo, son de libre acceso.

La figura 5.4 muestra un ejemplo de imágenes Landsat en las que se usan diferentes combinaciones de banda que permiten resaltar características como vegetación y humedad.

5.5.3. SENSORES ÓPTICOS DE RESOLUCIÓN ESPACIAL BAJA (50 m a 1 km)

En este grupo de imágenes vale la pena mencionar fundamentalmente dos: las obtenidas con el sensor MERIS (Medium Spectral Resolution Imaging Spectrometer) y las obtenidas con el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). El primero de estos sensores cuenta con una resolución de 300 m, adecuada para escalas que pueden ir de 1:500.000 a 1:1.000.000 con capacidad de detectar objetos de la superficie con áreas de entre 100 y 1000 ha, aproximadamente.

La importancia del sensor MERIS, respecto al análisis de humedales, radica en que se ha creado para el monitoreo de variables biogeoquímicas del mar y las zonas costeras. Por esta razón cuenta con una alta resolución espectral en la región del visible. En estas longitudes de onda de la luz se presentan mayores posibilidades de discriminar procesos relacionados con ecosistemas acuáticos marinos, costeros y aun continentales como la sedimentación, la eutrofización o el blanqueamiento de los arrecifes coralinos. Pese a esto, la resolución espacial limita un poco su aplicación en la identificación del límite de los humedales interiores, excepto humedales de gran tamaño o complejos de humedales como el de la Depresión Momposina.

Debido a los objetivos del sensor MERIS, el potencial para la observación de aspectos geomorfológicos y de suelos es bastante limitado, si bien se pueden visualizar elementos muy generales. La identificación de vegetación tampoco es una de sus cualidades gracias a las características de su banda infrarroja. Contrario a esto, la capacidad para detectar la expansión y contracción de cuerpos de agua puede llegar a ser bastante positiva, considerando su alta resolución temporal y amplia cobertura espacial.

Vale mencionar que el MERIS dejó de funcionar en abril de 2012, no obstante su continuidad ha sido garantizada por la Agencia Espacial Europea (ESA), la cual desarrolló el satélite Sentinel-3 (OLCI), de características muy similares y que fue puesto en órbita en 2016.

El sensor MODIS, por su parte, presenta condiciones de resolución espacial de 250 m en su máxima capacidad; cuenta también con resoluciones de 500 m y 1 km, todo lo que en conjunto permite trabajar en escalas tan amplias como 1:500.000 hasta escalas geográficas del orden global. Espectralmente, este sensor cuenta con una resolución bastante alta al registrar información en 36 regiones del espectro, que van desde el visible hasta el infrarrojo lejano.

Al igual que el MERIS, MODIS tiene aplicaciones importantes en ambien-



5. Disponible en: <http://earthexplorer.gov/>
6. Disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov/>
7. Disponible en: <https://scihub.esa.int/dhus/>
8. <http://reverb.echo.nasa.gov/>

tes marinos y costeros, y cuenta además con una alta resolución espectral en la región del infrarrojo que lo hace bastante útil para discriminar los tipos de vegetación. Su alta resolución temporal y amplia cobertura espacial es una ventaja para la detección del pulso de inundación, aunque la identificación de rasgos geomorfológicos y de suelos no hace parte de las aplicaciones principales bajo la cual se desarrolló este sensor.

En el trabajo con MODIS se pueden utilizar las imágenes como tal; sin embargo, es más común usar productos derivados de estas y distribuidos de manera gratuita⁸, aunque su exactitud local debe ser evaluada ya que varía al tratarse de productos globales. Son de particular utilidad el MOD44W de máscara de agua y los productos de cobertura terrestre MOD12Q que se generan anualmente con una resolución espacial de 500 m y que incluyen humedales en su leyenda⁹.

5.5.4. SENSORES DE RADAR

Las imágenes obtenidas por estos sensores varían en cuanto a la resolución espacial aun en el mismo sensor debido a que poseen diferentes modos de captura. En términos generales, la mayoría puede capturar información para generar imágenes con tamaños de pixel de entre 5 y 100 m. El aspecto que más diferencia a estos sensores es el tipo de energía dentro del ran-



0



9. Disponible en: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table
10. Disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

go de las microondas en el que obtienen la información.

Al respecto, existen hasta el momento sensores satelitales que captan información en las bandas X, C o L, que en este mismo orden presentan una mayor longitud de onda. Con la banda X operan los sensores Cosmo SkyMed y TerraSAR X; con la banda C, Radarsat, Envisat-ASAR o más recientemente Sentinel-1, y con la banda L los dos únicos son ALOS-PALSAR y próximamente SAOCOM, que está en desarrollo.

Para la identificación de humedales los sensores más idóneos resultan ser los que operan con la banda L, dado que permiten identificar con bastante claridad los cuerpos de agua abiertos y aquellos que se encuentran bajo el dosel arbóreo. Los sensores que operan con la banda C pueden detectar de una manera aceptable los cuerpos de agua abiertos, mientras que los cubiertos por dosel arbóreo no. Los sensores que operan en la banda X son los más limitados para la identificación de cuer-



N



pos de agua, aunque tienen características que no los descartan del todo para este fin, como una capacidad aceptable de transmisividad a través de las nubes y una resolución tanto espacial (hasta 1 m) como temporal (hasta 2,5 días) superior a la de otros sensores de radar (Anexo 5.2).

Con respecto a otras variables importantes en la identificación del límite funcional de los humedales como la geomorfología, las diferentes bandas de las microondas tienen capacidades similares para mostrar las grandes estructuras geológicas e inferir pendientes o la geometría del terreno entre otras cosas. No obstante, el uso de imágenes de radar en general puede ser limitado en zonas de alta pendiente por distorsiones geométricas y ausencia de información por sombras.

Respecto a los suelos, la principal virtud de las imágenes de radar es, probablemente, la de poder identificar zonas con humedad debido a la sensibilidad de las microondas para discriminar las condiciones dieléct-

ricas del terreno, lo que está fuertemente relacionado con el contenido de agua. Sin embargo, la identificación de este atributo con un nivel de exactitud aceptable puede ser compleja debido a que los suelos húmedos presentan tonos brillantes, similares a los que se pueden encontrar, por ejemplo, en superficies rugosas.

Una de las potencialidades que tienen los sensores de radar para el estudio de suelos y geomorfología, pero principalmente para el modelamiento hidrológico tan útil en la identificación del límite funcional de los humedales, radica en una técnica llamada interferometría, mediante la cual es posible generar Modelos Digitales del Terreno (DEM). Si bien esta técnica es bastante compleja, a partir de ella han sido generados DEM de libre acceso como el SRTM de la NASA, con resoluciones de 30 y 90 m¹⁰, o modelos digitales del terreno de mayor resolución obtenidos con sensores como Terra-SAR X, los cuales pueden ser adquiridos en el mercado.



N. Malacofauna,
Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

O. Pelícanos, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

En relación con la detección de la vegetación, los sensores de radar, de acuerdo con su longitud, muestran diferente información. La banda X, por ejemplo, tiende a mostrar los elementos más pequeños del dosel de la vegetación como las hojas en sí. La banda C puede llegar a captar elementos de mayor tamaño como ramas pequeñas, mientras que la banda L puede llegar a captar las ramas y el tronco de los árboles.

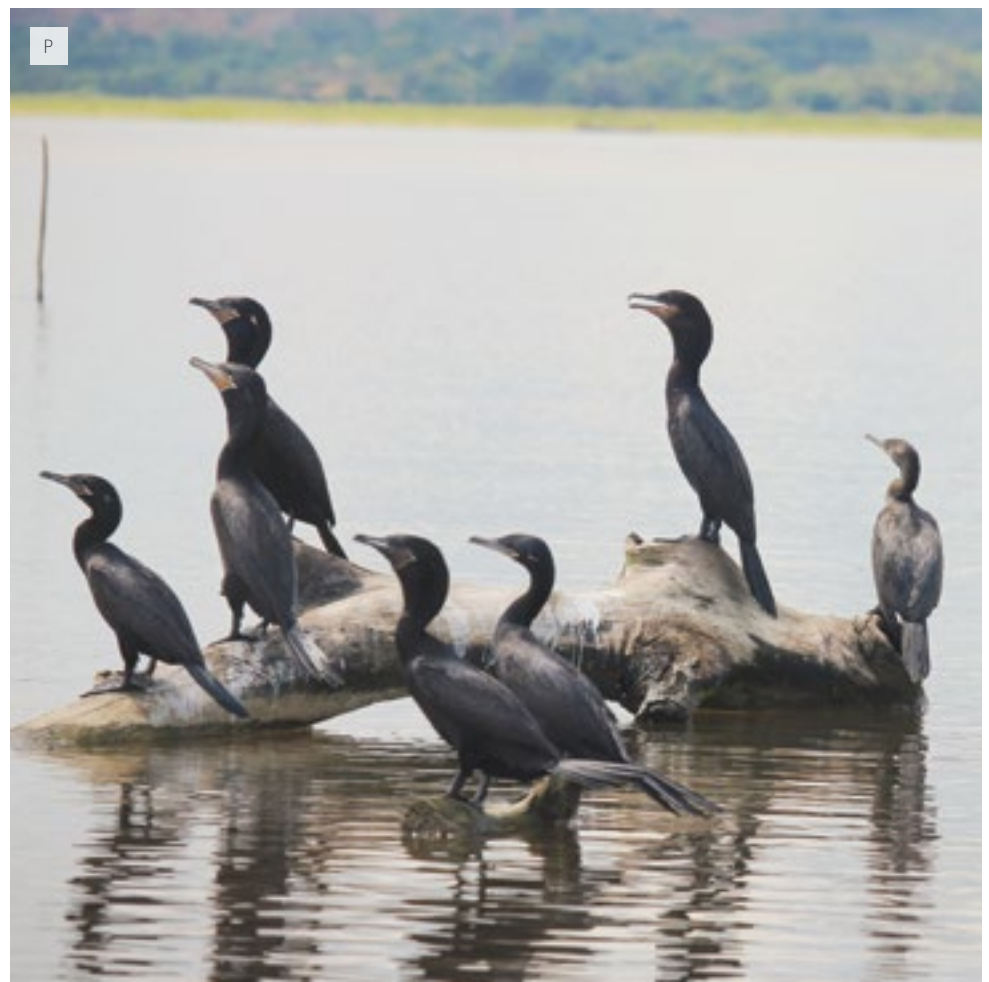
Un aspecto importante que permite discriminar los tipos de vegetación, de acuerdo con su estructura es la multipolarización debido a que cada una de las bandas presenta divergencias en su interacción con la vegetación dependiendo del sentido en el que el sensor emita y capture la energía. Entre los sensores que tienen polarización más completa están Terra-SAR X, Cosmo SkyMed, Radarsat-2, Sentinel-1 y ALOS-PALSAR; los que tienen menos tipos de polarizaciones en su mayoría ya no están en órbita como es el caso de ALOS-PALSAR 1, Radarsat 1 o ERS. Es necesario, sin embargo, tener en cuenta que el número de polarizaciones depende del modo de captura, lo que

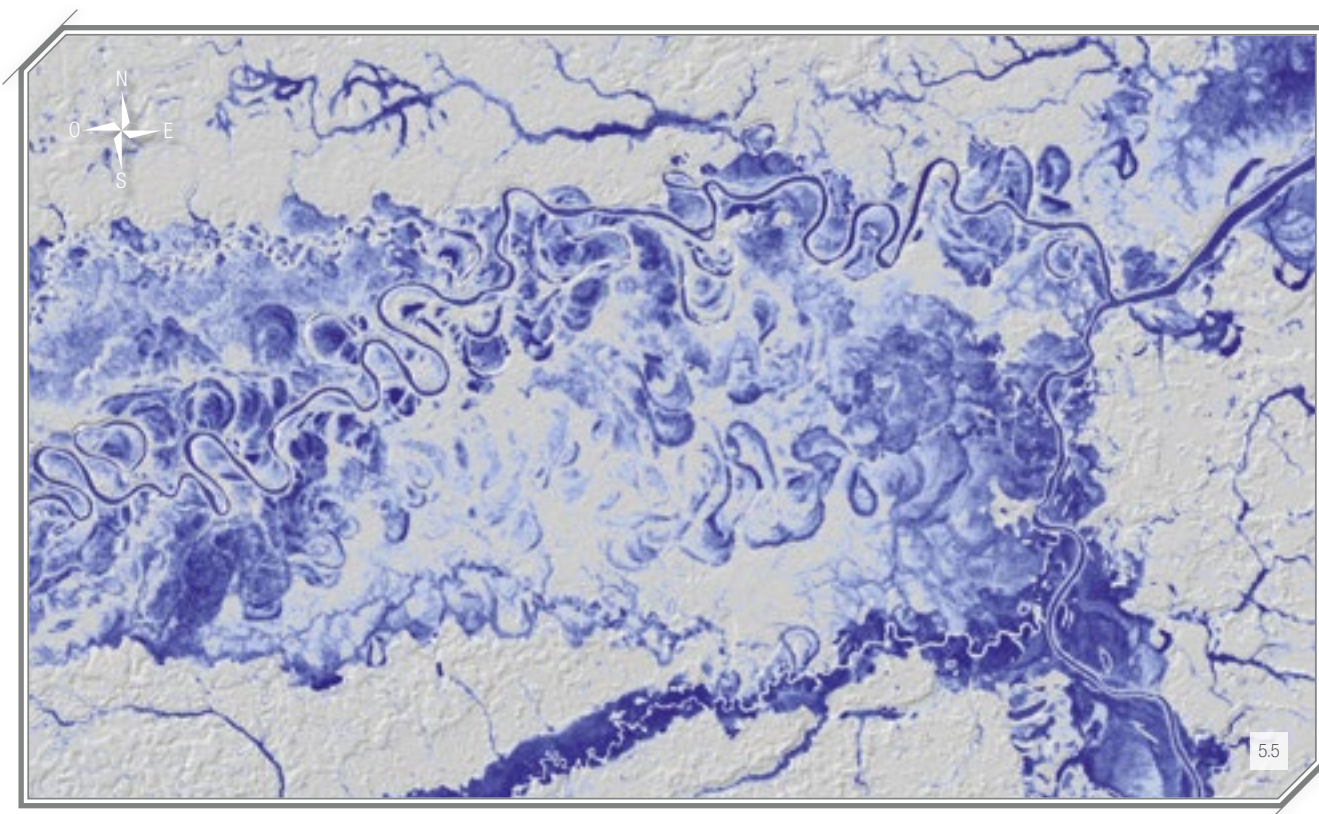
a su vez condiciona la resolución y la cobertura espacial de las imágenes.

Un último aspecto a mencionar respecto a los sensores de radar es que su procesamiento e interpretación requiere de bastante pericia técnica y software especializado, sobre todo cuando se cuenta con series temporales de imágenes, que es cuando se tienen mejores posibilidades de observar la dinámica hídrica y en este sentido el límite funcional de los humedales. Debido a esta complejidad el uso de imágenes de radar se recomienda cuando la información generada por sensores ópticos es deficiente como ocurre en zonas con muchas nubes o en las que la inundación ocurre bajo dosel, como es el caso de los bosques inundables de la costa Pacífica y del Amazonas (Figura 5.5). No obstante, vale la pena resaltar que la reciente liberación de las imágenes ALOS-PALSAR 1¹¹ y la filosofía abierta de la misión Sentinel, además del desarrollo de software gratuito y múltiple material de apoyo que se encuentra en internet como guías, tutoriales, etc., hace que el uso de estas imágenes sea cada vez más factible.



11. La descarga puede estar sujeta a ciertas condiciones de uso. Disponible en: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
12. Algunas de las funciones y herramientas mencionadas requieren la instalación de Google™ Earth Pro, que es la versión profesional del convencional Google™ Earth, el cual es de libre acceso después de completar el proceso de registro. Para descargar acceda a: <http://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>





5.5.5. OTRAS FUENTES DE VISUALIZACIÓN

Una herramienta de libre acceso y ampliamente difundida es Google™ Earth, que se caracteriza por la amplia base de datos global de imágenes satelitales, información temática y herramientas que ofrece. Entre las funciones que vale la pena resaltar están¹²:

- + Visualización de imágenes históricas.
- + Visualización tridimensional del terreno.
- + Cálculo de distancias, rutas y área de polígonos.
- + Introducir datos provenientes del sistema GPS o software SIG y de ingeniería como shapefiles, dxf, cad. Algunos de estos requieren ser convertidos al formato nativo de Google™ Earth (kml o kmz).
- + Crear puntos, líneas y polígonos que pueden llegar a ser desplegados en software SIG.
- + Visualización de lugares al nivel de tierra mediante la herramienta Street View.
- + Visualización y descarga de imágenes en resolución media y alta.

Estas funciones resultan de gran utilidad para fines de identificación del lí-

mite de los humedales. Los datos de alta y media resolución, así como la visualización tridimensional del terreno y las imágenes históricas son de gran utilidad para ver la vegetación, la cobertura de la Tierra, la pendiente, la orientación del terreno o el comportamiento de los cuerpos de agua a través del tiempo y con diferente nivel de detalle. También es bastante útil la función de visualización de datos georreferenciados (raster o vector), lo que permite observar simultáneamente diferentes tipos de información espacial, y en este sentido hacer análisis e inferencias, sugerir hipótesis, etc.

Frente a las virtudes que tiene Google™ Earth es necesario también mencionar algunas de sus limitaciones, por ejemplo, el nivel de exactitud de posición y la fidelidad en la geometría de las imágenes pueden llegar a ser bajos en ciertas zonas, particularmente las montañosas, y esto a su vez puede incidir en la exactitud de medición de distancias o áreas. También se debe considerar que el modelo digital del terreno tiene una resolución espacial de 30 m con un error máximo en la vertical del mismo valor aproximadamente.



Figura 5.5. Vegetación inundable e inundación abierta de los ríos Guaviare e Inírida. A mayor frecuencia, mayor intensidad de color. Mapa de frecuencias de inundación elaborado por SarVision y producto del convenio IDEAM - Instituto Humboldt, en el marco del Proyecto Fondo Adaptación.



P. *Phalacrocorax brasilianus*, también conocido como biguá, cormorán, cormorán negro. Ciénagas de Loricá, Córdoba. Foto: María Isabel Henao.

Se debe tener en cuenta que en el momento de importar datos georreferenciados de formatos externos se presentan limitaciones relacionadas con el volumen o la complejidad de la geometría de los archivos. Para corregir esto Google™ Earth puede aplicar algoritmos que pueden degradar la calidad de la información.

Complementariamente, en 2015 Google™ puso a disposición una nueva plataforma: Google™ Earth Engine¹³, la cual permite el acceso a imágenes históricas satelitales, desarrollo de algoritmos y su procesamiento en la nube. El acceso de datos se hace a través de un catálogo de datos que permite la selección de propiedades avanzadas para la visualización, entre las que se encuentra la combinación de todas las bandas de la imagen con la opción de crear imágenes de falso color, desplegar capas de parámetros como Min, Max, Gain, Bias, Gamma y poder revisar el archivo de metadatos. Adicionalmente, ha desarrollado productos como compuestos de mosaicos de índices de vegetación, radiancia, reflectancia de Landsat y MODIS, análisis de deforestación, cambios de co-

bertura de la Tierra, entre otros. Hasta el momento su uso es limitado y la comunidad interesada debe registrarse.

5.6. PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El alcance de las imágenes satelitales y su modo de uso está condicionado por el tipo de preprocesamiento al que hayan sido sometidas, es decir, por el conjunto de procedimientos para generarlas o modificarlas respecto a dos de sus propiedades: la radiometría y geometría (Figura 5.6). La primera corresponde a los valores que presentan las imágenes en la integridad de píxeles que las componen, mientras que la segunda corresponde a la forma en que los elementos de la superficie, con su respectiva forma, orientación, localización, etc., quedan plasmados sobre el plano bidimensional de la imagen.

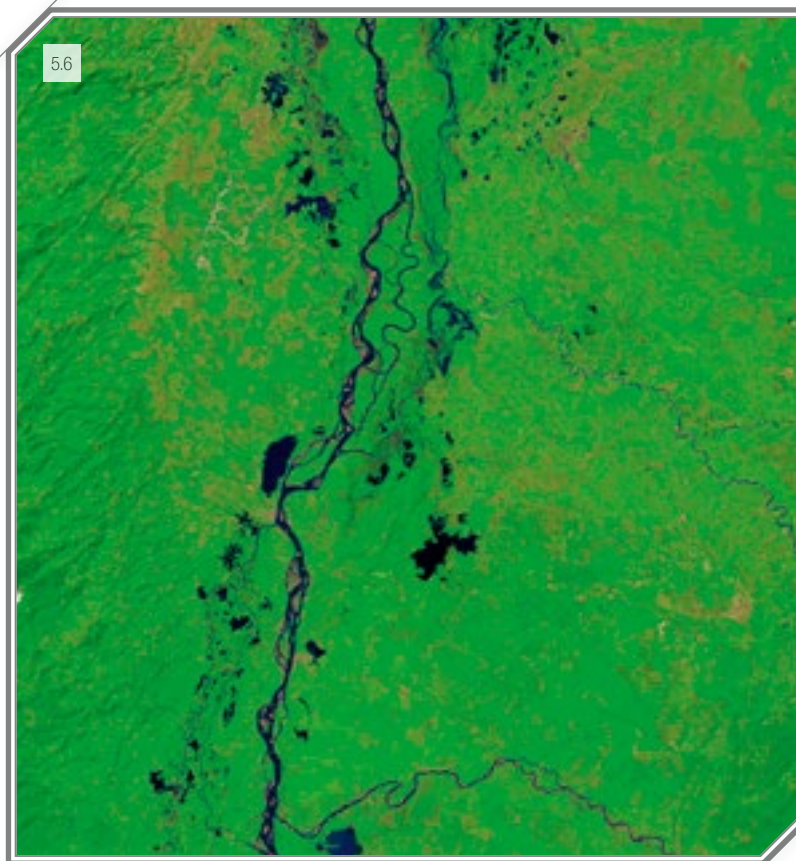
Tanto la radiometría como la geometría pueden ser llevadas hasta diferentes niveles de preprocesamiento. Generalmente los niveles iniciales son inherentes a la captura y son realizados por las entidades encargadas de la distribución de las imágenes; sin embargo, deben ser bien conocidos por el usuario para usar las imágenes de manera adecuada, con conciencia de los alcances y limitaciones. Los niveles posteriores de preprocesamiento corresponden a procedimientos realizados por los usuarios para adaptar las imágenes a sus objetivos de trabajo.

Normalmente, las actividades de preprocesamiento radiométrico más comunes efectuadas por los usuarios son:

- + **Conversión de valores:** consiste en la aplicación de algoritmos para convertir los valores calibrados sistemáticamente y “traducirlos”, como cuando se toman valores digitales o valor de píxeles y se pasan a valores físicos reales como radiancia espectral o reflectancia en el techo de la atmósfera, para el caso de las imágenes ópticas. Estos algoritmos y ecuaciones varían



Figura 5.6. Imagen Landsat 8 sin preprocesamiento, cortesía de U.S. Geological Survey. Fecha de captura: 4 de enero de 2015 (lc80080552015004lgn00), Magdalena medio. Combinación 7, 5, 2.





entre los diferentes sensores, por eso es importante remitirse a la información del proveedor o documentos asociados. Algunas referencias útiles son Chuvieco (1995), Chander y Markham (2003), Chander *et al.*, (2007) y USGS (2015). En las imágenes de radar generalmente los valores originales están dados en números complejos, y el procedimiento consiste en convertirlos a valores más manejables, normalmente decibeles.

- + Correcciones atmosféricas: consisten en aplicar algoritmos que reduzcan efectos negativos para la clasificación o interpretación de las imágenes generados por elementos en la atmósfera como aerosoles, bruma o humo.
- + Correcciones del relieve: consisten en disminuir en las imágenes el efecto de sombras causado por el relieve frente a la posición del sensor o la fuente de energía. En las imágenes de radar esta corrección es particularmente importante.
- + Correcciones por errores del sistema: consisten en aplicar algoritmos que reducen efectos negativos para la clasificación o interpretación de las imágenes generados por errores del sistema en el momento de la captura (franjas, ruido, etc.). En las imágenes



de radar se pueden incluir algoritmos para reducir el aspecto granuloso de las imágenes.

- + Mejoramientos estadísticos: existen varios tipos de algoritmos al respecto. En términos generales, la mayoría consiste en reescalar los valores de acuerdo a algún criterio estadístico para hacer más evidente la variabilidad de los mismos.

La conversión de valores es útil particularmente cuando se pretende hacer comparaciones entre imágenes, como en los estudios de detección de cambios. Además es fundamental para la generación de mosaicos, necesarios en el estudio de grandes áreas humedal que requieren más de una imagen para cubrir la extensión total. En estos casos se debe garantizar que estas sean de fechas muy cercanas o en lo posible que el día de captura sea el mismo. Las correcciones atmosféricas de relieve y de errores del sistema mejoran el aspecto visual, pero su principal potencial se presenta en las clasificaciones automatizadas de imágenes. Los mejoramientos estadísticos, por otra parte, se efectúan principalmente para mejorar la visualización.



13. Disponible en: <https://earthengine.google.org/#intro>



Q. Nido en humedal de La Conejera, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

R. *Pelecanus occidentalis*,
Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López



S. Vegetación en madreveja, Paz de Ariporo, Casanare.
Foto: Eduardo Cadena.



14. Los índices espectrales son combinaciones de dos o más bandas (longitudes de onda) que indican la abundancia de ciertos objetos o características de interés.

Respecto a las correcciones geométricas existen diferentes tipos de procesamientos, entre los cuales cabe destacar:

- + Geocodificación: consiste en asignar a cada pixel de la imagen coordenadas que se encuentran dentro de un marco espacial de referencia, tomando como base un conjunto de puntos con coordenadas conocidas que se pueden identificar con claridad en la imagen.
- + Ortorrectificación: es el nivel más avanzado de corrección geométrica en el cual la imagen es calibrada con base en parámetros que describen la geometría del sensor, la orientación de este respecto al terreno (esto requiere de puntos con coordenadas conocidas) y un modelo digital del terreno, lo que corrige las diferencias de escala en el interior de la imagen relacionadas con las variaciones de altura.

- + Corregistro: consiste en ajustar espacialmente un conjunto de imágenes para hacer que su coincidencia espacial sea lo más alta posible.

El nivel de exactitud en la corrección geométrica suele estar dado por el Error Medio Cuadrático (EMC), que se puede interpretar como el promedio de error en unidades de distancia, de un punto en la imagen respecto de su posición real. En general, con la orrorrectificación se logra un EMC inferior al que se puede esperar con imágenes geocodificadas, además de una mayor fidelidad geométrica, particularmente en zonas montañosas. Por otra parte, el corregistro asegura la coincidencia entre imágenes, pero para que el resultado sea compatible con otros tipos de información cartográfica es recomendable que la imagen de referencia (sobre la cual se ajustan las otras) tenga un nivel de corrección geométrica alto. Finalmente,

para profundizar en el tema se recomiendan los textos de Chuvieco (1995) y de Lillesand *et al.* (2007), al igual que tutoriales y documentos que se pueden encontrar en internet.

5.7. ÍNDICES DE HUMEDAD

La respuesta espectral de las diferentes bandas de las imágenes satelitales ópticas depende de las propiedades y características de los objetos que se están observando. En el caso particular del estudio de los humedales, el elemento a ser detectado primordialmente es el contenido de humedad en la superficie. De manera general, el agua absorbe todas las bandas de luz, por lo cual los valores de reflectancia son bajos en todo el espectro electromagnético. Esta respuesta también se presenta con la sombra de las nubes y del relieve y con construcciones, por lo que es necesario tener precaución en el momento de la interpretación. En este sentido, existen diferentes metodologías para resaltar las características de objetos que tienen una respuesta espectral conocida.

Una de las herramientas más implementadas y reportadas en la literatura es el cálculo de índices espectrales¹⁴. Los más conocidos están asociados con la vegetación y son el índice normalizado y diferenciado de vegetación NDVI, y el índice mejorado de vegetación o EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Para el caso específico de estudios asociados al agua, algunas de las primeras propuestas fueron la capa de humedad de la transformación Tasseled Cap y el índice normalizado y diferenciado de agua NDWI. Posteriormente, se planteó una modificación y se propuso el índice modificado normalizado y diferenciado de agua MNDWI. Recientemente se formularon dos índices automáticos de extracción de agua AWEI con base en coeficientes calculados a partir del análisis de imágenes de Landsat 5 (Fleayisa *et al.* 2014). A continuación se explican los índices de humedad.

El principio de la transformación Tasseled Cap es el realce de tres elementos: brillo, verdor y humedad (Figura 5.7) a partir de

imágenes Landsat y la implementación de coeficientes (Ecuación 5.2) calculados por Crist y Cicone (1984).

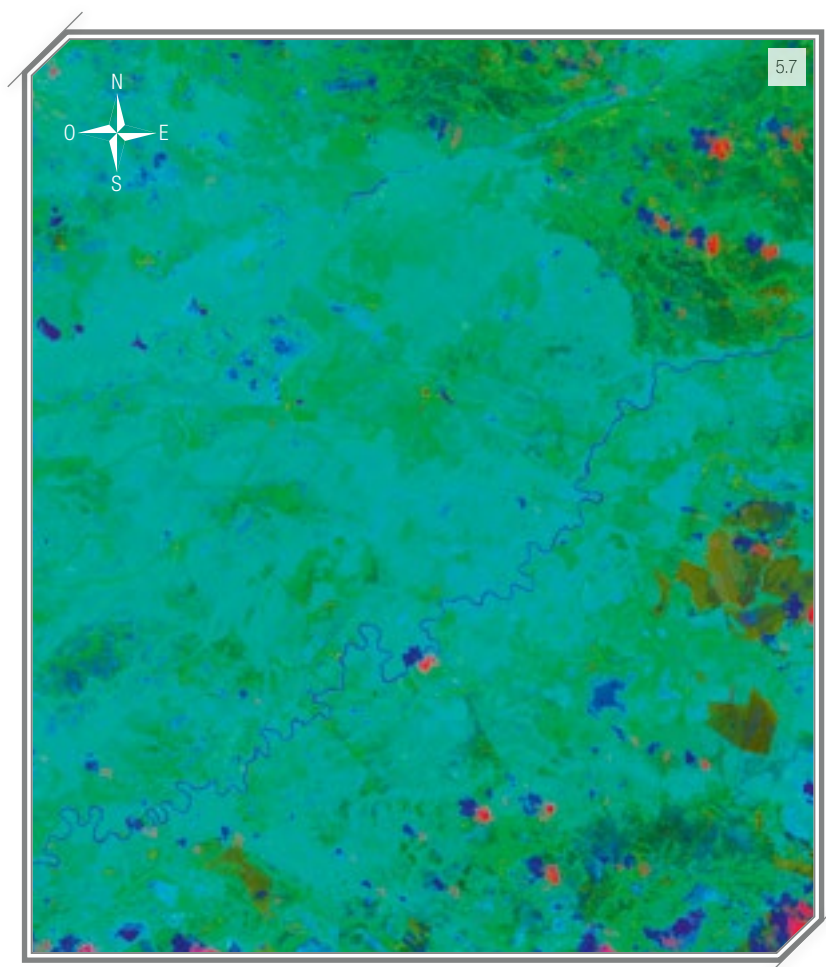
Σ Ecuación 5.2.

$$\begin{aligned}
 & \text{Banda de humedad} \\
 & = \\
 & (0,1509 \times \text{Banda 1}) \\
 & + \\
 & (0,1973 \times \text{Banda 2}) \\
 & + \\
 & (0,3279 \times \text{Banda 3}) \\
 & + \\
 & (0,3406 \times \text{Banda 4}) \\
 & - \\
 & (0,7112 \times \text{Banda 5}) \\
 & - \\
 & (0,4572 \times \text{Banda 7})
 \end{aligned}$$

Donde la Banda 1 corresponde al azul visible; la Banda 2, al verde visible; la Banda 3, al rojo; la Banda 4, al infrarrojo cercano; la Banda 5, al rango 1 del infrarrojo corto 1; y la Banda 7, al rango 2 del infrarrojo corto 2 de Landsat 5 y 7.



Figura 5.7. Imagen Landsat 8, cortesía de U. S. Geological Survey. Fecha de captura: Octubre de 2015 (lc800600562015278lgn). Sabanas inundables de Casanare. Transformación Tasseled Cap. Banda 1: brillo, Banda 2: verdor, Banda 3: humedad.



PARTE II

Primeros pasos



T. Victorias amazónicas,
Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

Los índices NDWI (McFeeters 1996) y MNDWI (Xu 2006) se basan en la comparación de las bandas verde (banda 2 TM) con el infrarrojo cercano (banda 4 TM) y el infrarrojo corto (banda 5 TM) respectivamente (ecuaciones 5.3 y 5.4). En ambos casos se usa un valor umbral de cero, es decir que valores entre 0,0 y 1,0 son clasificados como cuerpos de agua, mientras que valores entre 0,0 y -1,0 serán interpretados como no cuerpos de agua. Sin embargo, la implementación de este umbral debe ser revisada con precaución en el momento de hacer la interpretación ya que puede presentar ciertas limitaciones debido a la similitud espectral de las construcciones y sombras de nubes o del relieve.

Σ Ecuación 5.3.

$$NDWI = \frac{Banda\ 2 - Banda\ 4}{Banda\ 2 + Banda\ 4}$$

Donde la Banda 2 corresponde al verde visible, y la Banda 4, al infrarrojo cercano de Landsat 5 y 7.

Σ Ecuación 5.4.

$$MNDWI = \frac{Banda\ 2 - Banda\ 5}{Banda\ 2 + Banda\ 5}$$

Donde la Banda 2 corresponde al verde visible, y la Banda 5, al infrarrojo corto de Landsat 5 y 7.

Feyisa *et al.* (2014) demostraron una mayor precisión con los índices de extracción automática, los cuales desarrollaron experimentalmente con imágenes Landsat 5 después de realizar correcciones atmosféricas. Al igual que los índices presentados previamente, valores menores a cero se asocian a píxeles sin agua, y valores superiores a cero a píxeles con agua. Complementariamente, se formularon dos índices: el primero AWEInsh, propuesto para áreas donde la cobertura de sombras es bajo, reconoce superficies con alta reflectancia como hielo, nieve y superficies urbanas (Ecuación 5.5); este se enfoca primordialmente en eliminar píxeles sin agua.



Σ Ecuación 5.5.

$$\begin{aligned} AWEI_{nsh} &= \\ &4 \times (\text{Banda 2} - \text{Banda 5}) \\ &- \\ &(0,25 \times \text{Banda 4} + 2,75 \times \text{Banda 7}) \end{aligned}$$

El segundo índice $AWEI_{sh}$ está orientado a remover pixeles que son generados por las sombras de los objetos y que pueden ser confundidos con superficies de agua (Ecuación 5.6).

Σ Ecuación 5.6.

$$\begin{aligned} AWEI_{sh} &= \\ &\text{Banda 1} \\ &+ \\ &2,5 \times \text{Banda 2} \\ &- \\ &1,5 \times (\text{Banda 4} + \text{Banda 5}) \\ &- \\ &0,25 \times \text{Banda 7} \end{aligned}$$

Donde la Banda 1 corresponde al azul visible; la Banda 2, al verde visible; la Banda 4, al infrarrojo cercano; la Banda 5, al rango 1 del infrarrojo corto 1; y la Banda 7, al rango 2 del infrarrojo corto 2 de Landsat 5 y 7.

El resultado de algunos índices de humedad se presenta en la figura 5.8.

5.8. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

La clasificación de los objetos o coberturas en las imágenes satelitales se genera gracias a las similitudes o diferencias en sus respuestas espectrales, y se puede efectuar básicamente por tres métodos: no supervisado (automatizado), supervisado (semiautomatizado) o de interpretación visual. La clasificación no supervisada consiste en aplicar un algoritmo mediante el cual cada uno de los pixeles de la imagen es asignado a una clase determinada dentro de un grupo posible. Tal asignación tiene en cuen-



Al finalizar el análisis de sensores remotos se podrá contar con:

- + Visualización del área de contexto y del área de estudio en servidores como Google™ Earth o Bing o con imágenes de sensores libres como Landsat.
- + Una serie de imágenes de época seca y de época de lluvia y de diferentes años, útiles para análisis multitemporales.
- + Imágenes preprocesadas y listas para ser usadas en la interpretación de geoformas y suelos.
- + Índices de humedad que se puedan aplicar en análisis hidrológicos.
- + Mapas de expansión y contracción de espejos de agua.

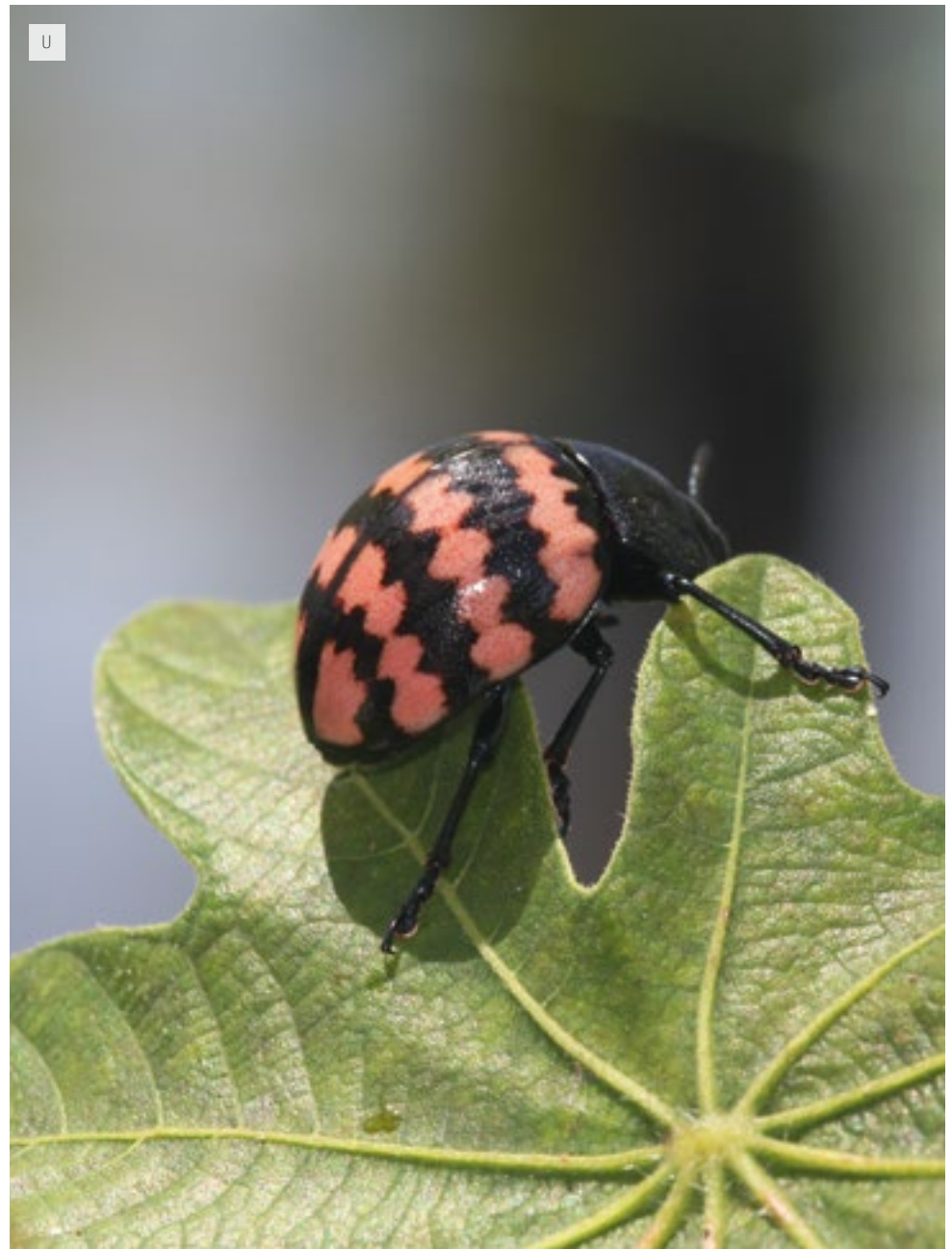
ta el comportamiento numérico de cada pixel en las diferentes bandas espectrales (es decir: su curva espectral). La clasificación supervisada también funciona con un algoritmo que asigna los pixeles a una clase determinada, la diferencia es que en este proceso la asignación se hace con base en unas zonas de muestra (también llamadas zonas de entrenamiento), que son definidas por el intérprete.

Por otra parte, la interpretación visual es un proceso manual en el cual se digitalizan polígonos pertenecientes a una clase determinada, con base en criterios pictórico-morfológicos de los objetos que el intérprete observa en la imagen, como son su forma, tamaño, sombra, textura, tono/color, arreglo espacial, textura, posición geográfica y asociación con otros

elementos (Melo y Camacho 2005). Debido a que la interpretación visual tiene en consideración un mayor número de variables, puede llegar a ser más precisa que los otros dos métodos de clasificación; sin embargo, los resultados dependen en gran medida de la pericia del intérprete y tienen un alto componente de subjetividad. Además, la interpretación visual requiere un gran volumen de trabajo que hace casi improbable su aplicabilidad a estudios multitemporales con una alta densidad de información temporal o que abarquen áreas extensas. Los resultados de los otros dos métodos de clasificación dependen de que el comportamiento espectral de los elementos de interés tenga diferencias claras, y en el caso de la clasificación supervisada se debe sumar a esto

la calidad de las zonas de entrenamiento, las cuales deben ser tan homogéneas como sea posible.

En los humedales, el comportamiento espectral de los espejos de agua tiende a ser bastante diferente de otras coberturas, por lo que su clasificación, aun por métodos no supervisados puede llegar a ser bastante aceptable (Capítulo 7). En el caso de la vegetación asociada a humedales, el comportamiento espectral puede no ser tan claramente diferente, por lo que los métodos supervisados o no supervisados pueden ser limitados, lo que significa que pueden llegar a ser aplicados pero con un trabajo juicioso de edición. Otras variables como la geomorfología y los suelos pueden llegar a ser mapeadas solo con interpretación visual.



U



U. Coleóptero, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



Figura 5.8. Imagen Landsat 8, cortesía de U.S. Geological Survey de las sabanas inundables de la Orinoquia. Fecha de captura: octubre 5 de 2015 (lc80060562015278). De arriba abajo, (1) Combinación 7, 5, 3, (2) Tasseled Cap, bandas de brillo, verdor y humedad, (3) Banda de humedad Tasseled Cap (4) MNDWI.



Chander, G. y B. Markham. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41(11): 2674-2677.

Chander, G., B. Markham y D. Helder. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS TM ETM+ and EO-1 Ali sensors. *Remote Sensing of Environment* 113: 893-903.

Chuvienco, E. 1995. *Fundamentos de teledetección espacial*. 2ª edición. Ediciones Rialp S.A. Madrid. 449 p.

Crist, E. P. y R.C. Cicone. 1984. A physically-based transformation of thematic mapper data---The TM Tasseled Cap. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* GE-22(3): 256-263. Doi:10.1109/TGRS.1984.350619.

Estupiñán Suárez, L. M., O. A. León y C. A. Sarmiento. 2016. Disturbance regime. Section 2.7. En: *Sourcebook for biodiversity monitoring in tropical forest with remote sensing*. En prensa.

Feyisa, G. L., H. Meilby, R. Fensholt y S. R. Proud. 2014. Automated water extraction Index: A new technique for

surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens Environ.* 140: 23-35. Doi:10.1016/j.rse.2013.08.029.

Goodchild, M. F. y J. Proctor. 1997. Scale in a digital geographic world. *Geographical and Environmental Modelling* 1(1): 5-23. [275] *Globwetland*. 2008. *GlobWetland final technical report*.

Lillesand, T. M., R. W. Kiefer y J. W. Chipman. 2008. *Remote sensing and image interpretation*. 6ª edición. John Willey & Sons, Inc. Estados Unidos.

McFeeters, S. K. 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J Remote Sens.* 17: 1425-1532.

MDA Geospatial. 2008. *GlobWetland Final Technical Report*. Prepared by MDA Geospatial Inc. to European Space Agency ESA. Disponible en: http://due.esrin.esa.int/files/131-176-149-30_20097910856.pdf

Melo, L. H. y M. A. Camacho. 2005. *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de uso y cobertura de la tierra*. IGAC - CIAF. Bogotá D. C., Colombia.

NASA, 2015. Sentinel-2A Launches—Our Compliments & Our Complements. Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel 2. June 23, 2015. Disponible en: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=10643>

Quattrochi, D. A. y M. F. Goodchild. 1997. Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and GIS. En: *Scale in Remote Sensing and GIS*. CRC Press. 432 p.

Richards, J. y X. Jia. 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction*. 4ª edición. Springer.

Sar Vision. 2014. *Material Capacitación Radar*. Convenio Instituto Humboldt, IDEAM, SarVision.

Tobler, W. 1987. Measuring Spatial Resolution. En: *Proceedings, Land Resources Information Systems Conference*. Beijing. pp. 12-16.

USGS. 2015. Using the USGS Landsat 8 Product Background, Conversion to TOA Radiance, Conversion to TOA reflectance, Conversion to At-Satellite Brightness Temperature. Servicio Geológico de los Estados Unidos. Disponible en: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

Vilardy, S. P., Ú. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, O. Acevedo, W. Samacá, A. C. Santos, S. Peláez y C. Aponte. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales. Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. Disponible en https://www.siac.gov.co/documentos/Gest-Cont/Cartilla_humedales_inteactivo_1.pdf

Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J Remote Sens.* 27(14): 3025-3033.



ANEXOS

ANEXO 5.1.

CARACTERÍSTICAS DE SENSORES REMOTOS DE RADAR

SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL (NM)	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL	COBERTURA	CAPACIDAD DE DETECCIÓN (28 PÍXELES) Y ESCALA	TIEMPO DE OPERACIÓN
Ikonos	Pan: 0,5 m ME: 4 m	A: 445 - 516 nm V: 506 - 595 nm R: 632 - 698 nm I1: 757 - 853 nm Pan	11 bits	Aprox. 3 días	11,3 km	7 a 448 m ² / 1:1.000 a 1:8.000	Desde 24 de septiembre de 1999
Quickbird	Pan: 0,6 m ME: 2,4 m	A: 450 - 520 nm V: 520 - 600 nm R: 630 - 690 nm I1: 760 - 900 nm Pan: 450 - 900	11 bits	1 a 3,5 días	14,9 km (swath)	10,1 a 161,3 m ² / 1:1.200 a 1:4.800	Desde 18 de octubre de 2001
Worldview I	Pan: 0,5 m	400 - 900 nm	11 bits	Entre 1,7 y 5,4 días	17,6 x 14 km	7 m ² / 1:1.000	Desde septiembre 18 de 2007
Worldview II	Pan: 0,5 m ME: 2 m	C: 400 - 450 nm A: 450 - 510 nm V: 510 - 580 nm O: 585 - 625 nm R: 630 - 690 nm B: 705 - 745 nm I1: 770 - 895 nm I2: 760 - 900 nm	11 bits	1,1 a 3,7 días	16,4 km (swath)	7 a 112 m ² / 1:1.000 a 1:4.000	Desde octubre 18 de 2009
Rapideye	5 m	A: 440 - 510 nm V: 520 - 590 nm R: 630 - 685 nm B: 690 - 730 nm I1: 760 - 850 nm	12 bits	1 a 5 días	77 km (swath)	700 m ² / 1:10.000	Febrero de 2009
Spot 6 y 7	Pan: 1,5 m ME: 6 m	455 - 525 nm 530 - 590 nm 625 - 695 nm 760 - 890 nm	12 bits	1 día (con los 2 satélites y 3 días uno solo)	60 km (swath)	63 m ² , 1000 m ² , / 1:3.000, 1:12.000	9 de septiembre de 2012 (Spot 6) 30 de junio de 2014 (Spot 7)

CARACTERÍSTICAS DE SENSORES REMOTOS DE RADAR

SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL (NM)	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL	COBERTURA	CAPACIDAD DE DETECCIÓN (28 PÍXELES) Y ESCALA	TIEMPO DE OPERACIÓN
Spot 5	Pan: 2,5 m - 5 m y 10 m ME: 5 m, 10 m y 20 m	480 - 710 nm 500 - 590 nm 610 - 680 nm 780 - 890 nm 1,580 - 1,750 nm	8 bits	2 a 3 días	60 x 60 km	175 m ² , 700 m ² , 0,28 ha, 1,12 ha / 1:5.000, 1:10.000, 1:20.000, 1:40.000	3 de mayo de 2002
Aster	15 m bandas 1, 2, 3 y 4 30 m bandas 5 a 10 90 m bandas 11 a 15	520 - 600 nm 630 - 690 nm 780 - 860 nm 780 - 860 nm 1600 - 1700 nm 2145 - 2185 nm 2185 - 2225 nm 2235 - 2.285 nm 2295 - 2365 nm 2360 - 2430 nm 8125 - 8.475 nm 8475 - 8.825 nm 8925 - 9.275 nm 10250 - 10950 nm 10950 - 11650 nm	8 - 12 bits	16 días	60 x 60 km	0,63 ha, 2,52 ha, 22,68 ha / 1:30.000, 1:60.000, 1:180.000	Diciembre 18 de 1999
Landsat OLI	Pan: 15 ME: 30 Thermal: 100	Pan: 560 - 680 nm C: 430 - 450 nm A: 450 - 510 nm V: 530 - 590 nm R: 640 - 670 nm I1: 850 - 880 nm I2: 1570 - 1650 nm I3: 2110 - 2290 nm U: 1360 - 1380 nm T1: 10,6 - 11,19 mm T2: 11,5 - 12,5 mm	16 bits	16 días	185 km (swath)	0,63 ha, 2,52 ha, 28 ha / 1:30.000, 1:60.000, 1:200.000	11 de febrero de 2013
Deimos - 1	22 m	V: 520 - 600 nm R: 630 - 690 nm I1: 770 - 900 nm	10 u 8 bits	2 a 3 días	650 x 1300 km	1,36 ha / 1:44.000	29 de julio de 2009
Sentinel - 2	10 m bandas 2, 3, 4 y 8 20 m bandas 5, 6, 7, 9, 12 y 13 60 m bandas 1, 10 y 11	433 - 453 nm 457,5 - 522,5 nm 542,5 - 577,5 nm 650 - 680 nm 697,5 - 712,5 nm 732,5 - 747,5 nm 773 - 793 nm 784,5 - 899,5 nm 855 - 875 nm 935 - 955 nm 1365 - 1395 nm 1565 - 1655 nm 2100 - 2280 nm	12 bits	2 a 5 días	290 km (swath)	0,28 ha - 1,12 ha - 10 ha / 1:20.000 - 1:40.000 1:120.000 -	Se espera su lanzamiento en el primer semestre de 2015

CARACTERÍSTICAS DE SENSORES REMOTOS DE RADAR

SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL (NM)	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	RESOLUCIÓN TEMPORAL	COBERTURA	CAPACIDAD DE DETECCIÓN (28 PÍXELES) Y ESCALA	TIEMPO DE OPERACIÓN
MERIS	300 m en áreas continentales y costeras	407,5 - 417,5 nm 437,5 - 447,5 nm 485 - 495 nm 505 - 515 nm 615 - 625 nm 660 - 670 nm 677,25 - 684,75 nm 703,75 - 713,75 nm 750 - 757,5 nm 771,25 - 786,25 nm 845 - 905 nm 880 - 890 nm 890 - 910 nm	12 bits	Aprox. 3 días	1150 km (swath)	252 ha / 1:600.000	Marzo de 2002 a 8 de abril de 2012
Sentinel - 3 OLCI	300 m en áreas continentales y costeras	Bandas de MERIS más: 392,5 - 407,5 nm 670 - 677,5 nm 762,5 - 766,25 nm 766,25 - 768,75 nm 930 - 950 nm 1000 - 1040 nm	12 bits	1 a 4 días	1270 km (swath)	252 ha / 1:600.000	Planeado para ser lanzado a finales de 2015
MODIS	250 - 500 -1000	36 bandas desde 520 a 14,380 nm	12 bits	1 a 2 días	2330 km (swath)	175 ha, 700 ha, 2.800 ha / 1:500.000, 1:1.000.000, 1:2.000.000	Diciembre 18 de 1999
Hyperion	30 m	220 bandas entre 357 a 2576 nm con un ancho de 10 nm cada una	16 bits	16 días	7,7 x 42 km	2,52 ha / 1:60.000	Noviembre 21 de 2000
CHRIS PROBA	17 a 36 m	19 bandas entre 400 y 1050 nm a 17 m programable para 63 bandas a 36 m e incluso hasta 150	12 bits	Aprox. 7 días	14 x 18 km	0.81 ha, 3,62 ha / 1:34.000, 1:72.000	Octubre 22 de 2001

“En los humedales,
**el comportamiento
espectral**

de los espejos de agua tiende a ser bastante
diferente de otras coberturas, por lo que
su clasificación, aun por

**métodos no
supervisados,**
puede ser aceptable”

ANEXO 5.2.

CARACTERÍSTICAS DE SENSORES REMOTOS DE RADAR

SENSOR	BANDA	TIEMPO DE OPERACIÓN	RESOLUCIÓN TEMPORAL	MODOS
TerraSAR - X	X	Junio 15 de 2007 (TSX) y junio 21 de 2010 (TDX)	2,5 a 11 días	High Resol. SpotLight
				SpotLight
				StripMap
				Scan SAR
Cosmo Sky Med	X	Junio 8 y diciembre 9 de 2007, octubre 25 de 2008 y noviembre 5 de 2010	5 días	SpotLight
				StripMap (S)
				StripMap (D)
				Scan SAR (Huge Region)
Envisat ASAR	C	Marzo 1 de 2002 a abril 8 de 2012	35 días	Scan SAR (Wide Region)
				Global Monitoring
				Image
				Alternating polarization
Radarsat - 1	C	4 de noviembre de 1995 a 9 de abril de 2013	24 días	Wide Swath
				Wave
				Fine
				Estándar
Radarsat - 1	C	4 de noviembre de 1995 a 9 de abril de 2013	24 días	Wide Swath
				Scan SAR Narrow
				Scan SAR wide
				Extended High
Radarsat - 1	C	4 de noviembre de 1995 a 9 de abril de 2013	24 días	Extended Low

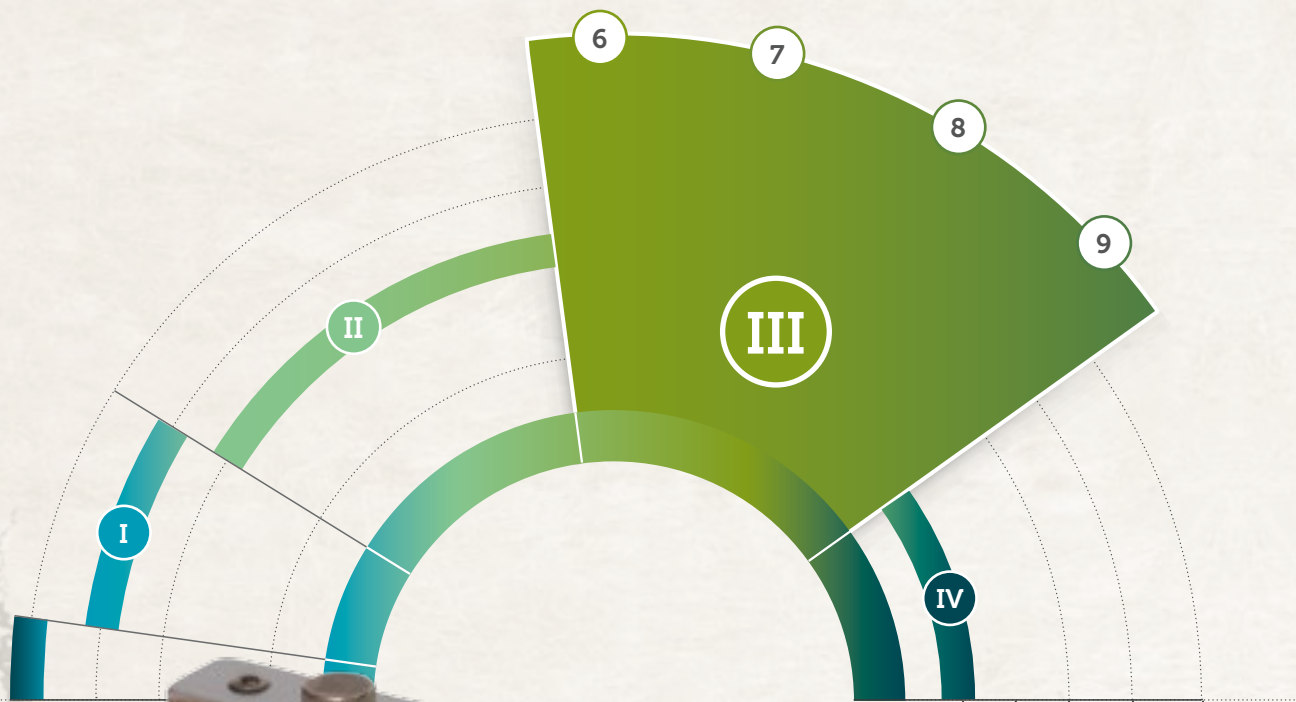
"RESOLUCIÓN ESPACIAL"	CAPACIDAD DE DETECCIÓN (28 PÍXELES) Y ESCALA	COBERTURA (ANCHO DE FAJA)	POLARIZACIÓN (H: HORIZONTAL, V:VERTICAL)
1 m (S) 2 (D)	"20 m ² - 112 m ² / 1:2.000 - 1:4.000"	10 x 5 km	VV, HH o WV/HH
2 m (S) 4 (D)		10 x 10 km	
3 m	252 m ² / 1:6.000	10 x 50 (S) 30 x 50 (D)	"VV, HH, WV/HH HH/VV, HH/HV o VH/HV"
18 m	0,9 ha / 1:36.000	100 x 150 km	HH o VV
1 m	20 m ² / 1:2.000	10 km	HH o VV
3 - 15 m	"252 m ² - 6300 m ² / 1:6.000 - 1:30.000"	30 a 40 km	HH, HV, VH o VV
3 - 15 m		30 a 40 km	HH/VV, HH/HV o WV/VH
100 m	28 ha / 1:200.000	200 km	HH, HV, VH o VV
30 m	2,52 ha / 1:60.000	100 km	
1000 m	28 km ² / 1:2.000.000	Ancho 405 km	HH o VV
30 m	2,52 ha / 1:60.000	Aprox. 100 km	HH/VV, HH/HV o WV/VH
30 m	2,52 ha / 1:60.000	Aprox. 100 km	
150 m	63 ha / 1:63.000	Ancho 405 km	HH o VV
<10 m	>0,28 ha / 1:20.000	5 a 10 km	
8 m	0,18 ha / 1:16.000	50 x 50 km	HH
25 m	1,75 ha / 1:50.000	100 x 100 km	
30 m	2,52 ha / 1:60.000	150 x 150	
50 m	7 ha / 1:100.000	300 x 300	
100 m	28 ha / 1:200.000	500 x 500	
25 m	1,75 ha / 1:50.000	75 x 75	
35 m	3,43 ha / 1:70.000	170 x 170	

CARACTERÍSTICAS DE SENSORES REMOTOS DE RADAR

SENSOR	BANDA	TIEMPO DE OPERACIÓN	RESOLUCIÓN TEMPORAL	MODOS
Radarsat - 2	C	14 de diciembre de 2007	24 días	SpotLight
				Ultrafine
				Multi-Look fine
				Fine
				Estándar
				Wide Swath
				Scan SAR Narrow
				Scan SAR wide
				Extended High
				Fine quad-pol
Sentinel - 1a/1b	C	3 de abril de 2014 (1a) y octubre de 2015 (1b)	12 días cada uno y 6 días los dos	Estándar quad-pol
				StripMap
				Intereferom. Wideswath
				Extra wide-swath
ALOS-PALSAR - 1	L	Enero 24 de 2006 a abril 22 de 2011	46 días	wave
				Fine Beam Single
				Fine Beam Dual
ALOS-PALSAR - 2	L	24 de mayo de 2014	14 días	Scan SAR
				SpotLight
				Stripmap Ultrafine
				High Sensitive
				Stripmap Fine
				Scan SAR nominal
SAOCOM 1a/1b	L	Fecha de lanzamiento por confirmar	8 días (los 2) y 16 días cada uno	Scan SAR wide
				Stripmap
				Topsar narrow A
				Topsar wide



“RESOLUCIÓN ESPACIAL”	CAPACIDAD DE DETECCIÓN (28 PÍXELES) Y ESCALA	COBERTURA (ANCHO DE FAJA)	POLARIZACIÓN (H: HORIZONTAL, V:VERTICAL)
1 m	20 m ² / 1:2.000	18 x 8	HH, VV, HV o VH,
3 m	252 m ² / 1:6.000	20 x 20	
8 m	0,18 ha / 1:16.000	50 x 50	
8 m	0,18 ha / 1:16.000	50 x 50	
25 m	1,75 ha / 1:50.000	100 x 100	
30 m	2,52 ha / 1:60.000	150 x 150	
50 m	7 ha / 1:100.000	300 x 300	
100 m	28 ha / 1:200.000	500 x 500	
18 m	0,9 ha / 1:36.000	75 x 75	HH
12 m	0,4 ha / 1:24.000	25 x 25	HH/VV/HV/VH
25 m	1,75 ha / 1:50.000	25 x 25	
5 m	700 m ² / 1:10.000	80 km	VV/VH, HH/HV, HH o VV
5 x 20 m	1,12 ha / 1:40.000	250 km	
20 x 40 m	4,48 ha / 1:80.000	400 km	
5 m	700 m ² / 1:10.000	20 x 20 km	VV o HH
10 m	0,28 ha / 1:20.000	70 km	HH
20 m	1,12 ha / 1:40.000	70 km	HH/HV
100 m	28 ha / 1:200.000	350 km	HH
3 m	252 m ² / 1:6.000	25 x 25 km	HH o HV
3 m	252 m ² / 1:6.000	50 km	
6 m	0,1 ha / 1:12.000	50 km	HH/HV/VV/VH
10 m	28 ha / 1:200.000	70 km	HH/HV
60 m	10 ha / 1:120.000	490 km	
100 m	28 ha / 1:200.000	350 km	
10 m - 100 m	0,28 ha / 1:20.000 - 28 ha / 1:200.000	30 km - 350 km	HH, VV, HH/HV, VV/VH o HH/HV/VH/VV



PARTE III

TRAS LAS HUELLAS DEL AGUA

CAPÍTULO 6.

Delimitación de humedales a partir de criterios geomorfológicos

Jorge E. Patiño

Los humedales son ecosistemas que están en constante cambio, tanto los estacionales como los de largo plazo, y están sujetos a la influencia de factores naturales como la lluvia, los cambios en la temperatura, los procesos de erosión y de depósito de materiales y los cambios en el nivel del mar, entre otros (Kolka y Thompson 2006, Jackson *et al.* 2014).

Todos los humedales se encuentran en un paisaje, el cual ejerce una gran influencia sobre cómo se desarrolla y funciona el humedal (Moss 2006). En general, la identificación de los rasgos geomorfológicos de este ecosistema se hace en dos etapas: la primera consiste en una inspección general del paisaje para identificar los sitios de ocurrencia más probables usando información secundaria en trabajo de oficina; la segunda involucra trabajo de campo y consiste en la verificación de los límites del humedal en el terreno, usando geoindicadores como la presencia de marcas de agua en el terreno (Capítulo 7) y de suelos hídricos (Capítulo 8) y bioindicadores como la presencia de vegetación de humedal (hidrófila, Capítulo 9) y otros organismos adaptados a la vida anfibia.

6.1. MARCO DE REFERENCIA

De los manuales de identificación de humedales de otros países que fueron revisados, solo dos incorporan el uso de criterios geomorfológicos: el caso de Alberta (Canadá), en el que se exige tener un entendimiento básico de la geomorfología y la formación de los humedales en el paisaje para evaluar la permanencia de estos para efectos de ordenamiento territorial (Alberta Environment and Sustainable Resource Development – ESDR 2014) y el caso de Australia, en cuyos manuales se requiere identificar el límite geomorfológico para determinar el límite del humedal (Essential Environmental Services 2005).

La mayoría de guías metodológicas para la identificación de humedales en otros países se basan en la presencia de tres indicadores obligatorios y combinados (no basta con que exista uno solo de ellos, deben existir por lo menos dos, al mismo tiempo): suelos hídricos o asociados a humedal, presencia de vegetación de humedal o hidrofítica y condiciones hídricas de humedal, es decir, inundaciones periódicas o saturación del suelo en superficie por un tiempo determinado (Zampella 1991, Bravo Chacón y Windevoxhel Lora 1997, Tiner 2000, Cwikel 2003, Lichvar *et al.* 2012).



MONJITA

Chrysomus icterophalus

Ave de los humedales de agua dulce, con comportamiento gregario aun en período de cría. Ciénagas de Lórica.

Foto: Fernando Trujillo.

PARTE III

Tras las huellas del agua



- A. Madre vieja, Paz de Ariporo, Casanare.
Foto: Luis Fernando López

- B. Humedal Santa María del Lago, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

En este documento se aborda la identificación de los elementos del paisaje o geoformas que pueden asociarse a la presencia de humedales, es decir, aquellas que permiten la acumulación de agua y que en general se encuentran localizadas en las posiciones más bajas del paisaje (Cwikiel 2003). Sin embargo, pueden existir condiciones especiales en áreas más altas como en las laderas, formadas por zonas de descarga de aguas subterráneas o por saturación del flujo de agua superficial que dan lugar a nacimientos de quebradas en zonas montañosas; y en las cúspides de alta montaña, donde puede existir acumulación de agua en forma de casquetes glaciares.

Siguiendo el esquema general propuesto por Robertson et al. (2013) para el levantamiento de unidades geomorfológicas, se sugiere el trabajo de identificación y delimitación de humedales en tres etapas: una de reconocimiento e identificación preliminar en oficina, otra de levantamiento de datos y verificación de campo y una final de ajustes en oficina.

Para el mapeo de geoformas se usa una clasificación basada en ambientes geomorfológicos, unidades, subunidades y componentes. Esta jerarquización parte de las propuestas de estandarización de cartografía geomorfológica que se han presentado para Colombia en los últimos años (Carva-



jal 2011, Gómez Velásquez *et al.* 2013). El esquema propuesto comprende la siguiente jerarquía de unidades de mapeo:

- + **GEOMORFOESTRUCTURA:** son grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales. Pueden haber sufrido deformación, basculamiento y otras transformaciones geológicas. Algunos ejemplos son: cadenas montañosas, plataformas y grandes cuencas sedimentarias. Corresponde a escalas de trabajo menores de 1:2.500.000.
- + **PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA:** constituida por conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas



por un macrorrelieve y una génesis geológica similar. Corresponde con los terrenos geológicos, los cuales están demarcados en Colombia por el trazo de grandes fallas regionales y suturas definidas o inferidas. La escala de trabajo varía entre 1:1.000.000 y 1:500.000.

- + **REGIONES GEOMORFOLÓGICAS:** son áreas que, además de reunir las características arriba mencionadas, tienen un origen dominado por procesos morfogenéticos o climáticos que interactúan entre sí y están relacionados con un mismo ambiente (relieve característico). El ambiente morfogenético hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Se



AMBIENTES MORFOGÉNICOS

De acuerdo con Carvajal (2011), se agrupan de manera general en las siguientes clases:

- » *Ambiente morfoestructural:* geoformas generadas por la dinámica interna de la Tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos.
- » *Ambiente volcánico:* geoformas generadas por la intrusión y la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la Tierra.
- » *Ambiente denudacional o erosional:* determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas preexistentes.
- » *Ambiente fluvial y lagunar:* geoformas generadas por procesos de erosión y sedimentación, formadas por corrientes de agua tales como ríos y arroyos, y lagos y lagunas respectivamente.
- » *Ambiente marino y costero:* geoformas construidas o esculpidas por la actividad de las corrientes y procesos del mar. Incluyen los deltas.
- » *Ambiente glaciar y periglaciar:* definido por las geoformas originadas por los glaciares tanto continentales (casquetes polares) como de alta montaña. En Colombia solo se presenta el tipo de alta montaña.
- » *Ambiente eólico:* geoformas erosivas y de acumulación de sedimentos formadas por la acción de los vientos en climas desérticos o con déficit de agua.
- » *Ambiente kárstico:* definido por las formas del terreno producidas por la meteorización y dilución de rocas y materiales de fácil disolución, como las calizas y la sal mineral, en ambientes tropicales húmedos.
- » *Ambiente antropogénico:* corresponde a las formas del terreno producidas por la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.



determina mediante la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas. La escala de trabajo está entre 1:500.000 y 1:250.000.


- + **UNIDAD GEOMORFOLÓGICA:** se propone como la unidad básica de la cartografía geomorfológica. Corresponde a aquellas partes de las regiones que fueron generadas por un proceso morfogenético particular, el cual les imprime una característica morfológica específica. Presentan uniformidad en el material geológico y/o edad. La escala de trabajo está entre 1:100.000 y 1:50.000.
- + **SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA:** corresponde a una subdivisión de las unidades geomorfológicas. Son partes específicas de cada unidad que es posible diferenciar en el terreno de acuerdo con su expresión morfológica o composición. Por ejemplo, en una unidad de terrazas marinas es posible diferenciar como una subunidad el escarpe de la terraza. La escala de trabajo varía entre 1:25.000 y 1:10.000.

- + **COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO:** corresponde al máximo nivel de detalle en la jerarquización propuesta. Esta categoría está determinada por los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno dentro de la subunidad geomorfológica. Escalas de trabajo mayores que 1:10.000.

Este capítulo está organizado de la siguiente forma: la primera sección corresponde a la fase inicial y de planeación, en la cual se hace la interpretación de información disponible y el trabajo de oficina. Luego se explica la fase de campo, donde se realiza el levantamiento de información en el área de estudio y se describen indicadores usados para determinar la presencia de humedales. La siguiente sección corresponde a la integración de la información recogida en campo con la información generada en la fase inicial.



C. Termitero en zonas secas de la Ciénaga de Zapatosa, Cesar.
Foto: Francisco Pérez.

A photograph of a wetland environment. In the foreground, there is a shallow pool of water reflecting the sky and surrounding vegetation. The water is dark, with ripples and reflections. On the left side, there are green, leafy plants growing out of the water. In the center and right, there are numerous brown, fallen leaves floating on the water's surface. The overall scene is a natural, somewhat somber landscape.

“El paisaje ejerce
una gran influencia en como
se desarrolla y funciona
el humedal”

(Moss 2006)



D

6.2. FASE INICIAL

En esta etapa se usan los insumos (fotografías aéreas, imágenes, modelos de elevación, cartografía, etc.) obtenidos en la revisión de información secundaria y en el análisis de sensores (capítulos 4 y 5).

6.2.1. RECONOCIMIENTO PRELIMINAR EN OFICINA

En esta etapa se espera recopilar la mayor cantidad de información secundaria relevante del área de estudio y hacer un análisis integrado en busca de elementos que pueden asociarse a la presencia de humedales. Los productos generados son de igual manera útiles en el estudio de los otros criterios. Se recomienda hacer este reconocimiento en el siguiente orden:

- 1 Localización del área de estudio.
- 2 Inspección de fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles (incluso Google™ Earth).
- 3 Fotointerpretación con estereoscopio-identificación visual de cuer-

pos de agua y humedales (ver Dahl y Bergeson 2009, p. 18).

- a. Identificación de la red de drenaje, natural y artificial, cuerpos de agua y áreas saturadas o húmedas.
- b. Identificación de geoformas asociadas a humedal: planos inundables, depresiones (cubetas), canales (activos y abandonados) y relieves que impiden el paso del agua y favorecen la acumulación: diques y presas naturales.
- c. Identificación de la conectividad hídrica.
- d. Identificación de elementos de intervención antrópica: dragados, canales, diques, presas, vías, excavaciones abandonadas, reservorios, etc.

4 Procesamiento del modelo de elevación digital: generar mapa de pendientes y modelo de sombras, así como el índice topográfico de Beven y Kirkby 1979 (Merot *et al.* 2003, Currie *et al.* 2007). Ya que la ocurrencia de humedales está asociada en general a las posiciones más bajas del paisaje, es útil identificar las zonas más planas y los lugares donde se presentan cambios en la pendiente.

5 Procesamiento de imágenes: calcular índices de humedad e indicadores de la presencia de agua en el suelo de acuerdo con Chan y Xu (2013), Davranche *et al.* (2013) y Zhu *et al.* (2011).

6 Integración de los resultados de los pasos 3, 4 y 5 en una base de datos espacial.

7 Impresión de resultados en un mapa integrado que señale las zonas con mayor probabilidad de presencia de humedal.

En la figura 6.1 se resume el procedimiento de reconocimiento geomorfológico descrito anteriormente. Vale la pena aclarar que el escenario ideal es contar con la mayor información disponible. Sin embargo, es posible que no se encuentre en todos los casos.



D. Tierra de Agua, Páramo de Chingaza, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

RUTA DEL ANÁLISIS geomorfológico

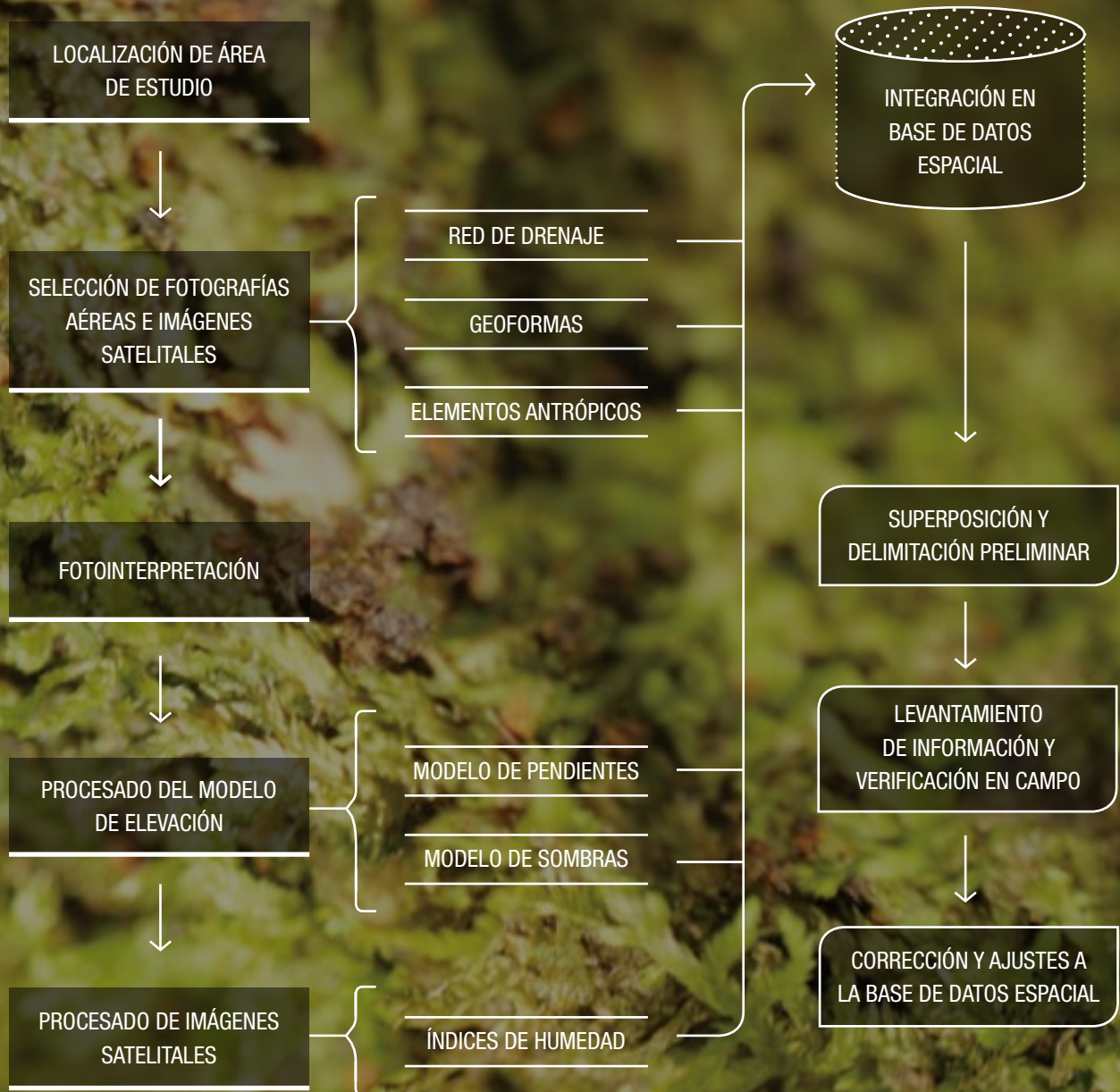


Figura 6.1. Procedimiento para la interpretación de unidades geomorfológicas.



E. Ciénagas de Lórica, Córdoba.

Foto: María Isabel Henao.

F. Babilla, Paz de Ariporo,
Casanare.

Foto: Eduardo Andrés Cadena.

Se debe tener conocimiento de las condiciones climáticas del área bajo estudio para la fecha de adquisición de las imágenes, ya que el clima tiene una influencia directa en la extensión del humedal y la duración del período de niveles altos. Los datos climáticos sirven para ayudar a la interpretación, para determinar la permanencia de los humedales e identificar los ciclos de aguas altas y aguas bajas (Alberta Environment and Sustainable Resource Development - ESDR 2014). En particular, conviene saber si la imagen es de época de tendencia seca (aguas bajas) o de tendencia húmeda (aguas altas). Algunos humedales temporales pueden secarse por completo y no ser identificados en épocas secas. Por el contrario, los que tienen su máxima





expresión en tamaño y vigor de la vegetación durante los períodos húmedos, en eventos extremos la lámina de agua, puede ocupar áreas adyacentes.

En Colombia es importante tener en cuenta la época del año en que se tomó la imagen y saber si durante esta se presentaron fenómenos climáticos como El Niño o La Niña que pudieron incidir en las condiciones observadas. Esto ayudará a saber si los humedales identificados están en su mínima expresión (época seca), con apariencia de condiciones normales (transición entre período seco y húmedo), en su máxima expresión (al final del período húmedo), o durante un evento climático extremo (muy seco o muy húmedo).

6.3. FASE DE CAMPO

6.3.1. Levantamiento de información y verificación de campo

Una vez se tenga el reconocimiento preliminar, el siguiente paso es el trabajo de campo para el registro de indicadores de la presencia de humedales y la validación o corrección de la información producida en la fase anterior. Para esta etapa es recomendable usar herramientas que fa-



PARTE III

Tras las huellas del agua



G. Avifauna de la sabana inundable de la Orinoquia, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.

H. Cuerpos de agua en sabanas inundables, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.

ciliten la localización y el registro de los elementos identificados en el terreno: GPS, cámara digital y el mapa con el reconocimiento preliminar.

El trabajo de campo deberá estar orientado a la verificación de los resultados de la fotointerpretación y de la existencia de geoformas identificadas, así como a la búsqueda y registro de indicadores de campo de la presencia de humedales que se describen a continuación.

6.3.2. Indicadores de campo de la presencia de humedales

Para efectos de la delimitación de humedales, un indicador de campo es un elemento observable y verificable en el terreno que facilita la identificación de los límites de este ecosistema. La posición en el paisaje, junto con el clima y el tipo de sustrato, influencia la formación de humedales y el crecimiento de vegetación adaptada a condiciones de abundancia de agua (Cwikiel 2003).

Existen indicadores de campo de diferentes tipos asociados a la presencia de

humedales. Los indicadores físicos están relacionados con las huellas que deja el agua en el paisaje y en el sustrato o los suelos, y los indicadores bióticos están relacionados con la presencia de organismos adaptados a las condiciones húmedas. Las condiciones de inundación o saturación del suelo puede que no sean permanentes a lo largo del año, o pueden estar ausentes en años muy secos. En dichos casos, algunas características del suelo y la presencia de ciertas comunidades vegetales son los indicadores de campo más confiables de la presencia de humedales (Jackson 1995). Dentro del grupo de indicadores físicos se encuentran los relacionados con la hidrología, la geomorfología y los suelos.

De acuerdo con Semeniuk y Semeniuk (1995), existen cinco formas básicas del terreno en las que se alojan humedales: montes, laderas, planos, canales y depresiones. El caso de los montes puede asimilarse a la culminación superior de la ladera, y en Colombia la presencia de humedales en esta geoforma está asociada casi únicamente a la



presencia de casquetes glaciares de alta montaña. Aunque parezca raro encontrar un humedal en posición de ladera, estos están asociados a zonas de descarga de aguas subterránea en partes montañosas, así como a la saturación de la ladera por acumulación de flujo de agua superficial que da lugar a la formación de nacimientos de quebradas y pequeños canales. Los planos, canales y depresiones son formas del terreno que suelen estar localizados en las porciones más bajas del paisaje, aunque pueden existir condiciones especiales que dan lugar a depresiones y acumulaciones de agua en zonas de media ladera, como los represamientos por movimientos en masa y otras modificaciones del terreno que generan concavidades.

A continuación se listan los indicadores físicos relacionados con la geomorfología del humedal y con la presencia de agua superficial en el paisaje (Cwikiel 2003, Lichvar y McColley 2008) divididos en tres grupos: los elementos relacionados con los materiales del sustrato, elementos relacionados con las geoformas o elemen-

tos del relieve, y los elementos asociados a la presencia de agua.

1 Materiales del sustrato (suelos y depósitos de sedimentos) ampliado en el Capítulo 8

- a. Suelos saturados de agua.
- b. Sedimentos finos expuestos en superficie.
- c. Depósitos aluviales recientes: bancos de arena, barras de grava, barras de lodo.

2 Elementos del relieve

- a. Cubetas de inundación.
- b. Montículos y depresiones en la topografía local.
- c. Cambios de pendiente en distancias cortas.
- d. Canales abandonados.
- e. Diques y bermas angostas (marcan el límite de la zona de acumulación de agua).
- f. Superficies planas.
- g. Depresiones (zonas inundables asociadas a ríos, ciénagas, lagunas).
- h. Depresiones aisladas (encharcamientos).

3 Evidencias de la presencia de agua en el paisaje (ver capítulo 7)

- a. Saturación del suelo en el horizonte más superficial.
- b. Cultivos bajo estrés por saturación del suelo.
- c. Marcas de inundaciones pasadas en árboles y otros elementos fijos.
- d. Escombros vegetales: troncos y ramas de árboles arrastrados en épocas de niveles altos de agua.

Durante el trabajo de campo se debe verificar la presencia de estos indicadores y registrar su localización usando GPS, mapas a escala de detalle o semidetalle (1:10.000 - 1:25.000) o fotografías aéreas que permitan el traslado de esta información a la cartografía e integrarla en la delimitación del humedal.



CHIGÜIRO

Roedor de las sabanas inundables. Paz de Ariporo, Casanare.
Foto: Eduardo Andrés Cadena.



6.4. FASE DE ANÁLISIS

6.4.1 FASE DE AJUSTES Y ANÁLISIS

Con toda la información recogida en campo se debe proceder a hacer el ajuste de las geoformas cartografiadas y de los límites de las zonas húmedas identificadas en la etapa anterior. Este ajuste debe incluir la edición de los elementos registrados y la descripción de los lugares en los que se haya verificado la presencia de humedales y las características físicas de cada uno de ellos.

A continuación se presenta un ejemplo de geoformas identificadas y cartografiadas en las sabanas inundables de Paz de Ariporo-Hato Corozal (Casanare). La tabla 6.1 muestra la clasificación de ambientes geomorfológicos, unidades, subunidades y componentes.

La figura 6.2 presenta un área de detalle donde puede verse la delimitación de geoformas a escala 1:25.000 en el sector suroccidental de la ventana de estudio, resultado del convenio de cooperación No. 13-13-014-093CE-IAVH/008 de 2013 entre el Instituto Humboldt y el IDEAM. La imagen presenta los límites de las unidades en color blanco sobre una imagen aérea a color de Google™ Earth, acceso gratuito al servicio wms. Información complementaria se presenta en el Anexo 6.1.

Las áreas en detalle que se observan tienen características particulares. Así, las geoformas de ciénaga tienen la probabilidad más alta de formar parte de un humedal. Allí este estaría compuesto no solo por la ciénaga permanente (Fo1) que se observa en tonos más oscuros y donde la presencia de la lámina de agua es fácil de identificar en la imagen, sino también por



Tabla 6.1. Geoformas cartografiadas en ventana Paz de Ariporo-Hato Corozal.

AMBIENTE	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE
Fluvial	Cauce actual		
	Vegas de divagación	Vega activa	Dique
			Talud de socavación
		Vega inactiva	Orillares
			Vega antigua
	Llanura de inundación	Cubetas de inundación	Cubeta de inundación actual
			Cubeta de inundación antigua
			Cubeta de inundación disectada
	Ciénaga fluvial	Ciénagas permanentes	
			Ciénagas inundadas
Eólico	Campos de dunas	Campos de dunas inactivas	



Figura 6.2. Ejemplo de geoformas mapeadas en un sector de la ventana Paz de Ariporo-Hato Corozal.

Fo1: ciénaga permanente.

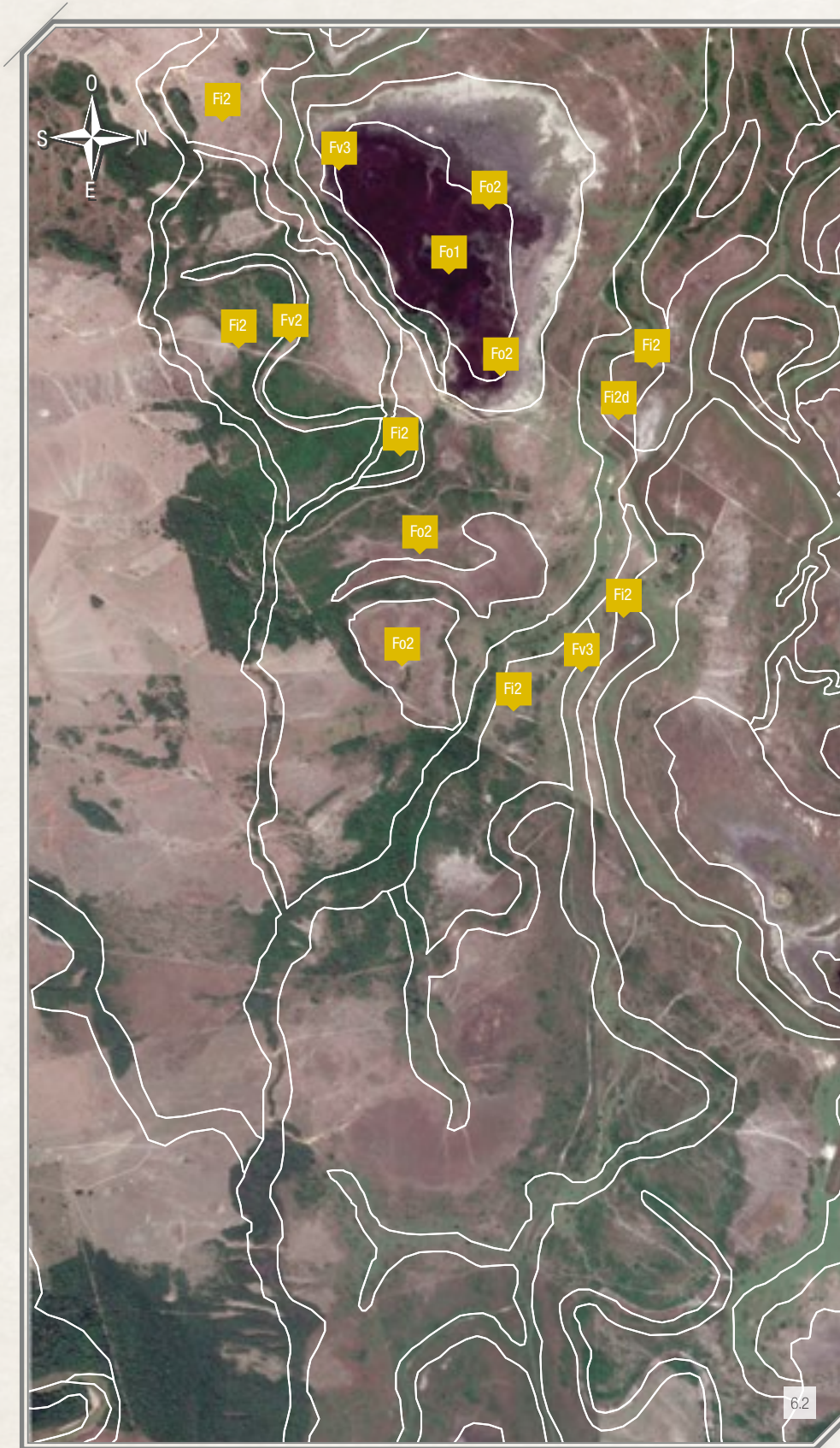
Fo2: ciénaga transicional.

Fi2: cubeta de inundación.

Fi2d: cubeta de inundación disectada.

Fv2: vega inactiva.

Fv3: vega antigua. Límites de geoformas sobre imagen aérea de Google™ Earth en el OpenLayersPlugin de QGIS.



la zona de transición aledaña que está mapeada como ciénaga transicional (Fo2) y que presenta una gradación de tonos desde oscuros en el borde de la ciénaga permanente hasta muy claros en el borde de la transicional, donde se marca una franja de suelos o sustrato sin vegetación. Es indispensable verificar que en esas geoformas también se presentan otras características típicas de los ecosistemas de humedal: suelos y vegetación.

Las geoformas de cubeta de inundación (Fi2, Fi2d) también tienen alta probabilidad de formar parte de un ecosistema de humedal. La formación de este depende básicamente de la frecuen-

cia de las inundaciones y de su permanencia, es decir, del tiempo que deben permanecer inundados esos terrenos para que se alcancen a dar características de suelos y de vegetación de humedal. En la geoforma cubeta de inundación disecada (Fi2d) hay acumulación de agua en sectores puntuales y vegetación arbórea asociada a un canal, lo cual es altamente indicativo de la presencia de un humedal, pero otros sectores parecen estar completamente colmatados o sedimentados y allí probablemente ya no existan condiciones que permitan delimitar toda la unidad como humedal.

Lo mismo puede decirse de las geoformas vega inactiva (Fv2) y vega antigua (Fv3), pues allí se observa poca cobertura vegetal, suelos expuestos en superficie y no hay cuerpos de agua fácilmente identificables. Estas geoformas ya están desconectadas del funcionamiento del sistema fluvial actual y están actualmente colmatadas o sedimentadas casi por completo, pero su topografía de canal hace que funcionen como zonas de acumulación de agua en algunos períodos cortos del año en épocas de aguas altas.

6.4.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Para el análisis de correlaciones se presenta la propuesta de Jaramillo (2014), en la cual se evalúa y califica la susceptibilidad de la inundación de las geoformas cartografiadas. Se basa en el análisis de la evolución geomorfológica, producción de perfiles esquemáticos, bloques diagrama y análisis de los procesos geomorfológicos actuales (morfodinámica) de las geoformas asociadas a la presencia de humedales (Tabla 6.2).

Por último, se debe integrar la información levantada de geomorfología con los otros criterios físicos de suelos e hidrología, así como con la información de la presencia de comunidades vegetales de humedal y otros bioindicadores como se explicó en el capítulo 3. De esta manera, la presencia del humedal se verifica cuando existen las condiciones físicas apropiadas y también biota adaptada a esas condiciones.





Tabla 6.2. Calificación de la susceptibilidad a las inundaciones. Modificado de Jaramillo (2014).

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	CARACTERÍSTICAS
5 – Muy alta	Geoformas permanentemente inundadas
4 – Alta	Geoformas muy bajas, mal drenadas, de superficie cóncava que permanecen encharcadas la mayor parte del año y durante los periodos de aguas altas pueden quedar sumergidas
3 – Moderada	Geoformas bajas, con pobre drenaje, planas a levemente inclinadas, que permanecen encharcadas por largos periodos durante el año y pueden llegar a estar inundadas durante los periodos de crecientes (niveles altos)
2 – Baja	Geoformas altas, con drenaje moderado, superficie levemente inclinada, permanecen encharcadas y durante las inundaciones estacionales pueden ser inundadas por cortos periodos del año
1 – Muy baja	Geoformas altas, con drenaje moderado a bueno, superficie inclinada a levemente inclinada, son afectadas por desbordes que pueden causar inundaciones cortas durante las épocas de aguas altas o crecientes
0 – Nula	Geoformas muy altas, dispuestas por encima del valle fluvial de inundación y fuera del alcance de sus efectos
--- No aplica	Geoformas donde el análisis de susceptibilidad a inundaciones lentas no aplica



- I. Madreviejas, sabanas inundables, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.
- J. Laguna de La Cocha, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.



Alberta Environment and Sustainable Resource Development - ESDR. 2014. Guide for Assessing Permanence of Wetland Basins. Edmonton.

Bravo Chacón, J. y N. J. Windevoxhel Lora. 1997. Manual para la identificación y clasificación de humedales en Costa Rica. (Córdoba Muñoz, R. y J. C. Romero Araya, eds.) 1ª edición. UICN/ORMA, MINAE, embajada Real de los Países Bajos. San José.

Carvajal, J. H. 2011. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Informe técnico, Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. Bogotá D. C., Colombia. 71 p.

Chan, K. K. Y. y B. Xu. 2013. Perspective on remote sensing change detection of Poyang Lake wetland. *Annals of GIS* 19(4): 231-243. Doi: 10.1080/19475683.2013.843589.

Curie, F., S. Gaillard, A. Ducharne y H. Bendjoudi. 2007. Geomorphological methods to characterise wetlands at the scale of the Seine watershed. *Science of the Total Environment* 375(1-3): 59-68. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.013.

Cwikel, W. 2003. Michigan Wetlands - Yours to Protect. A Citizen's Guide to Wetland Protection. 3ª edición. Tip to the Mitt Watershed Council. Petoskey, MI.

Dahl, T. E. y M. T. Bergeson. 2009. Technical procedures for conducting status and trends of the Nation's wetlands. Washington, D. C. Disponible en: <http://www.fws.gov/wetlands/Documents/Technical-Procedures-for-Conducting-Status-and-Trends-of-the-Nations-Wetlands.pdf>

Davranche, A., B. Poulin y G. Lefebvre. 2013. Mapping flooding regimes in Camargue wetlands using seasonal multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 138: 165-171. Doi: 10.1016/j.rse.2013.07.015.

Essential Environmental Services. 2005. Guideline for the Determination of Wetland Buffer Requirements. (Department of Planning and Infrastructure, ed. 1ª edición. Western Australian Planning Commission. Perth.

Gómez Velásquez, J. F., J. H. Carvajal Perico y J. Otero García. 2013. Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano. Bogotá D. C., Colombia.

Jackson, C. R., J. A. Thompson y R. K. Kolka. 2014. Wetland soils, hydrology, and geomorphology. En: Batzer, D. P. y R. R. Sharitz (eds.). *Ecology of freshwater and estuarine wetlands*. 2ª edición. pp. 23-60. University of California Press. Berkeley, CA.

Jackson, S. 1995. Delineating bordering vegetated wetlands under the Massachusetts Wetlands Protection Act. A Handbook. (Peterson, K. W., R. W. Gollledge y R. Tomczyk, eds.). Environmental pro-

tection. Massachusetts Department of Environmental Protection, Division of Wetlands and Waterways. Boston, MA.

Jaramillo Rodríguez, O. 2014. Propuesta de calificación de susceptibilidad de las geoformas a inundaciones lentas. Informe técnico. Convenio de cooperación No 13-13-014-093CE-IAVH/008 de 2013 entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Octubre de 2014, Anexo 4. Bogotá D. C., Colombia. 13 p.

Kolka, R. K. y J. A. Thompson. 2006. Wetland geomorphology, soils, and formative processes. En: Batzer, D. P. y R. R. Sharitz (eds.). Ecology of freshwater and estuarine wetlands. 1ª edición. pp. 7-42). University of California Press. Berkeley, CA.

Lichvar, R. W., K. E. Curtis, J. J. Gillrich y L. E. Dixon. 2012. Testing wetland delineation indicators in New England Boulder Fields. ERDC/CRREL TR-12-4. Hanover, NH.

Lichvar, R. W. y S. M. McColley. 2008. A field guide to the identification of the Ordinary High Water Mark (OHWM) in the arid region of the western United States. A delineation manual. ERDC/CRREL TR-08-12. Hanover, NH.

Merot, P., H. Squidant, P. Arousseau, M. Hefting, T. Burt, V. Maitre y V. Viaud. 2003. Testing a climato-topographic index for predicting wetlands distribution along an European climate gradient. Ecological Modelling 163(1-2): 51-71. Doi: 10.1016/S0304-3800(02)00387-3.

Moss, R. 2006. Guía de identificación y manejo para humedales en propiedades privadas en Costa Rica. 1ª edición. SETENA. San José.

Robertson, K. G., O. Jaramillo y M. A. Castiblanco. 2013. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomor-

fológicos a escala 1:100.000. Bogotá D. C., Colombia.

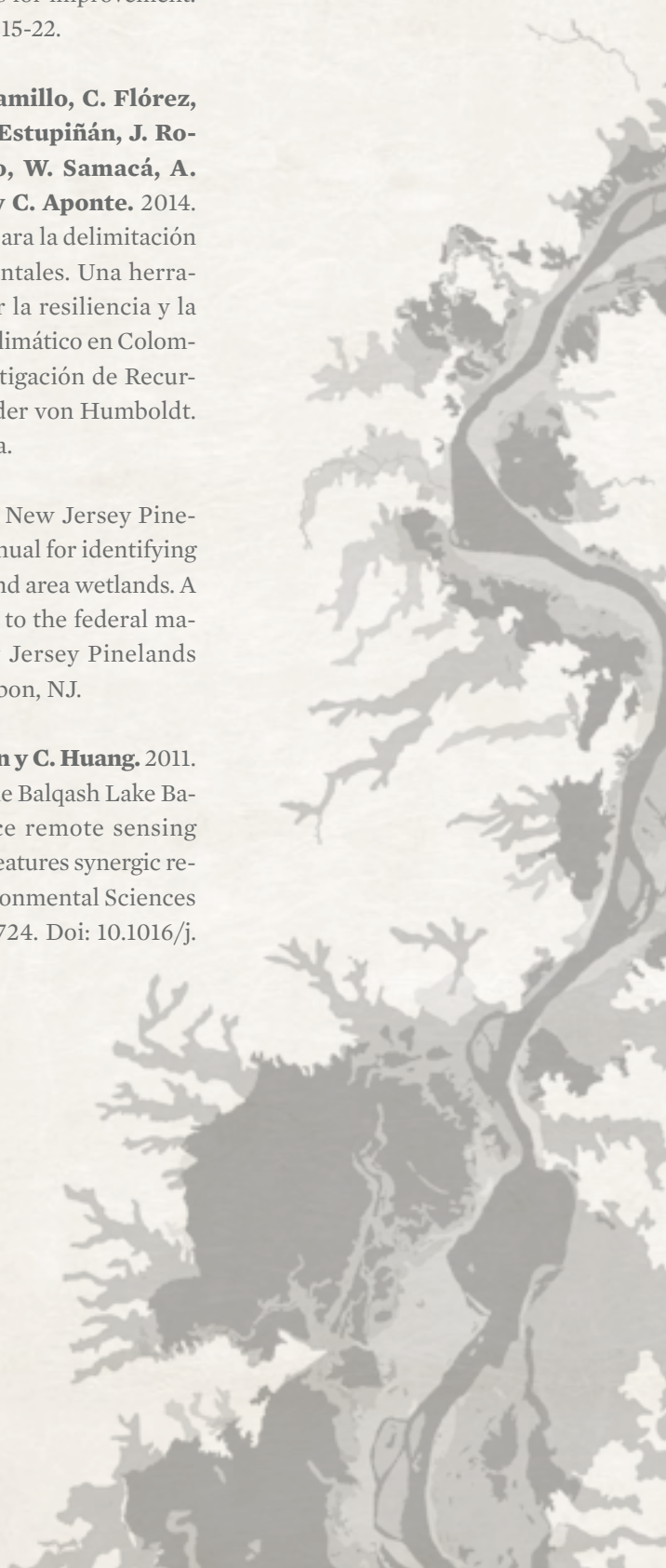
Semeniuk, C. A. y V. Semeniuk. 1995. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. Vegetatio 118: 103-124.

Tiner, R. W. 2000. An overview of wetland identification and delineation techniques, with recommendations for improvement. Wetland Journal 12(1): 15-22.

Vilardy, S. P., Ú. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, O. Acevedo, W. Samacá, A. C. Santos, S. Peláez y C. Aponte. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales. Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia.

Zampella, R. A. 1991. New Jersey Pinelands Commission Manual for identifying and delineating pineland area wetlands. A pinelands supplement to the federal manual. 1ª edición. New Jersey Pinelands Commission. New Lisbon, NJ.

Zhu, C., J. Luo, Z. Shen y C. Huang. 2011. Wetland mapping in the Balqash Lake Basin using multi-source remote sensing data and topographic features synergic retrieval. Procedia Environmental Sciences 10(Esiat 2011): 2718-2724. Doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.422.





ANEXOS

ANEXO 6.1

EJEMPLOS DE LEVANTAMIENTOS GEOMORFOLÓGICOS REALIZADOS EN HUMEDAL

Los estudios presentados a continuación se desarrollaron en el convenio entre el Instituto Humboldt y el IDEAM No. 13-13-014-093CE-IAVH/008 de 2013 en el marco del Proyecto Fondo Adaptación, y buscan ser orientadores en el proceso de generación de insumos geomorfológicos para la identificación del límite funcional del humedal a manera de ejemplo. Los levantamientos son información primaria a escala de semidetalle (1:25.000) con validación de campo. Los lugares escogidos para este trabajo fueron la ciénaga de Zapatosa en el valle del Magdalena y los humedales de Paz de Ariporo-Hato Corozal en los Llanos Orientales (Figura 6.3), humedales muy diferentes y representativos de grandes áreas del país.

El procedimiento para el mapeo y análisis de geoformas y elementos del paisaje se describe brevemente a continuación, de acuerdo con la metodología propuesta por Robertson *et al.* (2013).

- 1 Selección de información básica: adquisición y control de calidad de fotografías aéreas y otros insumos como mapas topográficos, de suelos, de geología, modelo de elevación digital e imágenes satelitales de muy alta resolución espacial (Worldview, GeoEye, SPOT) y de media resolución (Landsat).
- 2 Base de datos, fotointerpretación y procesamiento digital: procesamiento digital de fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelos de elevación digital, y estructuración de una base de datos espacial para el mapeo de geoformas.
- 3 Fotointerpretación básica tradicional: fotoidentificación y análisis inductivo-deductivo con estereoscopio de espejos, clasificación preliminar de geoformas e incorporación en la base de datos espacial: digitalización y asignación de atributos.
- 4 Trabajo de campo: desplazamiento a cada ventana piloto para observación directa y documentación con fotografías a nivel del suelo. Verificación de materiales de depósitos superficiales, suelos y procesos de erosión/depositos activos. Validaciones y correlaciones de los controles.
- 5 Adecuación y ajustes: se tiene en cuenta la información capturada en campo y toda la información secundaria disponible para una reinterpretación detallada de geoformas y clasificación definitiva. Comprende la integración de la información consignada en la reinterpretación de fotografías aéreas y la edición de los elementos digitalizados de forma preliminar en el punto 3, correcciones y asignación de atributos.
- 6 Análisis y correlaciones: evaluación y calificación de la susceptibilidad a inundación de las geoformas asociadas a la presencia de humedales,

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO en ventanas piloto



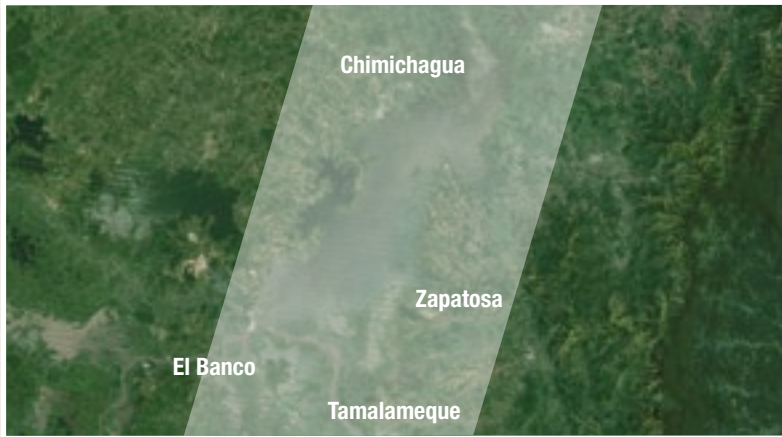
Figura 6.3.

A Localización de ventanas piloto sobre el mapa base del Modelo de Elevación Digital.

B Ventana ciénaga de Zapatosa.

C Ventana Paz de Ariporo-Hato Corozal. Ambas sobre imagen de WMS Google Satellite.

B



C



A



análisis de la evolución geomorfológica y producción de perfiles esquemáticos y bloques diagrama y análisis de los procesos geomorfológicos actuales (morfodinámica). La guía para la calificación de susceptibilidad a la inundación de acuerdo con Jaramillo (2014), se presentó en la tabla 6.2.

7 Elaboración de informe y mapas finales: producción de mapas de unidades geomorfológicas y de susceptibilidad a la inundación de las geoformas a partir de la información consignada en la base de datos espacial.

Con base en la clasificación de ambientes geomorfológicos, unidades, subunidades y componentes, la tabla 6.3 presenta los resultados de la ciénaga de Zapatosa donde se agruparon subunidades y componentes en una misma columna. Los resultados de Paz de Ariporo-Hato Corozal se encuentran en la tabla 6.1.

Cabe anotar que, aunque los ambientes de estas dos ventanas son diferentes, la aproximación técnica usada para el mapeo de geoformas es la misma en ambos casos y es una metodología universal que funciona en todos los ambientes existentes. En el caso de Zapatosa se encontraron tres ambientes diferentes: estructural, denudacional y fluvial, mientras que en el caso de Paz de Ariporo-Hato Corozal se encontraron solo dos: fluvial y eólico.

En ambos casos la presencia de humedales está ligada al ambiente fluvial y a geoformas básicas de tipo canal (cauces), plano (con cubetas de inundación) y depresión (ciénagas). Aunque no fue el caso, también es posible encontrar algunos humedales en el ambiente denudacional y en la unidad superficie de aplanamiento, si existiera alguna depresión que pueda anegarse en época de lluvias. Lo mismo aplica para el ambiente eólico, en el que sí es común encontrar humedales en las partes bajas de los campos de dunas inactivas, aunque no se hayan cartografiado en este estudio en particular.



Tabla 6.3. Geoformas cartografiadas en ventana ciénaga de Zapatosa.

AMBIENTE	UNIDAD	SUBUNIDAD O COMPONENTE
Estructural	Monte isla	
Denudacional	Superficie de aplanamiento	Superficie de aplanamiento reciente
	Laderas coluvio-erosionales	Laderas coluvio erosionales estables
Fluvial	Cauce de ríos	Cauce de ríos principales
		Cauce de canales secundarios
	Vega de divagación	Vega de divagación activa con orillares
		Vega de divagación inactiva
	Llanura de inundación	Diques aluviales
		Cubeta de inundación
Delta fluvial interior		
Valles inundables		
Terraza aluvial	Plano de terraza aluvial subcreciente	
	Talud de terraza aluvial subcreciente (Ídem)	
Ciénaga fluvial	Ciénaga fluvial permanente	
	Ciénaga fluvial transicional (inundada)	



→ Laguna Siecha, páramo de Chingaza, Cundinamarca.
Foto: Luis Fernando López



CAPÍTULO 7.

Delimitación del humedal desde una perspectiva hidrológica

Diego F. Restrepo Zambrano

El agua en la Tierra está distribuida en diferentes lugares y con variadas formas: en los océanos, bajo tierra, sobre la superficie y en la atmósfera. Únicamente el 2,5% del agua en nuestro planeta es dulce y está en su mayoría congelada en casquetes glaciares, presente como agua subterránea y como humedad en el suelo, solo el 0,4% del total del agua existente se encuentra en la superficie y en la atmósfera (Chow 1993).

La presión de uso sobre el recurso hídrico está aumentando de manera alarmante, como resultado, principalmente, de actividades humanas tales como la expansión de las ciudades, el crecimiento demográfico, la creciente competencia por el agua y la contaminación. Las consecuencias de esta última se ven agravadas por el cambio climático y las continuas variaciones de las condiciones naturales.

Por otro lado, se vienen realizando esfuerzos a nivel internacional y local que buscan avanzar en la protección del recurso. Las autoridades ambientales evalúan la cantidad y la calidad del agua disponible, coordinando esfuerzos de gestión a escala nacional e internacional. Uno de estos esfuerzos es la magnificación y comprensión de la dinámica hidrológica de los humedales, una de sus funciones ecosistémicas más reconocidas, y las relaciones

que se establecen con los habitantes que dependen de este.

Los humedales son irremplazables por la gran cantidad de procesos que ocurren en ellos, los cuales van desde la regulación de flujos hídricos directamente ligados



A. Huellas de inundación, Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.

B. Huella de inundación en los árboles, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



con el control de inundaciones en épocas de lluvias, la recarga y descarga de acuíferos y la retención y filtración de nutrientes en las cuencas, hasta la acción como biodigestores de los excesos de materia orgánica; siendo parte esencial de la estabilidad e integridad de los ecosistemas asociados. Constituyen, además, espacios únicos para la investigación científica y la educación ambiental.

7.1. MARCO DE REFERENCIA

El agua es la vida de los humedales. El ciclo hidrológico, el comportamiento de las lluvias, la cobertura de vegetación y la geología definen la escorrentía y la infiltración del agua. Estos aspectos determinan la cantidad de agua que llegará y saldrá del humedal, generando condiciones especiales para el hospedaje de la vida. El constante cambio en el almacenamiento de agua se define como el pulso de inundación, que es de vital importancia para todos los humedales,

pues sus atributos determinan los tipos de ecosistemas que se pueden llegar a desarrollar. Debido a que los humedales cuentan con características especiales que definen los ecosistemas, Junk *et al.* (2013) propusieron algunos atributos con los que se clasificaron los humedales en Brasil. Fue así como la longitud, la amplitud, la frecuencia, la temporalidad y la predictibilidad se utilizaron para clasificar los humedales en diferentes proyectos en Latinoamérica.

La condición natural de los humedales es encontrarse en ambientes de baja energía. Esto sucede en aguas con flujos de velocidad lenta como resultado de pendientes suaves. Debido a la topografía plana de los humedales, el área de su espejo de agua se expande y contrae a medida que cambia la cota de su superficie. De esta manera, estos ecosistemas sirven como moderadores de variabilidad hidrológica, lo que permite amortiguar volúmenes de inundación y reduce velocidades de flujo durante períodos hú-





PERSPECTIVA HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL

El estudio desde la hidrología contempla los siguientes aspectos:

- + El concepto de “pulso de inundación”, así como el atributo de amplitud y su aplicación para la delimitación del cuerpo de agua del humedal.
- + La aplicabilidad de los sensores remotos en el proceso de delimitación a través de la identificación de humedad.
- + Metodología de campo para el estudio hidrológico y la identificación de huellas de agua.

medos. Estas condiciones constituyen la principal ventaja de los humedales y la razón por la que son hábitats naturales de abundante biodiversidad, ya que las bajas pendientes y las bajas profundidades de agua son condiciones óptimas para el depósito y asentamiento de nutrientes y sedimentos.

Los ríos también son considerados humedales, pero su naturaleza es algo diferente. Los ecosistemas presentes en los ríos se desarrollan en flujos rápidos de agua y en la vegetación riparia. La hidrología de estos depende de un régimen hidrológico fluvial o torrencial; por lo tanto, deben ser analizados a nivel de cuenca de aporte hídrico y no solamente desde lo local.

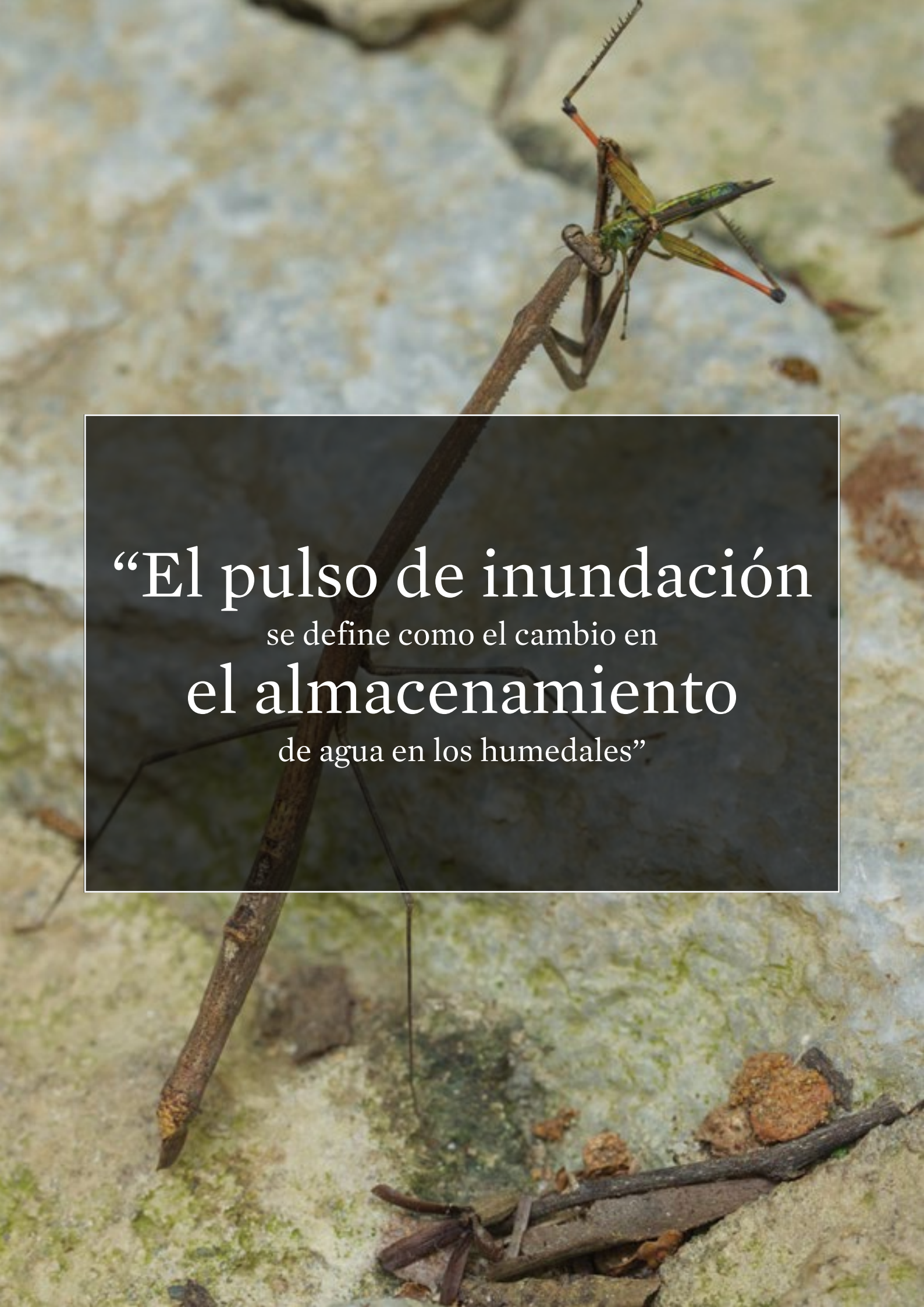
Debido a que el cambio en el comportamiento de estos ecosistemas es constante, resulta complejo realizar un estudio global de sus dinámicas natura-

les. Sin embargo, dada la importancia de todos y cada uno de estos ecosistemas, es necesario implementar y llevar a cabo monitoreos físicos del comportamiento de los cuerpos de agua. Esto con el objetivo de disponer de las mediciones que permitan tener un seguimiento de su cambio con respecto al tiempo y a las variables que los rigen.

Para el cumplimiento de este propósito, se dispone de herramientas como la teledetección, es decir, imágenes capturadas por sensores remotos como imágenes ópticas o de radar (Capítulo 5). Dependiendo del instrumento usado, se pueden aportar la cobertura y la calidad espaciotemporal necesaria para llevar a cabo, con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), un correcto análisis de cada zona. En efecto, la observación con sensores remotos se ha convertido en una herramienta clave para el análisis de estos sistemas de inundación, su evolución geomorfológica y su mapeo (Giraldo y García 2012).

El presente capítulo contiene la propuesta metodológica para la delimitación de humedales desde el componente hidrológico. En primera instancia, se define el concepto de “pulso de inundación”, así como el atributo de amplitud y su aplicación para la delimitación del cuerpo de agua del humedal. Luego, se señala la utilidad de los sensores remotos en la delimitación y se describe, paso a paso, el procedimiento necesario para obtener el límite del humedal a partir de imágenes de satélite y su información hidrológica. Finalmente, se proponen los indicadores hidrológicos que deben ser estudiados en campo, con el objetivo de conocer los límites del humedal durante las últimas inundaciones y su relación con eventos extremos.

El componente hidrológico hace parte importante de la metodología de delimitación de los humedales y, al complementarse con los otros (geomorfológico, suelos y vegetación), contribuye fuertemente a realizar una delimitación más precisa y multidisciplinaria para tomar la decisión más adecuada.

A green praying mantis is perched on a brown, textured stick. The mantis has long, spiny legs and a raptorial front pair. The background is a soft-focus natural setting with light-colored rocks and some green moss. A dark rectangular box with a white border is overlaid on the image, containing white text.

“El pulso de inundación
se define como el cambio en
el almacenamiento
de agua en los humedales”

7.2. FASE INICIAL

El trabajo que corresponde a la fase inicial involucra la exploración de información hidrológica, topográfica y de imágenes satelitales (capítulos 4 y 5). Esta indagación permite verificar la existencia de información antes de ir a campo y resulta fundamental para lograr determinar el límite hidrológico del humedal, el cual corresponde al límite físico que guarda evidencias de inundación durante un período permanente o temporal de acuerdo con las condiciones hidrológicas a las que esté sujeto el ecosistema.

En este sentido, el pulso de inundación describe las características físicas y temporales de la fluctuación y el comportamiento del agua en el humedal. La longitud, la amplitud, la frecuencia, la temporalidad y la predictibilidad del pulso de inundación determinan la ocurrencia, los ciclos de vida y la abundancia de productores primarios, secundarios, descomponedores y demás organismos que afectan la explotación y regeneración de los nutrientes, así como su abastecimiento (Junk 1984). Específicamente, a partir de la amplitud se pueden determinar las alturas máximas, medias y mínimas del nivel del agua, que al ser cruzadas con el





levantamiento topográfico y batimétrico brindan información para encontrar el área del espejo de agua relacionada con una altura específica, para humedales con cubetas definidas.

Cuando la información topográfica no existe y se plantea realizar el análisis a partir de la información hidrológica es necesario realizar el levantamiento altimétrico, batimétrico y topográfico de las áreas correspondientes al humedal (sección 7.3.2); pero antes de hacerlo es importante evaluar la necesidad, facilidad y pertinencia del trabajo. Por ejemplo, estos estudios no son recomendables en planicies inundables donde no hay una cubeta definida o en humedales donde la vegetación es tan espesa que no permite la navegabilidad necesaria para realizar la

batimetría; por lo tanto, el estudio puede quedar inconcluso. Adicional a la batimetría se deben realizar levantamientos topográficos entre la cubeta y tierra firme, donde se ubica el límite del humedal. En esta zona ocurren temporalmente inundaciones e incluso se pueden encontrar pequeños cuerpos de agua conectados con el principal que hacen parte del humedal.

Para los casos donde es factible realizar estos estudios (algunas lagunas y ciénagas) la topografía y batimetría, más el análisis hidrológico de la amplitud del pulso de inundación, son un indicador del límite hidrológico, pues la batimetría proporciona una clara idea de las características y profundidades del humedal, entendiendo la interacción, el volumen, el área y el nivel del cuerpo de agua.



C. Cauce de Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.

D. Huella del nivel del agua en rocas, Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.

E. Vegetación arrastrada por el agua, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.



F. Sabana inundable en época de lluvia, Casanare.
Foto: Harold Moya

Es importante mencionar que ciertos humedales, de acuerdo con sus especificidades, pueden requerir estudios complementarios. Por ejemplo, los costeros dependen de un régimen hidrológico mareal y por lo tanto es importante incluir un análisis de hidrología costera. Asimismo, humedales que tienen conexiones con acuíferos requieren de estudios de aguas subterráneas para conocer de manera integral sus dinámicas hidrológicas.

Cuando los estudios topográficos y el análisis de amplitud no son pertinentes o viables se propone el análisis multitemporal usando sensores remotos. En estos casos se pueden usar recursos libres como las imágenes disponibles en internet por agencias espaciales de algunos países como Estados Unidos o Europa. Igualmente, se puede hacer un reconocimiento en campo con indicadores que guardan la evidencia de la inundación.

7.2.1 LA AMPLITUD DEL PULSO DE INUNDACIÓN COMO INDICADOR DEL LÍMITE DEL HUMEDAL

7.2.1.1 Amplitud

La amplitud del pulso de inundación es un atributo básico para clasificar y delimitar los humedales debido a su relación con el espacio y la biota. Este atributo cumple un papel clave para la caracterización de los humedales, ya que la vegetación que crece en las orillas y dentro del humedal depende totalmente del comportamiento del pulso de inundación y representa, con los demás atributos, la fuerza conductora del sistema río-planicie de inundación. Es así como la amplitud puede servir como un indicador de los tipos de vegetación que se presenta en las zonas inundables.

Existen diferentes aproximaciones a la definición del pulso de inundación y sus atributos. Para Neiff *et al.* (1994) el atributo de amplitud se define como el período de tiempo entre la inundación, las aguas bajas y el siguiente período de aguas altas (Figura 7.1), mientras que para Junk (1984) este corresponde a la altura de la fluctuación de la lámina de agua en un humedal a lo largo del tiempo (Figura 7.2).

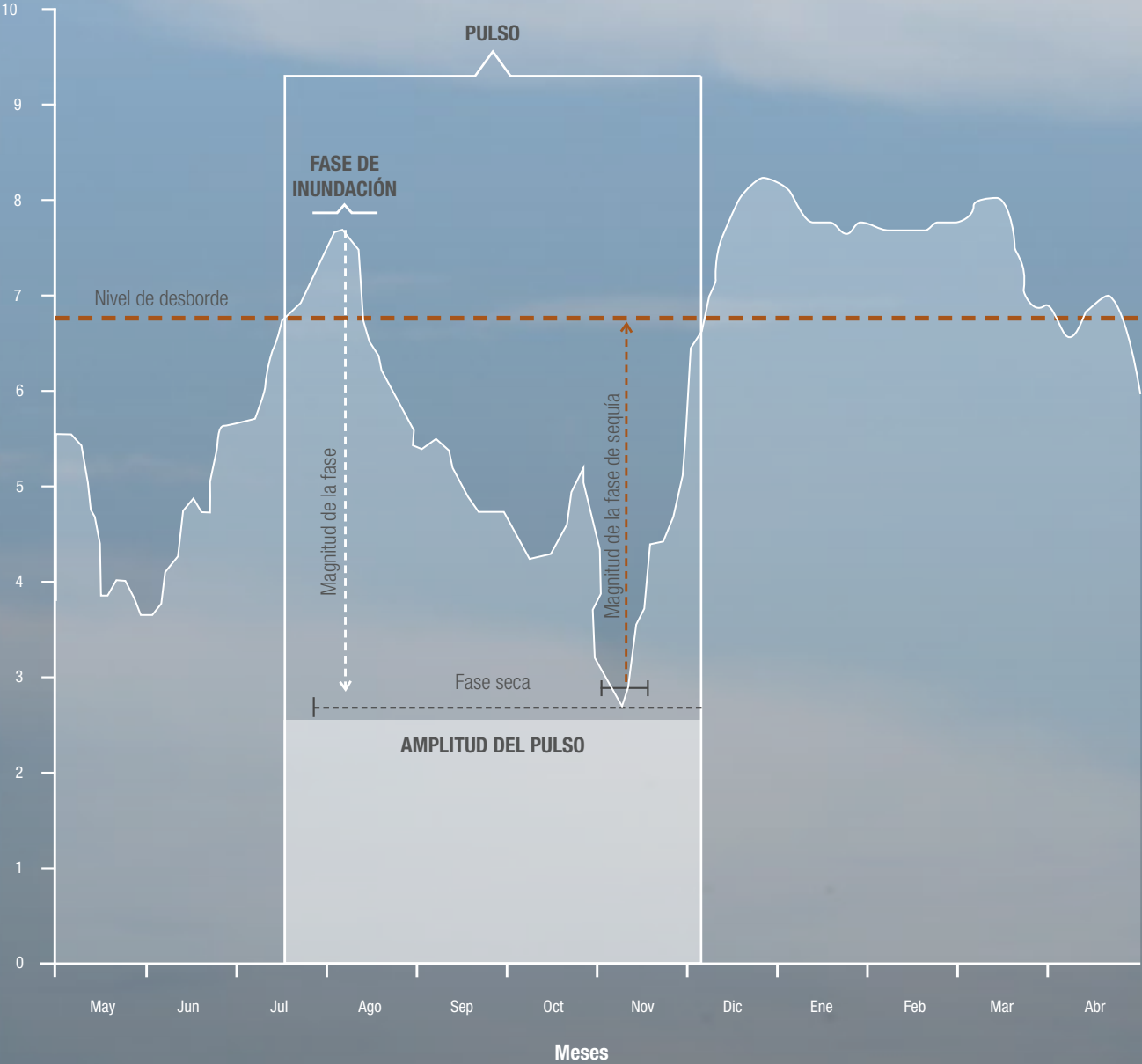
Debido a que resulta más fácil el análisis de la amplitud a partir del nivel del agua, se utiliza el concepto propuesto por Junk (1984) para orientar el ejercicio de la delimitación de los humedales desde la perspectiva hidrológica. Es importante mencionar que existen diferentes metodologías para definir este límite. Todas ellas requieren diferente cantidad y complejidad de información, y así mismo la confiabilidad de sus resultados es distinta. Se escogió esta metodología debido a la ventaja que otorga trabajar datos de campo, los cuales permiten un análisis más complejo del humedal. No obstante, se requiere de información generada mediante levantamientos topográficos previos o generarlos en la fase de campo en los humedales donde sea pertinente.



PULSO DE INUNDACIÓN cambios en el tiempo



Figura 7.1. Diagrama basado en la representación gráfica de la secuencia de pulsos. Modificado de Neiff *et al.* (1994).



La figura 7.2 muestra el comportamiento típico del pulso de inundación y más específicamente los cambios en la amplitud con respecto al tiempo en un humedal típico.

Siguiendo la metodología utilizada por Junk *et al.* (2013), se definió la amplitud como la diferencia entre la altura mínima mensual de la estación linnimétrica o linnigráfica con la media de las máximas mensuales. Esto quiere decir que la amplitud total del pulso corresponde a su fluctuación entre el mínimo de los promedios mensuales y la media de los niveles máximos mensuales (Figura 7.3).

La máxima de las máximas mensuales no se toma para definir la amplitud debido a que este dato corresponde a un evento extremo. La vegetación circundante del humedal que no hace parte propiamente de su ecosistema raramente se ve inundada por eventos extremos.

7.2.1.2. Identificación del límite del humedal desde el criterio de amplitud

La amplitud como atributo del pulso de inundación puede ser utilizada para determinar los límites del humedal, teniendo en cuenta la topografía del mismo y los datos históricos registrados por estaciones presentes en el cuerpo de agua. El análisis de datos históricos puede dar una idea del comportamiento promedio del humedal en el tiempo y describir desde una primera perspectiva hidrológica la delimitación del humedal.

Para llevar a cabo la delimitación del humedal con base en el atributo de amplitud se deben seguir los pasos descritos a continuación:

1 Contar con un registro de niveles, producto de una o varias estaciones linnimétricas o linnigráficas ubicadas en el humedal, según el caso, o muy cerca del mismo, pero que tengan alguna conexión hídrica con el cuerpo de agua. Este registro se puede solicitar directamente a la entidad propietaria de la estación, puede ser el IDEAM, la empresa de acueducto del municipio,

la corporación autónoma regional correspondiente, entre otras.

2 Hacer un análisis de los niveles máximos mensuales con la información de los linnímetros y/o linnigráficos. Para esto, se debe calcular el promedio mensual de todos los registros y organizarlos por máximos, medios y mínimos mensuales. Para tener un análisis confiable desde un punto de vista estadístico es recomendable contar con un registro de niveles de al menos 20 años. Se debe tener en cuenta que la densidad de los datos es muy importante, así como su dispersión, pues se puede contar con menos años de datos, siempre y cuando estos estén completos y sean homogéneos. Al utilizar una serie menor de datos, los picos de eventos extremos son menos confiables cuando los números de años de las series disminuyen.

3 A partir de los resultados obtenidos con los promedios mensuales de las mediciones históricas, se grafica el comportamiento de los máximos, medios y mínimos mensuales. La amplitud está definida como la diferencia en altura entre el mínimo mensual de los promedios mínimos mensuales y la media de los niveles máximos mensuales. Esta diferencia de alturas representa la amplitud del pulso de inundación y es utilizada para definir el borde del humedal desde el punto de vista hidrológico.

Por ejemplo, los niveles medios mensuales de la estación 36017010 de Paz de Ariporo (Casanare) para los años 1994-2012 muestran la amplitud señalada en la figura 74.

4 Con la información topográfica levantada en campo, curvas de nivel y batimetrías, se debe reconstruir la topografía de toda el área del humedal y sus áreas circundantes. Cabe aclarar que para el desarrollo de



TIJERETE, TOTORA, MISIRACA, PÁNGALA, COLEPATO

La inflorescencia de esta planta evoca escencias como el limón y la vainilla. Es usada como ornamento a modo de pulsera, y es de uso medicinal para la mordedura de serpientes y las cataratas.

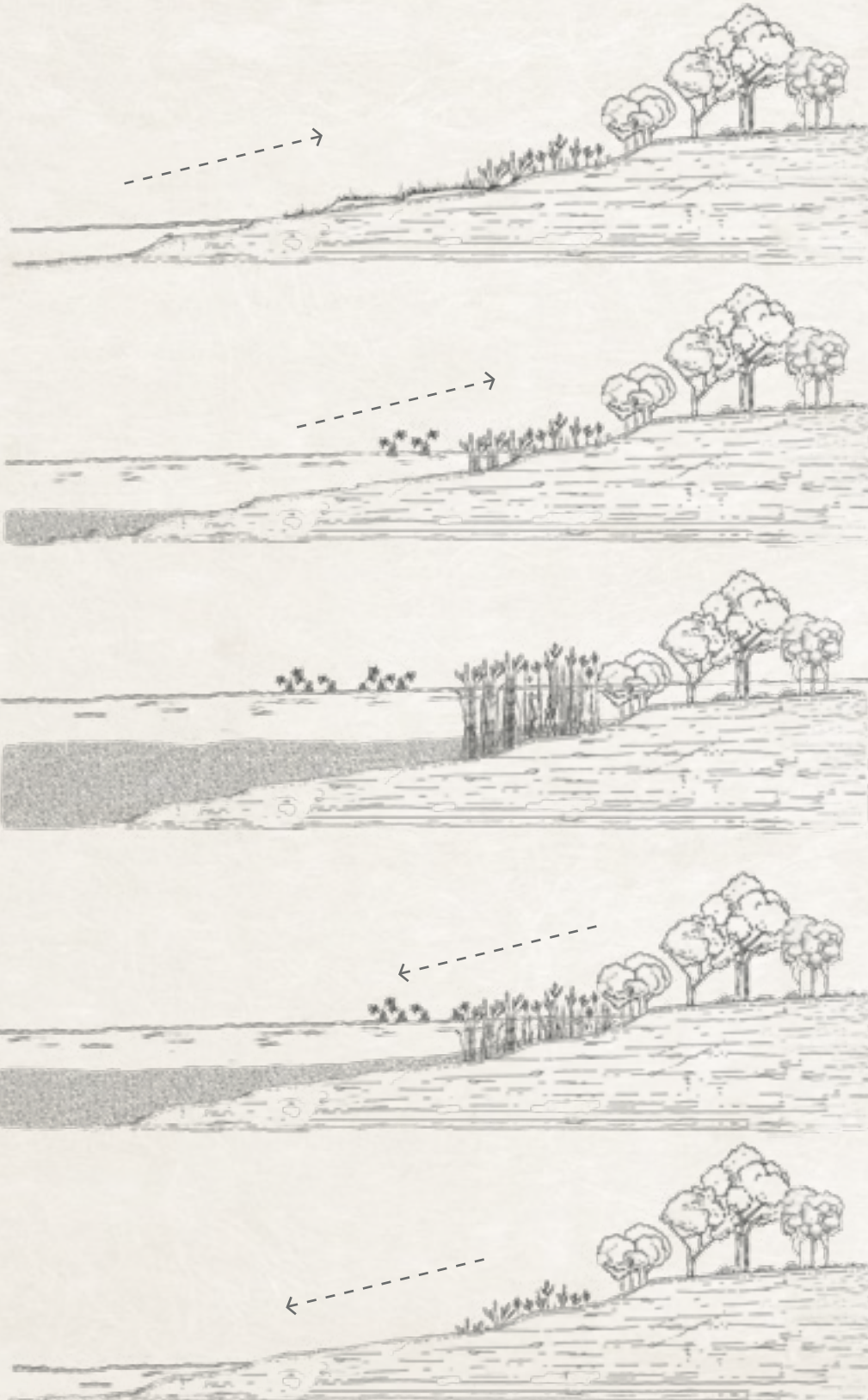
Foto: Luis Fernando López.

PULSO DE INUNDACIÓN

Cambios de nivel



Figura 7.2. El pulso de inundación según los cambios de nivel. Las flechas indican la dirección del flujo de agua. Modificado de Junk (1984).
©Canadian Science Publishing or its licensors.



PULSO DE INUNDACIÓN

amplitud y variación anual



NIVELES MEDIOS MENSUALES
Estación Mapiripán: 32097010
(1983-2012)

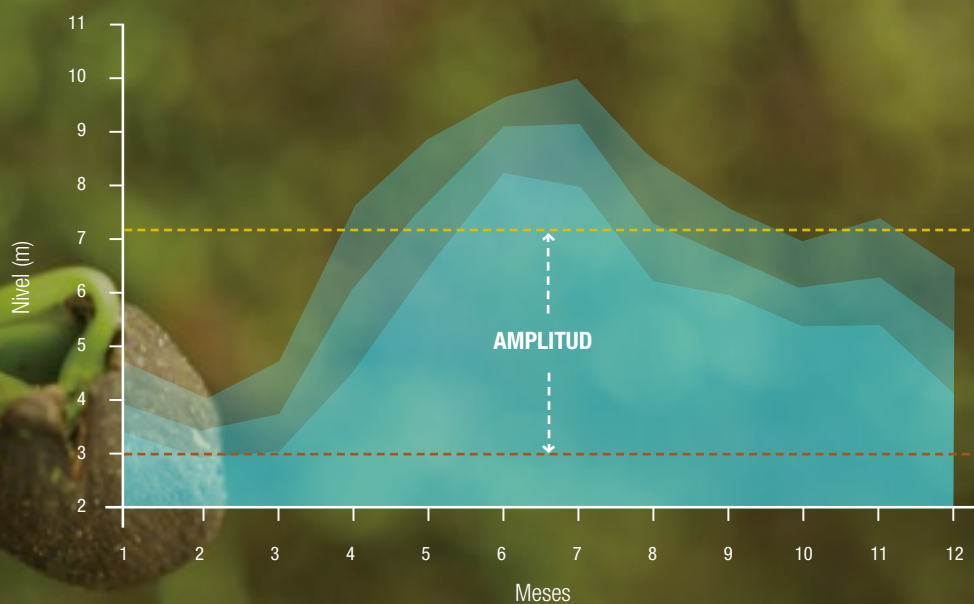


Figura 7.3. Amplitud del pulso de inundación en Mapiripán

NIVELES MEDIOS MENSUALES
Estación Paz de Ariporo: 36017010
(1994-2012)

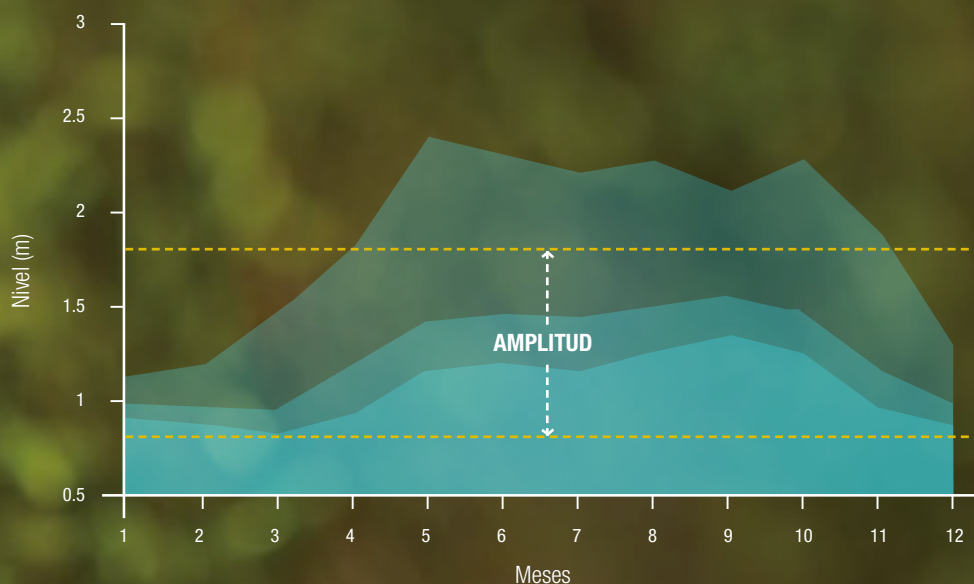


Figura 7.4. Amplitud del pulso de inundación en Paz de Ariporo

este análisis es de vital importancia contar con los trabajos de topografía mencionados. Si se tienen solo levantamientos previos es necesario evaluar si la zona entre el límite del humedal y la tierra firme fue incluida. Si no se cuenta con la información se debe evaluar la viabilidad de hacer los estudios topográficos como se explicó previamente. La sección 7.3.2 brinda lineamientos para el trabajo de campo.

5 Luego se realiza un mapa topográfico de la totalidad del humedal en 2D o 3D (habiendo hecho el esfuerzo de las batimetrías y/o topografías es recomendable hacer la superficie en 3D en lo posible). A continuación se muestra un ejemplo de mapa topográfico y modelos digitales de terreno del humedal El Zancudo, cuerpo de agua que hace parte del complejo de humedales de Paz de Ariporo (figuras 7.5 y 7.6).

Es muy importante definir en qué cota se encuentra el cero del limnógrafo o limnómetro, pues este nivel deberá ser definido en el Modelo de Elevación Digital (DEM) o plano topográfico correspondiente.

6 Una vez definido el nivel base del limnómetro, se debe dibujar esta amplitud en el plano, ya sea un plano topográfico o por medio de software para la visualización 3D de la lámina de agua sobre el terreno. La cota a la cual se le dibuja la lámina de agua es:

Σ Ecuación 7.1.

$$CP = C_{\text{cero}} + N_{\text{min}} + \text{Amplitud}$$

Donde **CP** = cota del pulso de Inundación

C_{cero} = cota donde se encuentra el cero de la mira

N_{min} = nivel mínimo de los promedios mínimos mensuales

Amplitud = valor de la amplitud del pulso de inundación



G

7 Una vez encontrada la cota del pulso de inundación se traza una línea o sobrepone un plano sobre el mapa o modelo digital del terreno. De esta forma se identifica el borde del humedal para la condición de la media de los niveles máximos (Figura 7.7).

Es importante aclarar que esta metodología de delimitación hidrológica es válida únicamente para cuerpos de agua permanentes como lagos, lagunas y ciénagas que tengan una cubeta definida. El comportamiento hidráulico de cuerpos de agua permanentes corrientes, como es el caso de ríos, caños, quebradas, entre otros, no permite basar el nivel de la lámina de agua en su topografía sobreponiéndola a diferentes niveles, ya que el agua en movimiento cuenta con líneas de energía que varían dependiendo de las características hidráulicas del flujo, velocidad y profundidad, y no son iguales a la elevación que tendría el agua en completo reposo. Por otro lado, en las planicies de inundación es más preciso realizar el ejercicio basado en imágenes satelitales que permiten dar una idea más amplia de las zonas húmedas y secas promedio.



G. Madresviejas, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.

BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA ejemplos



Figura 7.5. Mapa topográfico y batimetría del humedal Zancudo, Paz de Ariporo. Tomado de Ville (2014).

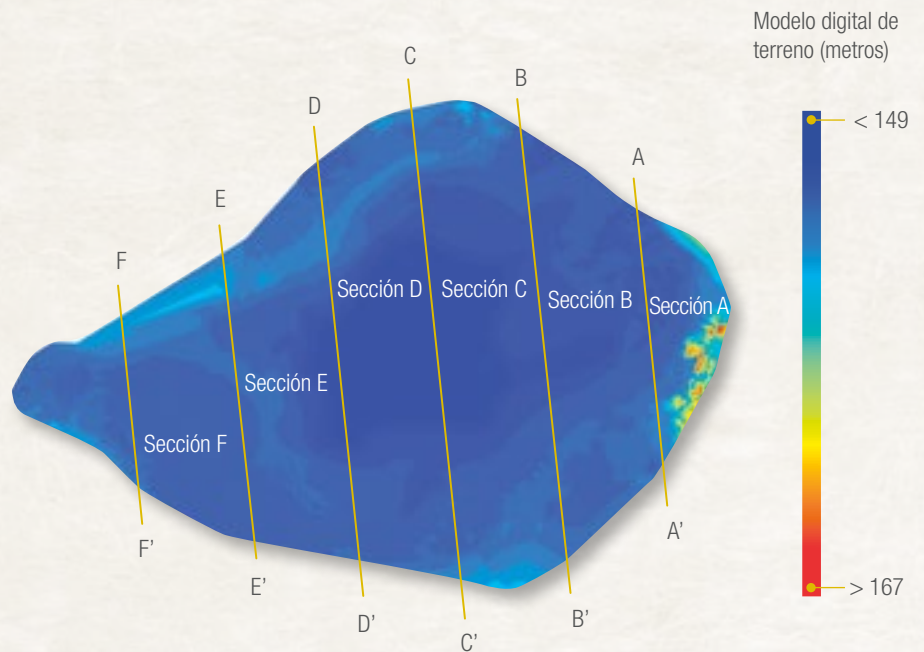


Figura 7.6. Modelo digital del terreno, humedal Zancudo, Paz de Ariporo. Archivo raster tomado de Ville (2014).

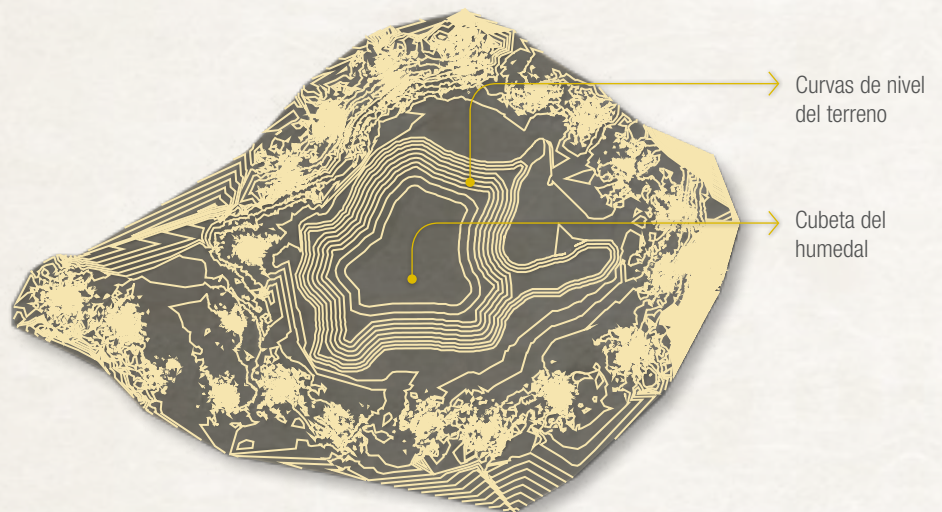
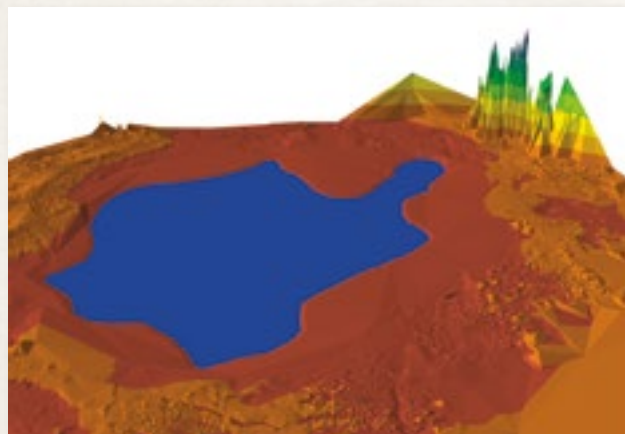



Figura 7.7. Modelo digital de terreno con la lámina de agua, humedal Zancudo, Paz de Ariporo.





“La condición natural
de los humedales es encontrarse en
ambientes de baja
energía
como resultado de pendientes suaves”

7.2.2. DELIMITACIÓN DE HUMEDALES USANDO SENSORES REMOTOS

Las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos son ampliamente utilizados para determinar la ubicación y los límites de los cuerpos de agua. Estos evolucionan rápidamente y posibilitan la obtención de datos espacio-temporales y ambientales con el uso de plataformas satelitales, es decir, sin la necesidad de entrar en contacto físico con la zona a estudiar, siendo esto una alternativa relativamente económica y eficaz (Capítulo 5).



1. Estas imágenes también pueden ser descargadas de la plataforma Global Land Cover Facility de la Universidad de Maryland.



H

En esta publicación metodológica se sugiere el uso del programa SIG GRASS, el cual contiene diversos módulos que sirven para el procesamiento de imágenes de radar y ópticas. Estas son procesadas en archivos tipo raster, por lo cual todos los análisis existentes para este formato son aplicables. Cabe aclarar que hay otras herramientas con las cuales es posible hacer la misma tarea. Es el caso de Quantum GIS, de uso libre, o el mundialmente conocido ArcGIS que requiere licencia. Como resultado del procesamiento de las imágenes es posible diferenciar las zonas secas, las de inundación y cuerpos de agua. También se realizan análisis multi-temporales donde se estudia el pulso de inundación del humedal y la permanencia de la lámina de agua.

7.2.2.1 Obtención de información satelital

Para realizar los procesos de delimitación basados en información de imágenes satelitales se recomienda el uso de imágenes Landsat de la NASA por su larga trayectoria y cantidad de información de soporte técnico disponible en el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)¹. Otros recursos satelitales que pueden servir son CBERS-2, CBERS-2B (Satélite Chino-Brasileño de Recursos Terrestres), ResourceSat 1 (IRS P6) (las imágenes de este último datan desde 1973 hasta la actualidad), y GEOSERVER. Información sobre disponibilidad y procesamiento de otros productos satelitales, al igual que de generalidades de los sensores remotos, se encuentra en el capítulo 5.

Este capítulo se centra en los productos Landsat 5, 7 y 8, que tienen una resolución espacial y radiométrica adecuada. Los productos captados por el satélite Landsat 5 poseen siete bandas espectrales: tres visibles, una en infrarrojo cercano, dos en infrarrojo medio y una en infrarrojo termal a una resolución de 30 m. Adicionalmente, Landsat 7 cuenta con una banda pancromática con resolución de 15 m. El sensor Landsat 8 posee 11 bandas, de las cuales cinco son



visibles, incluyendo la pancromática, una en infrarrojo cercano, una en infrarrojo medio y otra en lejano; dos bandas termales y una nueva banda para la nubosidad (USGS 2015). La combinación de ciertas bandas permite una mayor capacidad de identificación de la humedad. Para el procedimiento descrito a continuación se usarán imágenes Landsat 8 puesto que cuenta con la banda de nubosidad que mejora los análisis.

Las fechas de las imágenes seleccionadas deben corresponder a las de épocas húmedas y épocas secas según las estaciones hidroclimáticas disponibles en el área de estudio. Por esta razón, el insumo más importante para realizar el procesamiento de imágenes que se describe enseguida es el análisis de la amplitud descrito anteriormente. Este debe basarse en la información de estaciones

limnimétricas o limnigráficas que se encuentren dentro del humedal. Si no están adentro, el análisis se debe realizar con la estación más cercana que guarde características ambientales similares; de esta manera se pueden conocer las temporadas húmedas y secas del área de interés, escogiendo imágenes que correspondan a fechas cercanas a estos picos climáticos. Otra opción puede ser basarse únicamente en información histórica, donde se especifiquen los meses que corresponden a los eventos más húmedos y más secos del año. En el caso en que se utilice una estación que no se encuentre dentro del área de estudio, se debe hacer una validación de la correlatividad entre la estación elegida y el humedal a estudiar.

Una vez se escojan las imágenes que serán analizadas bajo el criterio hidrológico, se continuará con su procesamiento.



H. Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

I. Ciénaga grande de Beté,
Chocó.
Foto: Luis Fernando López.



EJEMPLO DE ÍNDICES QUE CAPTAN LA HUMEDAD:

- + NDWI (Normalized Modified Water Index)
- + Automatized Extraction Water Index (AEWI)
- + NDVI (Normalized Difference Water Index)

OTROS USADOS COMO MEDIDA INDIRECTA DE LA RESPUESTA DE LA COBERTURA DEL SUELO:

- + SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)
- + TSAVI (Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index)
- + GEMI (Global Environment Monitoring Index)
- + OSAVI (Optimised Soil-Adjusted Vegetation Index)

7.2.2.2. Procesamiento de imágenes

- 1** Es necesario procesar las imágenes descargadas para la zona de estudio. Además, se debe homogenizar su resolución y eliminar los bordes negros para evitar interferencias en los cálculos.
- 2** Los colores de las imágenes también pueden ser cambiados para facilitar el trabajo de identificación de los cuerpos de agua.
- 3** Para mejorar la calidad del procesamiento es necesario eliminar los valores que no son correctos y están presentes en las imágenes. Estos valores pueden ser los pro-

ducidos por la interferencia de las nubes o defectos en el sensor en el momento de captar la imagen. Para eliminar la nubosidad de las Landsat 8 se cuenta con la banda BQA, la cual tiene como función detectar estos cuerpos. Sin embargo, esta banda es capaz de captar otros valores que pueden hacer parte real del terreno. Para esto el USGS indica en su página oficial en la sección del sensor Landsat 8, cuáles son los valores de los píxeles que realmente corresponden a nubosidad. Otra alternativa para corregir las nubes es hacer la digitalización manual de las mismas y de sus sombras.



- 4** Los mapas deben ser reproyectados al sistema de coordenadas utilizado. En el caso de Colombia se utiliza el sistema Magna-Sirgas.
- 5** Una vez las bandas han sido reproyectadas, los valores de brillo (DN) se convierten a una variable física medible. De esta manera se calcula la radiancia y posteriormente la reflectancia (Anexo 7.1).
- 6** Para crear la imagen en color natural o real se usa una combinación RGB, es decir, la banda 2, la banda 3 y la banda 4 de Landsat 8 deben ser asignadas a los colores básicos azul, verde y rojo respectivamente. Una de las combinaciones que realzan los cuerpos de agua es la banda 5, banda 4 y banda 5; de esta manera el agua se identifica de un color negro y la vegetación o cobertura el suelo en una escala de rosas y grises (Figura 7.8).
- 7** Una vez procesadas las imágenes con los valores de reflectancia, se utilizan índices que permitan la identificación del agua. En este ejemplo se usará la conversión de la banda de la capa de humedad de la transformación Tasseled Cap (Ecuación 5.2, explicada en el capítulo 5).



“El análisis multitemporal de
imágenes satelitales
permite observar la dinámica de
expansión-contracción
de la lámina de agua de los humedales”

ANÁLISIS multitemporal



 Detección de humedad
 No hay detección de humedad

 Sin información
 Seco - seco
 Húmedo - seco
 Seco - húmedo
 Húmedo - húmedo



Figura 7.8. Imagen Landsat 7 (fila 008, columna 054). Fecha de captura: 11 de enero de 2003 (época seca).

A. Combinación color natural; bandas 3,2,1.

B. Combinación bandas 7, 5, 3, en la cual la vegetación se mantiene verde y el agua azul. Imagen cortesía de USGS.

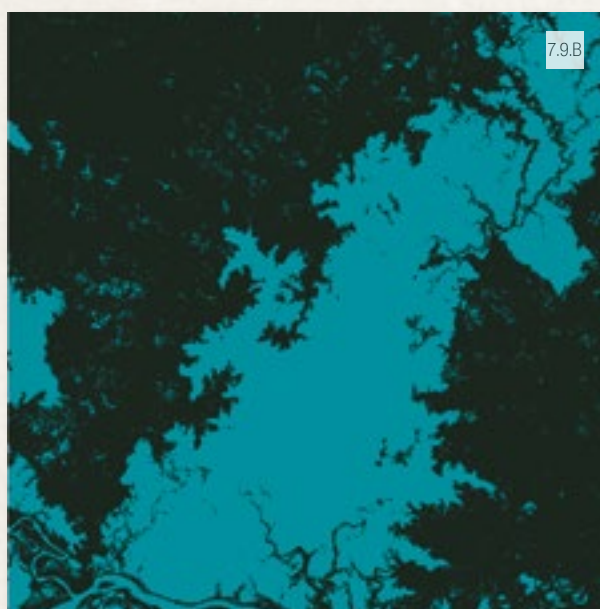


Figura 7.9. Banda de humedad Tasseled Cap con umbral de cero.

A. Imagen Landsat 7 (fila 008, columna 054). Fecha de captura: 11 de enero de 2003 (época seca). B. Imagen Landsat 5 (fila 008, columna 054). Fecha de captura: 22 de agosto de 2000 (época húmeda). Imagen cortesía de USGS.



Figura 7.10. A. Análisis multitemporal de imágenes comparando época seca y época húmeda. B. Acercamiento y digitalización de nubes y sombra de nubes de la imagen Landsat 7 (fila 008, columna 054). Fecha de captura: 11 de enero de 2003. Imagen cortesía de USGS.

8 La delimitación de los cuerpos de agua se realiza agrupando los píxeles que representan cuerpos de agua y los que no pertenecen al cuerpo de agua, dejando una clasificación basada únicamente en dos clases: Agua y No agua. Para esto se puede hacer uso de algoritmos de clasificación o de puntos de quiebre de los índices. En este ejemplo se usa como criterio el punto de quiebre de valor cero; así los mayores o iguales a cero son clasificados como Agua, y los menores a cero, como No agua (Figura 7.9).

En algunos casos los valores alusivos a cuerpos de agua sufren modificaciones debido a la presencia de sedimentos o vegetación que cambian la firma espectral, lo cual ocurre con frecuencia en zonas como los Llanos Orientales y la Amazonia. En este contexto es necesario realizar una revisión visual con combinaciones de bandas que resalten la humedad. Las bandas del infrarrojo corto son muy útiles para este fin.

9 Las zonas con presencia de nubes y sombra de nubes deben ser identificadas y reconocidas como Sin información. En este ejercicio se generó una máscara de las nubes y sus sombras para asignarles valores de “NoDato” (Figura 7.10a).

10 Es necesario finalizar el procesamiento de imágenes con un análisis

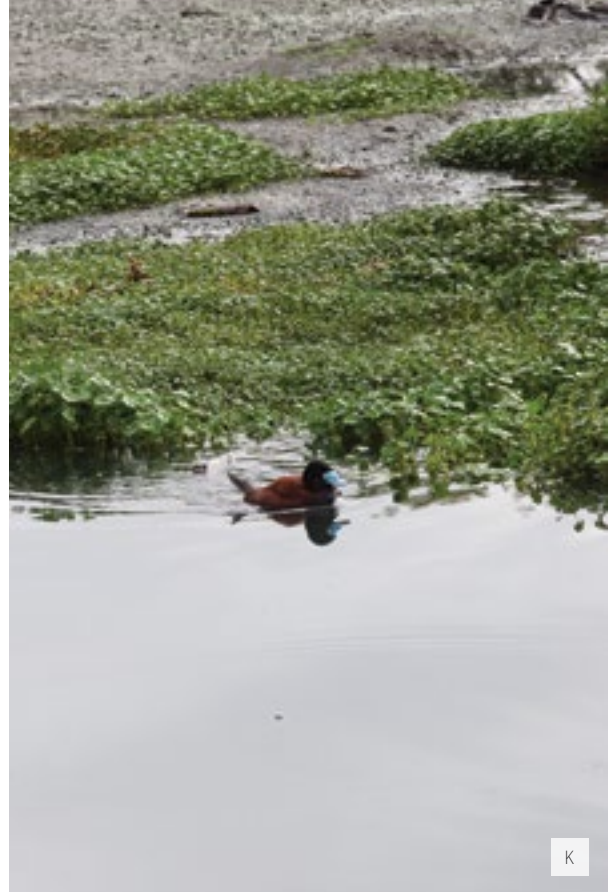
multitemporal. Este permite estudiar la fluctuación de los cuerpos de agua en el tiempo, ya sea utilizando dos imágenes de eventos extremos o múltiples imágenes para determinar el área que abarca el humedal, sus máximos y sus mínimos. El análisis multitemporal se puede realizar utilizando el concepto de matrices de confusión, el cual funciona con el uso de dos o más mapas contrastantes. A partir de cálculos simples se puede determinar el cambio en el valor de los píxeles de una imagen a la otra y cuáles de estos conservan el mismo valor en el tiempo.

Para llevar a cabo el análisis multitemporal se necesitan como mínimo dos imágenes procesadas hasta la delimitación basada en las dos clases: Agua y No agua. Ambas deben tener únicamente dos clases de píxeles: una que haga referencia a la zona húmeda y otra a la superficie seca. Como resultado se obtiene un mapa con cuatro clases, las cuales hablan del estado inicial y final del píxel, es decir que se revisa entre el primer y el segundo mapa qué píxeles cambiaron su clase (Figura 7.10b). Por ejemplo, cuáles estaban secos y continúan en la misma condición en el siguiente mapa, cuáles estaban secos y luego están húmedos en el segundo mapa. La manera de hacer esta nueva clasificación se muestra en la tabla 7.1.



Tabla 7.1. Ejemplo de la matriz de cambio para calcular la mancha de inundación. 1: Húmedo- 2: Seco - 2 x : Constante.

PIXEL TIPO 1: HÚMEDO		PIXEL TIPO 2: SECO		CAMBIO DEL PIXEL	
2 x 1	+	1	>>	3	Húmedo-húmedo
2 x 1	+	2	>>	4	Húmedo-seco
2 x 2	+	1	>>	5	Seco-húmedo
2 x 2	+	2	>>	6	Seco-seco



Es muy importante tener en cuenta la información hidrológica al escoger las imágenes, pues de esta depende que el cuerpo de agua que se esté delimitando corresponda a una situación media, máxima o mínima con respecto a los datos históricos. La información hidrológica mínima que debe haber sido procesada previamente para poder realizar el estudio corresponde a la de una estación analizada, la cual también debió ser validada respecto a su correlación espacial con el humedal. A partir del análisis hidrológico se pueden definir las fechas con las cuales se escogerá la fotografía.

Es posible que para las condiciones húmedas, las imágenes satelitales estén cubiertas por nubosidad, en este caso se debe buscar otra fecha que también haya sido húmeda pero se encuentre despejada.

La implementación de este mapa en la construcción para la propuesta del límite del humedal desde la hidrología se explica posteriormente en la sección 7.4.

7.3. FASE DE CAMPO

7.3.1. INDICADORES HIDROLÓGICOS Y OTROS

Algunos indicadores hidrológicos que pueden ser usados para complementar el ejercicio de delimitación basado en el análisis de la amplitud del pulso de inundación y de sensores remotos explicados anteriormente pueden ser: patrones de drenaje, líneas de flujo, depósitos de sedimentos, marcas de agua, registros his-



J. Humedal La Conejera, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

K. Humedal La Conejera, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

tóricos y observaciones de saturación del suelo. Estos pueden ser verificados con relativa rapidez en campo y proveen información sobre inundaciones anteriores, guardando registros de los lugares que alcanzó el agua. Si bien algunos de estos no son necesariamente indicadores hidrológicos, son útiles para complementar otros análisis de los límites físicos del humedal.

OBSERVACIONES DE INUNDACIÓN

Este es el más obvio y sencillo indicador hidrológico, pues consiste en observar la extensión del área de inundación. Es importante tener en cuenta, al realizar la inspección visual, que en temporadas húmedas pueden existir áreas con agua superficial en zonas que no corresponden a áreas del humedal (correspondientes a eventos extremos); esto se puede corroborar con la ayuda de otros criterios. La observación visual debe ir acompañada de un mapa, donde se verifica y registra el borde que genera la lámina de agua en un momento dado. Preferiblemente, la inspección se debe hacer en épocas húmedas y épocas secas. Estos extremos son indicadores importantes del pulso de inundación, y esta información puede ser de gran utilidad posteriormente para ser comparada con los análisis topográficos y de imágenes satelitales.

OBSERVACIONES DE SATURACIÓN DEL SUELO

Para examinar este indicador se requiere extraer una muestra de suelo a una profundidad aproximada de 40 cm y observar el agua que se filtra y entra en el espacio del apique (Environmental Laboratory, US Army Corps of Engineers 1987). Es necesario esperar un tiempo hasta que el agua filtre en su totalidad, lo que puede variar dependiendo de la impermeabilidad del suelo. El nivel de agua en el apique representa la profundidad del nivel freático. La profundidad de suelo saturado siempre es menor debido a la ascensión capilar. Si se requiere más detalle de esta metodología es importante ver las recomendaciones de la caracterización a partir de las propiedades del suelo (Capítulo 8).

MARCAS DE AGUA DE INUNDACIÓN

Pueden ser observadas fácilmente en árboles adultos o estructuras fijas como muros de ladrillo o concreto y postes (Figura 7.11 A y B). Cuando se encuentran múltiples marcas de agua, la más alta corresponde a la inundación más severa. Si se encuentran marcas de inundaciones en el área de estudio, es importante ma-





pear los lugares donde se encontraron, medir su altura y determinar sus coordenadas. De esta manera, durante el levantamiento topográfico se puede calcular la altura sobre el nivel del mar de las marcas de inundación y así obtener un dato histórico de un evento extremo que sirve para ser comparado con las series de datos históricas, si existen.

LÍNEAS DE ARRASTRE

Este indicador se encuentra frecuentemente en cercanías de ríos o humedales muy fluctuantes o mareales. Se observan una suerte de líneas de escombros de vegetación o acumulación de ramas y material vegetal al pie de objetos fijos como árboles, postes y muros (Figura 7.12). Las líneas de arrastre dan una pista del límite de la última inundación, indicando en la parte más alta de su aparición el posible borde del humedal (para un evento extremo). Para registrar este indicador, es importante recorrer la línea perimetral del humedal, de adentro hacia afuera, y registrar la presencia de líneas de arrastre en el caso en que estas sean detectadas. De la misma manera que con las marcas de agua, estas líneas de arrastre deberán quedar re-

gistradas en un mapa, de modo que se pueda identificar posteriormente el límite de la última inundación (Figura 7.12).

DEPÓSITOS DE SEDIMENTOS

Plantas, árboles y otros objetos fijos generalmente tienen capas delgadas de sedimentos o restos de materia orgánica después de una inundación. Normalmente, este sedimento permanece en el mismo sitio hasta que es removido por el lavado de una precipitación o una siguiente inundación (Figura 7.13). Este da una pista del nivel mínimo de inundación y de su extensión. Cuando los sedimentos son principalmente orgánicos, como plantas hidrófilas, los detritos pueden llegar a incrustarse profunda o superficialmente entre el suelo después que la inundación ha retrocedido. Este indicador también debe ser detectado y mapeado en campo para reconstruir un perímetro de la última inundación en el humedal.

PATRONES DE DRENAJE

Este indicador es muy frecuente en los humedales que tienen conexión con ríos o quebradas y consiste en la evidencia super-



Figura 7. 11. Marcas de agua en
A. Árboles, Zapatosa.
B. Construcciones.
Foto: Miguel Castiblanco.

Figura 7.12. Líneas de arrastre,
Ciénaga de Zapatosa.
Foto: Francisco Pérez.



ficial de canales de drenaje. Estos no suelen tener presencia de agua la mayor parte del año, pero en ellos se pueden evidenciar escombros de vegetación o troncos orientados perpendicularmente a la dirección del flujo en el momento de la inundación. La topografía del terreno debe ser considerada para tener en cuenta este indicador, ya que altas pendientes tienden a generar más patrones de drenaje. También se deben buscar estos patrones de drenaje en campo, mapeando su ubicación para poder observar las marcas de la última extensión máxima del humedal.

CONOCIMIENTO LOCAL

Es uno de los más importantes y, a su vez, uno de los más confiables. El conocimiento local sobre el humedal representa información básica para determinar su límite hídrico. En este indicador se requiere realizar entrevistas a los habitantes de la región que tengan contacto continuo con el cuerpo de agua. Generalmente en Colombia, estos habitantes tienen una relación muy cercana con los pulsos de inundación, por lo tanto conocen muy bien los extremos y los mínimos naturales del humedal. A ellos se les puede consultar sobre los límites de la última inundación y la altura del agua en

sus casas, así como los niveles normales del agua en época húmeda y época seca, y eventos extremos. La información de los bordes del humedal consultados a los habitantes debe ser cartografiada y ubicada en un mapa topográfico con el fin de que sea comparada con los demás indicadores hidrológicos y los análisis de la fase previa.

En los humedales la presencia de agua puede variar significativamente tanto temporal como espacialmente; sin embargo, en la gran mayoría la vegetación y los suelos están presentes durante todo el año (Tiner 1992). La dinámica de variación natural, diaria, trimestral y anual, y la falta de información de largo plazo para la mayoría de los humedales hacen que la hidrología sea un criterio exigente y que en países como Estados Unidos sea considerado poco útil (Tiner 1993). Esto indica que basarse en los demás criterios, además del hidrológico, es de vital importancia para delimitar los humedales. No obstante, en los que están sujetos a amplitudes considerables, la hidrología cumple un papel muy importante para su identificación. De tal manera, las agencias federales reguladoras de humedales de los Estados Unidos han usado el método de los tres parámetros para la delimitación, que consiste en encontrar indicadores po-



Figura 7.13. Depósitos de sedimentos, Guaviare.
Foto: Oscar Acevedo.

sitivos de vegetación hidrófila, suelos hídricos e hidrología de humedales.

7.3.2. TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

Para poder llevar a cabo los análisis especificados en la fase inicial, y en el caso de que no existan levantamientos topográficos y batimétricos, se hace necesario realizar los correspondientes levantamientos para el humedal de estudio. Se debe realizar una topografía del terreno circundante teniendo en cuenta las posibles áreas de inundación. Estas pueden ser determinadas con ayuda de los habitantes de la zona o siguiendo las huellas de los indicadores hidrológicos mencionados anteriormente. La topografía debe ser lo suficientemente detallada para poder generar un modelo digital del terreno que permita ver las cotas de inundación en el ejercicio de la fase inicial.

El levantamiento batimétrico es necesario para poder determinar las profundidades y las características de humedales con cubetas definidas; contar con este análisis permite tener un mejor entendimiento de su funcionamiento hidrológico e hidráulico. Se debe realizar la batimetría teniendo en cuenta el tipo de humedal que se está analizando y si tiene la correcta navegabilidad para llevar a cabo el levantamiento. Generalmente, este análisis se requiere para sistemas de lagunas y ciénagas; sin embargo, se hace importante revi-

sar cada caso de estudio para determinar la necesidad o posibilidad de realizar el levantamiento.

7.4. FASE DE ANÁLISIS

Para esta fase se requiere haber realizado al menos uno de los siguientes estudios:

- + Análisis de la amplitud como indicador del límite del humedal: este acercamiento se basa en el análisis de la información hidrológica de una estación limnimétrica o limnigráfica ubicada en el humedal en estudio. Adicionalmente, requiere de su topografía y batimetría para mapear la información hidrológica y obtener el espejo de agua para diferentes eventos hidrológicos.
- + Delimitación del humedal utilizando sensores remotos: durante este análisis se escogen imágenes satelitales basadas en los eventos hidrológicos extremos. Estas son analizadas con el propósito de obtener imágenes con índices que permitan determinar zonas donde ocurre inundación y los límites del humedal. Adicionalmente,



L. Ciénaga grande de Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

M. Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena.

Foto: Luis Fernando López.

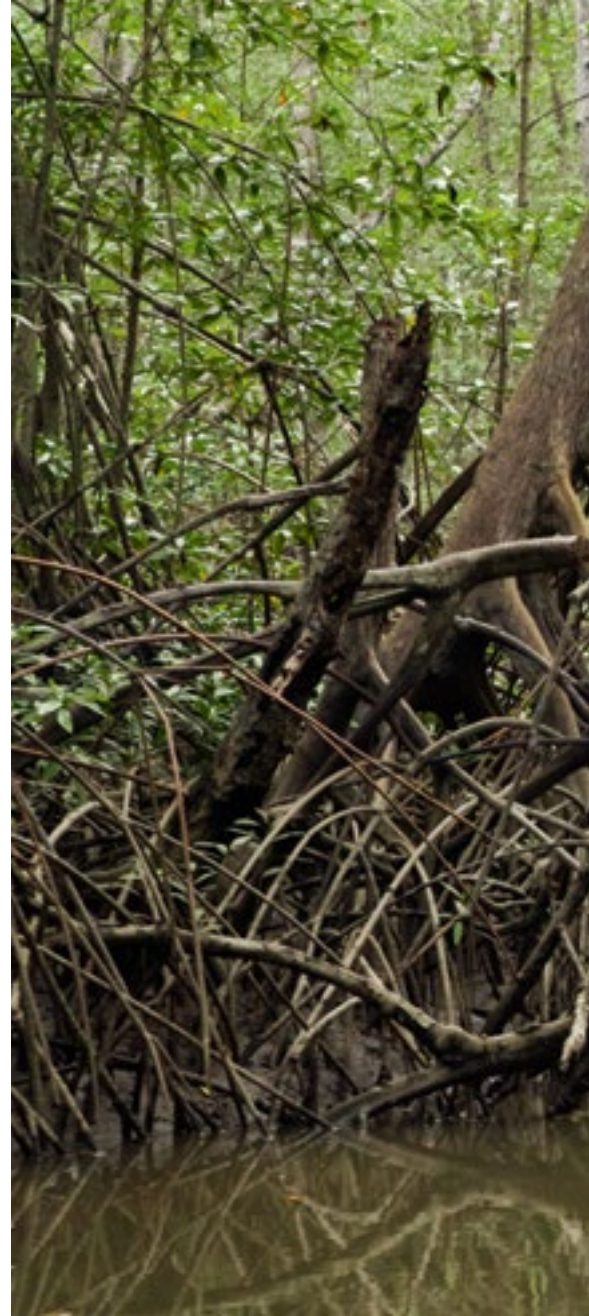


se generan mapas de cambio del pulso de inundación, es decir, una imagen comparando dos imágenes de eventos hidrológicamente opuestos para visualizar el cambio de húmedo a seco en el tiempo.

- + Indicadores hidrológicos: en esta fase de campo se logra recopilar información *in situ* relacionada con eventos de inundación del humedal. Algunos de estos indicadores son identificados y mapeados con el fin de ser cruzados con información topográfica y así poder registrar el límite de ese evento extremo.

7.4.1. LÍMITES DEL HUMEDAL

El límite del humedal desde la hidrología puede resultar del análisis de las estaciones hidrológicas y los mapas topográficos y batimétricos del humedal cuando una estación limnigráfica o limnimétrica está cerca y los estudios topográficos están disponibles o son viables y pertinentes. Es necesario recordar que las zonas anexas a la cubeta principal, las cuales hacen parte de la dinámica del humedal y son susceptibles a la inundación, también deben contar con levantamientos topográficos y deben





ser incluidas en el análisis ya que hacen parte del ecosistema y son importantes para garantizar su integridad y la gestión del riesgo. Si esta información no existe y no se puede generar se puede definir el límite del humedal a partir de las imágenes satelitales analizadas.

Los indicadores hidrológicos en general no representan suficiente información histórica que ayude a definir el límite natural del humedal excepto por el conocimiento local. Sin embargo, esta información enriquece y mejora la comprensión de los otros resultados hidrológicos y además puede ser comparada con los resultados de delimitación de los otros componentes: geomorfología, suelos y vegetación.

Como se indicó anteriormente, al menos uno de estos tres estudios debe

ser desarrollado, aunque en la medida de lo posible se debe intentar realizar los tres con el fin de complementar los resultados. En el caso de que se tenga más de un estudio, el límite definido debe ser comparado con los demás resultados con el fin de tener una información más cercana a la realidad. No existe un nivel jerárquico entre los estudios; cuando exista más de uno, será la complementación entre los mismos la que defina el límite final del humedal. Para esta última fase se requiere un análisis riguroso apoyado de un hidrólogo, que pueda tomar la decisión basado en el criterio de un experto, y con la ayuda de habitantes de la zona que conozcan muy bien el humedal y corroboren el límite del borde de agua definido.



N. Ciénaga El Banco, Magdalena.
Foto: Miguel Castiblanco

O. Manglares en Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

P. Avifauna de la Orinoquia, Casanare.
Foto: Luis Fernando López.



Chow, V. T. 1993. Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

Colwell, R. 1974. Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena. *Ecology* 55(5).

Corps of Engineers. 1987. Wetland delineation manual. Environmental Laboratory.

De Ville, J. 2014. Áreas piloto de ciénaga de Zapatos y el complejo de humedales de Paz de Ariporo. Resumen ejecutivo temática de batimetría Convenio de cooperación suscrito entre el Instituto Humboldt y el IDEAM 13-13-014-093-Instituto Humboldt 008 de 2013.

Environmental Laboratory. 1987. Corps of engineers wetlands delineation manual. Wetlands Research Program Technical Report Y-87-. Washington D. C. Disponible en: <http://www.cpe.rutgers.edu/Wetlands/1987-Army-Corps-Wetlands-Delineation-Manual.pdf>

Frazier, P. y K. J. Page. 2000. Water body detection and delineation with Landsat TM Data.


Giraldo, J. y S. García. 2012. Development of a sub-pixel analysis method applied to dynamic monitoring of floods. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España.

Heeh, K. H. y T. M. Lee. 2010. Hydrology and ecology of freshwater wetlands in central Florida. USGS.

Junk, W. J. 1984. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Max Planck Institut für Limnologie.

Junk, W. J. 2004. The Flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. Max Planck Institut für Limnologie.

Junk, W. J. y K. M. Wantzen. 2006. Flood pulsing and the development and maintenance of biodiversity in floodplains.



Junk, W. J, M. T. Piedade, R. Lourival y F. Wittmann. 2013. Brazilian wetlands: their definition, dealination, and classification for research, sustainable management, and protection.

Mather, P. I. M. 2004. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction.

Mesa, O. J., G. Poveda y L. F. Carvajal. 1997. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Medellín, Facultad de Minas. Medellín, Colombia.

Milhous, R. T. 2012. Application of the colwell index to monthly streamflow analysis, Colorado.

Neff, J. J., M. H. Iriondo y R. Carignan. 1994. Large tropical south american wetlands: an overview p. 156-165. En: Link, G. L. y R. J. Naiman (eds.). The Ecology and Management of Aquatic-terrestrial Ecotones. Proceedings book, Univ. of Washington.

Neff, J. J. 1997. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Suramérica. Centro de Ecología Aplicada del Litoral.

Ricaurte, L. F. 2012. Wetland habitat diversity in the Amazonian piedmont of Colombia. Society of Wetlands Scientists.

Tiner, R. 1992. Wetland indicators: a guide to wetland identification, delineation, classification and mapping.

Tiner, R. 1993. The primary indicators method - a practical approach to wetland recognition and delineation in the United States. U.S. Fish and Wildlife Service.

United States Environmental Protection Agency, EPA. 2008. Methods for evaluating wetland condition, #20 Wetland Hydrology.

USGS. 2015. Landsat missions. Science for a changing world. United States Geological Services. <http://landsat.usgs.gov>.




ANEXOS

ANEXO 7.1

Las ecuaciones que se presentan provienen de la información del USGS y son desarrolladas exclusivamente para las imágenes Landsat 8. Estas varían con los satélites.

RADIANCIA

Para los valores de radiancia se utilizan los valores de ganancia (RADIANCE_MULT_BAND) y desvío (RADIANCE_ADD_BAND) descargados en los metadatos de las imágenes para ser reemplazados en la ecuación 7.2 para Landsat 8:


 Ecuación 7.2.
Radiancia en el canal λ

Radiancia λ = Ganancia λ x Nivel digital λ + Desvío λ

Donde λ es la longitud de onda para cada canal.

REFLECTANCIA

Para reducir la variabilidad entre bandas se calcula la reflectancia utilizando los valores de ganancia (REFLECTANCE_MULT_BAND), desvío (REFLECTANCE_ADD_BAND) y elevación solar (SUN_ELEVATION) descargados en los metadatos de las imágenes, para ser reemplazados en la ecuación 7.3 para Landsat 8:

 Ecuación 7.3.
Reflectancia en el canal λ

Reflectancia λ = $\frac{\text{Ganancia } \lambda \times \text{Nivel digital } \lambda + \text{Desvío } \lambda}{\cos(90 - \text{elevación solar})}$

Donde λ es la longitud de onda para cada canal.



→ Pescador, Ciénaga de La Virgen, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.



CAPÍTULO 8.

Identificación y caracterización de suelos de humedal

Oscar Javier Acevedo Amaya



- A.** Suelos de humedal, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.
- B.** Suelos de humedal, Ucrania, Magdalena.
Foto: Teresita Betancourt.

El suelo es un elemento integrador en el paisaje con una alta estabilidad en el tiempo, por lo que su papel resulta clave especialmente cuando otros elementos, como la cobertura, han sido transformados o cuando ecosistemas, como los humedales, han sido alterados. De esta manera se puede decir que la identificación, caracterización y delimitación de los humedales desde los suelos, a escalas como la 1:25.000, tiene una visión integral apoyada en otros recursos.

8.1. MARCO DE REFERENCIA

Cabe destacar que no todos los humedales desarrollan suelo en su lecho. Por lo tanto, es posible identificar humedales con lecho consolidado, no consolidado y con suelo.

Los humedales con lecho consolidado generalmente se encuentran sometidos a corrientes de agua cuyo flujo o movimiento impide el desarrollo de procesos formadores de suelo (pedogenéticos) y por lo tanto no es posible la creación del mismo. Los materiales allí transportados por el agua son tomados normalmente del mismo lecho y dependen de la energía cinética de la corriente, y esta a su vez de la cantidad de agua, de la forma y tipo de cauce, y del gradiente (pendiente) de la corriente. Estos lechos están formados en roca, ya sea en *continuum* o fraccionada (pedregones), en su mayoría tienen permanencia de agua y/o el flujo es torrencial, y pueden estar colonizados por macrófitas u otros organismos. Un ejemplo son los fondos de acantilados, algunos tipos de playas, desembocaduras, y cauces de ríos y quebradas de pendiente pronunciada (como las de la Sierra Nevada de Santa Marta).

Los humedales con lecho no consolidado están asociados frecuentemente a cuerpos de agua permanentes como ca-



ños, madre viejas o cauces abandonados. Su característica principal consiste en que tienen un flujo hidrológico de baja velocidad, el cual prácticamente no genera turbulencias y transporta material suspendido (lodos). Cuando no hay flujo continuo, la permanencia del agua es alimentada por el desborde de aguas. Forman parte de este grupo los siguientes materiales y suelos: cascajos (cantos rodados), gravas, arenas, sedimentos limosos o arcillosos (también llamados lodos o tierra cenagosa) y por lo general suelos orgánicos excepto los del suborden Folists.

El suelo del humedal es el que se forma bajo condiciones de suficiente humedad que permiten apoyar el crecimiento, desarrollo y regeneración de vegetación hidrófita. Para tener esta condición se requiere de la presencia de una lámina de agua cuya frecuencia o duración tenga un efecto permanente o temporal sobre la superficie del suelo, lo que provoca procesos hidromórficos que resultan en el anegamiento o saturación de agua y ausencia de oxígeno (ambiente anaeróbico o reducido).

Estas áreas tienen una estrecha relación con cuerpos o láminas de agua no permanentes donde la intermitencia o los flujos lentos sobre la superficie favorecen el desarrollo de procesos pedogenéticos que dejan su huella tanto en la superficie como en la profundidad. Estos procesos presentan varios efectos en la parte superior del perfil del suelo mineral (primeros 50 o 60 cm), como por ejemplo la pérdida de color en los horizontes involucrados, que son determinantes en la transición entre el humedal y la tierra firme.

El concepto que trata de precisar los suelos de humedal puede resultar poco aplicable cuando se trata de suelos arenosos, debido posiblemente a su baja capacidad de retención de humedad; otra excepción en esta definición son los suelos orgánicos, los cuales no pueden ser enmarcados en esta conceptualización puesto que su origen presenta otra ruta pedogenética.

Es importante mencionar que el levantamiento de suelos no se realiza frecuentemente en las áreas con presencia



permanente de agua (humedales con lecho consolidado o no consolidado). Se entiende por suelo solo aquellas áreas que han desarrollado procesos pedogenéticos como se explicó anteriormente.

Por otra parte, antes de abordar de lleno el trabajo de identificación y delimitación de los suelos del humedal es necesario destacar la importancia que tiene el tamaño del área de estudio, pues esta guía está enfocada en apoyar el proceso en áreas pequeñas o en rectificar linderos de sitios muy concretos.

Al referirse a áreas extensas, el proceso de delimitación se debe apoyar fuertemente en los estudios semidetallados de escala 1:25.000, como explica Cortés (2016). En ellos “se señala el contenido pedológico de las consociaciones y complejos, los suelos con régimen ácuico (drenaje pobre), los subgrupos con integrados ácuicos (drenaje imperfecto) y las fases por inundación y/o encharcamiento, precisando, en este último caso, la frecuencia y la duración de las inundaciones”¹. De esta forma, la delimitación de los humedales extensos debe



1. Cortés, A. (2016). Tomado del concepto emitido sobre este documento a solicitud del Instituto Humboldt. Pág. 1. Sin publicar.



EL SUELO

Es el resultado de procesos pedogenéticos o de formación donde actúan factores atmosféricos, hidrológicos y biológicos que llevan a la alteración del material original (como rocas) y soportan vida.

apoyarse en estudios de suelos semidetallados o detallados (escalas mayores o iguales a 1:25.000), porque estos separan o identifican unidades de suelos más puras.

De lo anterior se deduce que la delimitación debe tomar el límite de los polígonos que conforman ya sea la unidad cartográfica de suelos o las fases cartográficas que presentan inundación o encharcamiento². Las unidades cartográficas tenidas en cuenta como suelos de humedal deben estar conformadas por suelos que presentan condiciones ácuicas pertenecientes a los subórdenes Aquic o a integrados ácuicos y, en todo caso, su presencia en la unidad cartográfica debe superar el 50% del contenido pedológico. Las fases cartográficas que presentan inundación o encharcamiento y pertenecen a unidades de suelos sin condiciones ácuicas no deben tenerse en cuenta, salvo criterio del reconecedor; sin embargo, las que presentan algunos o varios suelos con características de este tipo deben ser consideradas. Es importante mencionar que esta información solo está disponible para ciertas áreas del país, y en general los levantamientos son realizados por el IGAC o algunas empresas especializadas en este tipo de estudios.

Este documento se basa en el concepto de suelos de humedal y consta de tres partes: la primera identifica la manera como se debe abordar la distribución de las ob-

servaciones de suelos para la delimitación, la segunda busca establecer la forma de realizar las observaciones y las características que se deben tener en cuenta, y finalmente se presenta el paso a paso para la identificación en cada sitio observado.

8.2. FASE INICIAL

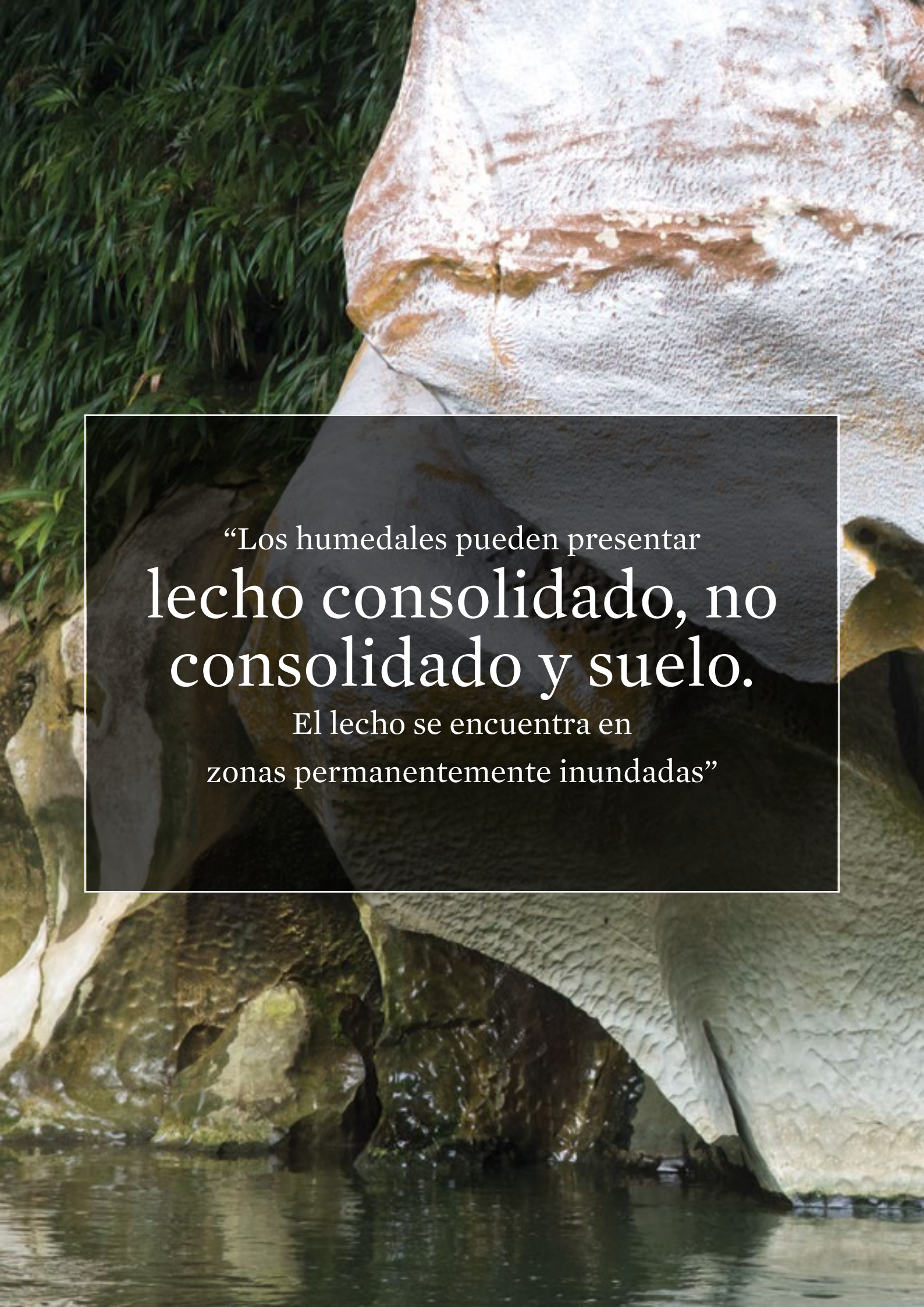
El diseño de la distribución de los muestreos es un procedimiento muy importante ya que busca, ante todo, apoyar la delimitación externa del humedal, es decir, establecer el límite entre este ecosistema y la tierra firme, y además brinda lineamientos para procesos posteriores. Estos muestreos se apoyan en productos generados en la fase previa (Capítulo 4), específicamente:

- + Cartografía adecuada a la escala de trabajo. Se debe recordar que un transecto de 100 m en una plancha 1:25.000 representa 4 mm y en una plancha 1:10.000 corresponde a 10 mm. Las planchas de cartografía base están disponibles en el IGAC, aunque la fecha de actualización varía³.
- + Imágenes o fotografías aéreas del sitio.
- + Estudios geomorfológicos y/o geológicos.
- + Conocer qué tipos de suelos se presentan, a nivel general, en el área determinada a partir de los levantamientos más detallados disponibles o, dado el caso, usar los estudios a nivel nacional a escala 1:100.000 del IGAC.

La información contenida en este tipo de documentos permite tener una aproximación bastante completa sobre la morfología, características y propiedades químicas y físicas de los suelos involucrados, ya que no es lo mismo enfrentarse a reconocer suelos orgánicos que minerales, o incipientes que muy evolucionados. También da una idea sobre la posición geomorfológica donde se presentan los suelos, lo cual es un buen indicativo si la persona reconoce estas geoformas del relieve en el campo.



2. La consideración de la fase cartográfica como parte del humedal resulta ser criterio del reconecedor de suelos.
3. La mayor parte del país ha sido estudiada por el IGAC, en estudios por departamento y a escalas 1:100.000 y 250.000; sin embargo, hay algunas regiones del país con estudios realizados en la década del 70 a escalas de mayor detalle que aún se encuentran en la biblioteca del IGAC.



“Los humedales pueden presentar
**lecho consolidado, no
consolidado y suelo.**

El lecho se encuentra en
zonas permanentemente inundadas”

8.3. FASE DE CAMPO

8.3.1. SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE SUELOS

Existen varias formas de realizar el muestreo, actividad que generalmente depende de la escala de trabajo. No obstante, dado que la finalidad no solo es identificar el suelo de humedal sino reconocer su cambio o transición hasta el de “no humedal”, resulta necesario contar con los elementos suficientes para materializar en el papel la delimitación de este cuerpo natural. En la escala 1:25.000, y más concretamente en las escalas detalladas, la forma de abordar el muestreo de suelos para su levantamiento o delimitación es la malla rígida (o cuadrícula). Para ello, se sugiere seguir los siguientes pasos:

1 Localizar el área de estudio (humedal) en una plancha topográfica o fotografía aérea: es necesario apoyarse en la topografía o curvas de nivel, la fotointerpretación como se indicó en la fase previa (Capítulo 4), especialmente si es en 3D (estereoscópica), o si es posible y el área por su tamaño lo permite, un recorrido directo en campo con

el apoyo de un GPS sobre lo que se considera el límite tentativo.

2 Identificar dentro del espacio señalado lo que corresponde a la lámina de agua permanente: área con la mayor duración de agua en superficie o en los primeros centímetros cercanos a ella (ya sea por inundación o encharcamiento). Para ello se pueden tomar como base las evidencias dejadas por la inundación sobre el terreno como el microrrelieve (figuras 8.1 y 8.2), huellas en árboles (Figura 8.3) o en otros elementos como restos vegetales de algas, líquenes o de fauna (Figura 8.4), los cuales se desarrollan en condiciones de anegamiento prolongadas. Otras maneras posibles son: la localización de la vegetación natural establecida (Figura 8.5), las formas del terreno o relieve del área a estudiar o humedal (Figura 8.6), o la información otorgada por personas aledañas. Es importante determinar tentativamente esta área núcleo (Figura 8.7) porque es el punto crítico de inicio para la identificación del humedal.



Figura 8.1. Microrrelieve de zurales. Son formas de expresión de los suelos de ambiente muy húmedo constituido por una red “casi” poligonal de bordes subredondeados. Foto: Fototeca IGAC (2013).



Figura 8.2. Costras por desecado del suelo al retirarse el agua en marea baja. Suelen ser poligonales, en este caso por efecto del tipo de arcilla y la abundancia de sodio presente. Foto: Oscar Acevedo (2011).



Figura 8.3. Huella de la inundación (ciénaga de Zapatosa, 2012). Foto: Fototeca IGAC (2013).



Figura 8.4. Acumulación en superficie de restos de caracoles. Foto: Oscar Acevedo (2013).

PARTE III

Tras las huellas del agua



Figura 8.5. Los cambios de vegetación permiten identificar áreas de chequeo para suelos. Las líneas separan diferentes tipos de cobertura y permiten inferir suelos asociados a ellos.

Foto: Oscar Acevedo (2014).

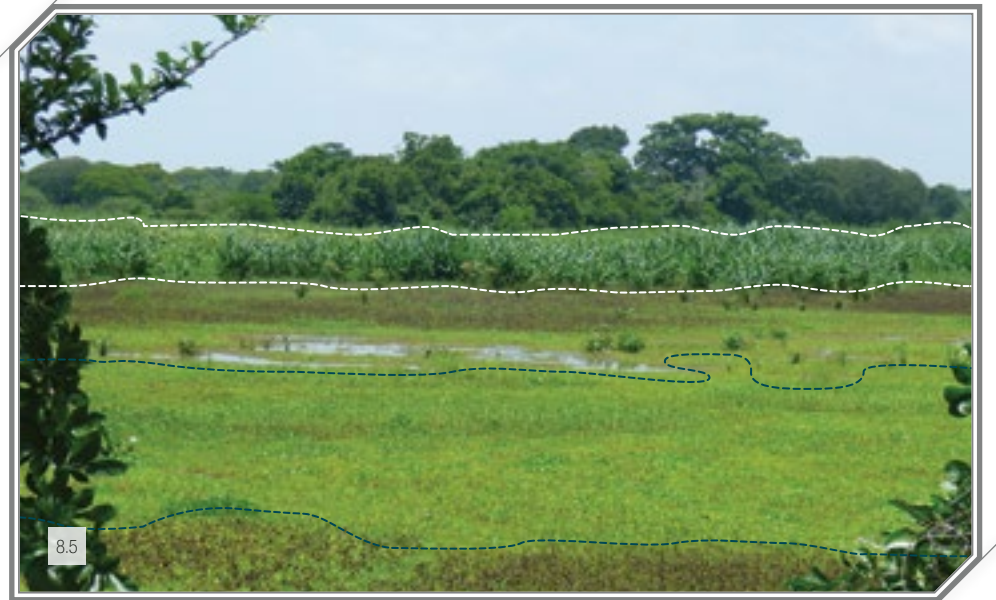


Figura 8.6. Localización tentativa del área a estudiar. El área oscura encierra la zona que no es humedal.

Foto: Oscar Acevedo (2015).



Figura 8.7. Determinación preliminar del área núcleo. La zona delimitada con la línea blanca encierra el área núcleo.

Foto: Oscar Acevedo (2015).



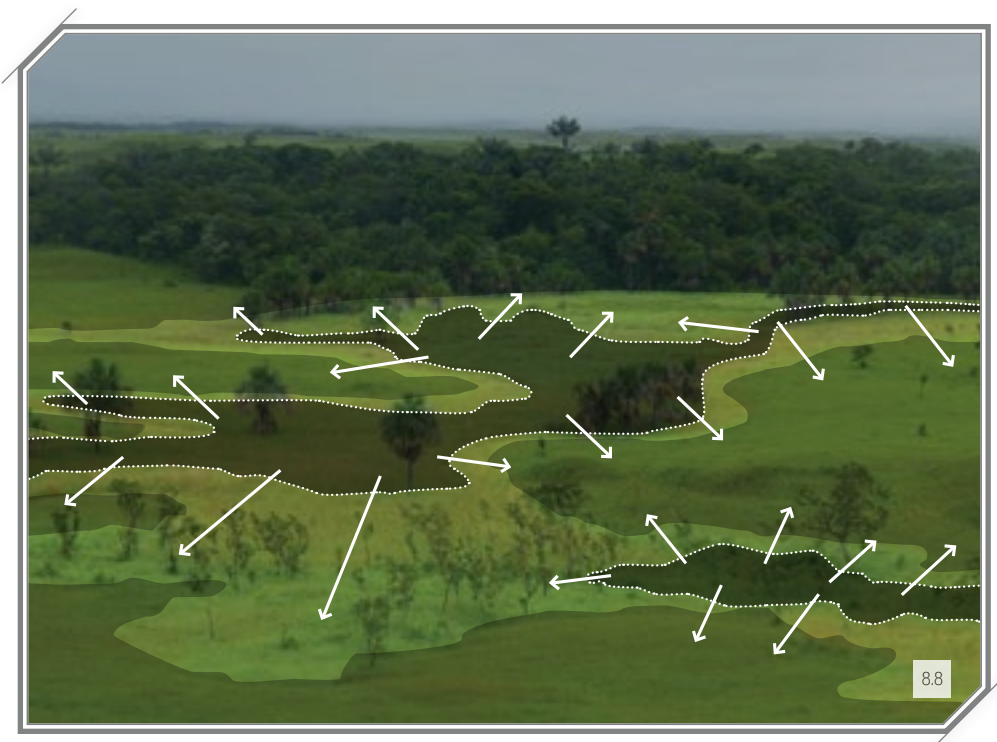


Figura 8.8. Distribución de los transectos, orientados desde el área núcleo hacia la periferia del humedal. Las flechas blancas indican la dirección de los transectos, su origen y llegada. Foto: Oscar Acevedo (2015).

3 Distribuir de forma uniforme una serie de transectos alrededor del área núcleo, de tal forma que se cubra la totalidad de esta. Si no es posible determinarla, se debe realizar la distribución de transectos transversales al área de estudio teniendo la seguridad de iniciar sobre un suelo con ausencia de condiciones ácuicas. La distancia máxima entre transectos es de 75 m, mientras que la distancia entre observaciones o sitios de muestreo está sujeta a la experticia del reconocedor; no obstante, se recomienda realizar la observación cuando se identifiquen cambios externos sobre la superficie del terreno o en la morfología del relieve (Figura 8.8).

Identificar el área total del humedal, así como su área núcleo, permite determinar el personal que se necesita, el tiempo que se toma y el momento adecuado para realizar el trabajo de campo. Igualmente, en aras de facilitar el reconocimiento de suelos de humedales, es conveniente realizar la identificación en época de aguas bajas, pues se facilita el desplazamiento hacia el área núcleo, la cual presenta mayor propensión a la oxidación y por lo tan-

to mayores evidencias, condiciones que facilitan la toma de muestras en suelos.

8.3.2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EDÁFICA

La descripción de los datos edáficos exige, ante todo, que la persona a cargo tenga un elevado nivel de observación. Es por ello que en este documento, si bien se explican las características o propiedades presentes en el suelo, se busca ofrecer de manera visual la manifestación de ellas como evidencias guardadas en el perfil del suelo y de forma externa a él.

La descripción de las características y propiedades de los suelos se debe realizar con sujeción a la Taxonomía Americana⁴ y de acuerdo con las adaptaciones realizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi⁵, ente rector en materia de suelos en Colombia.

Aun cuando las condiciones ácuicas y rasgos hidromórficos se encuentran presentes en la porción superficial del perfil, el registro de las características debe realizarse hasta un metro de profundidad (sección control); también incluye la descripción de las características de la superficie, microrrelieve, vegetación y fauna presentes.



- La Taxonomía Americana es el nombre otorgado por los edafólogos al Sistema Taxonómico de Clasificación de Suelos desarrollado en los Estados Unidos de América, hoy compilado en dos documentos fundamentales: La segunda edición de *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* y *Keys to soil taxonomy*, edición número 12 (2014).
- También conocido como IGAC, aun cuando el estudio del sistema ambiental de Colombia recae en el Ministerio de Ambiente y todos sus institutos adscritos, el recurso suelo es estudiado por el IGAC en la Subdirección de Agrología.

SUELOS

Transición de humedal a tierra firme

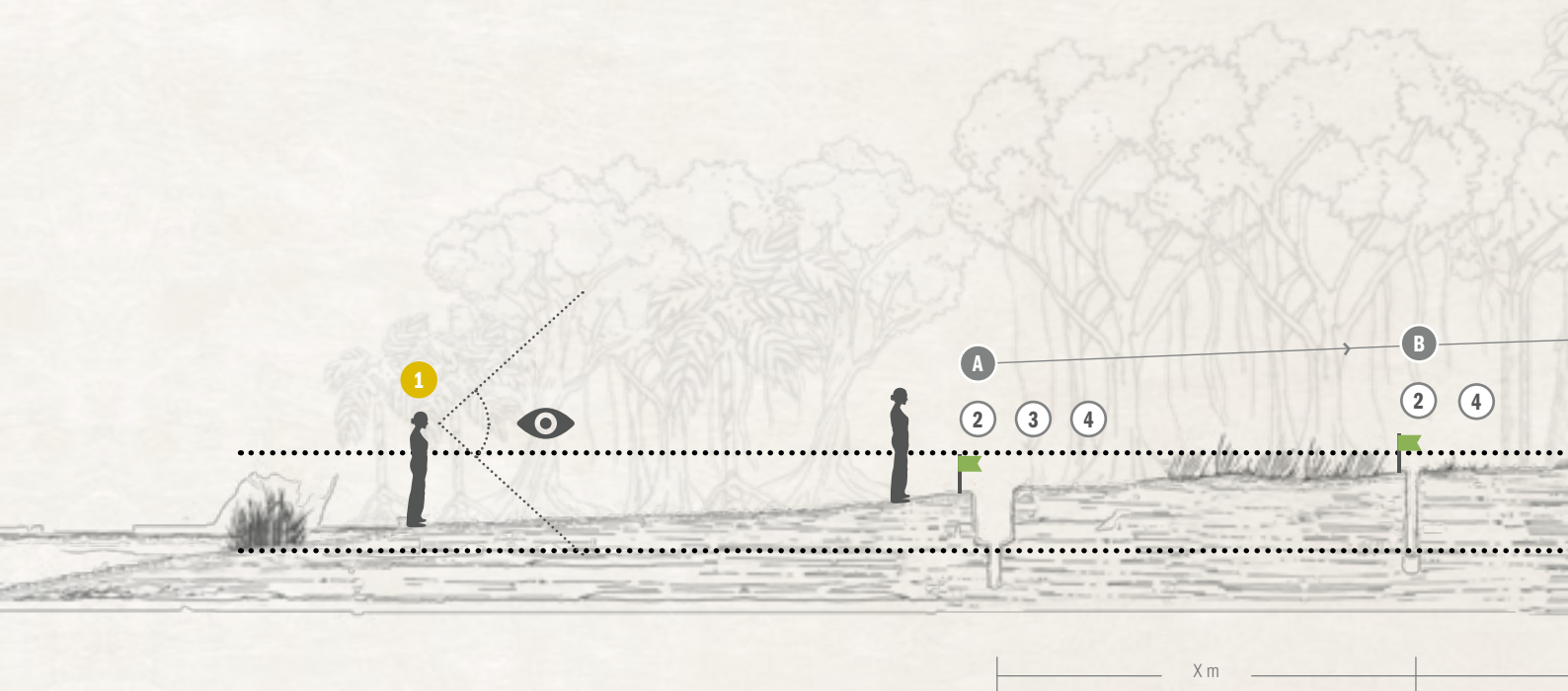
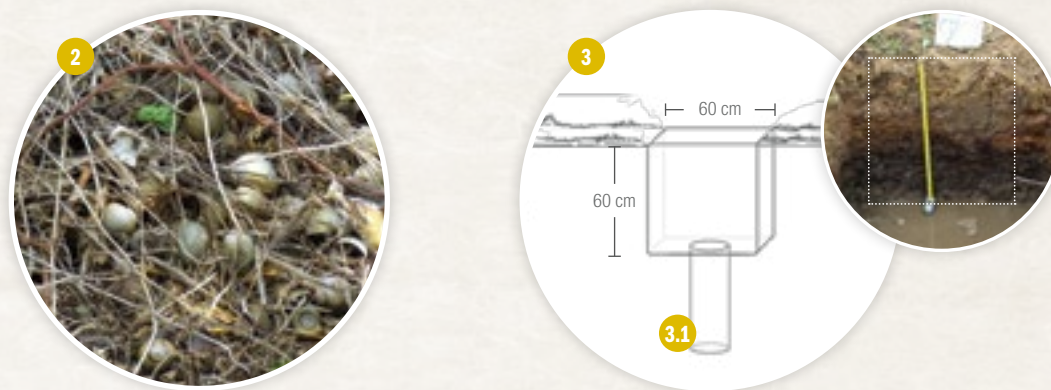



Figura 8.9. Perfil del transecto ideal de suelos en campo. Ejemplo para identificar el límite del humedal en un bosque inundable

El objetivo de este transecto es evaluar los cambios en las características del suelo asociadas a inundación o encharcamiento, y usar estas variaciones como indicadores del ecosistema de humedal. La selección y dirección del transecto se realiza con base en la observación

en campo 1. En la figura los puntos de muestreo son representados por las letras. El punto inicial A se selecciona teniendo en cuenta que es un lugar que tiene evidencia clara de inundación y por lo tanto corresponde a un área de humedal; normalmente no es contiguo a la





2	4
<input type="checkbox"/> Permanencia del agua	<input type="checkbox"/> No. Horizonte
<input type="checkbox"/> Inundación/encharcamiento	<input type="checkbox"/> Espesor
<input type="checkbox"/> Frecuencia	<input type="checkbox"/> Color matriz
<input type="checkbox"/> Duración	<input type="checkbox"/> Rasgos redoximórficos
<input type="checkbox"/> Tipo de lecho	<input type="checkbox"/> Concentraciones
<input type="checkbox"/> Sustrato material	<input type="checkbox"/> Textura
<input type="checkbox"/> Situación climática	<input type="checkbox"/> Estructura
	<input type="checkbox"/> Pruebas (pH, Reduc)

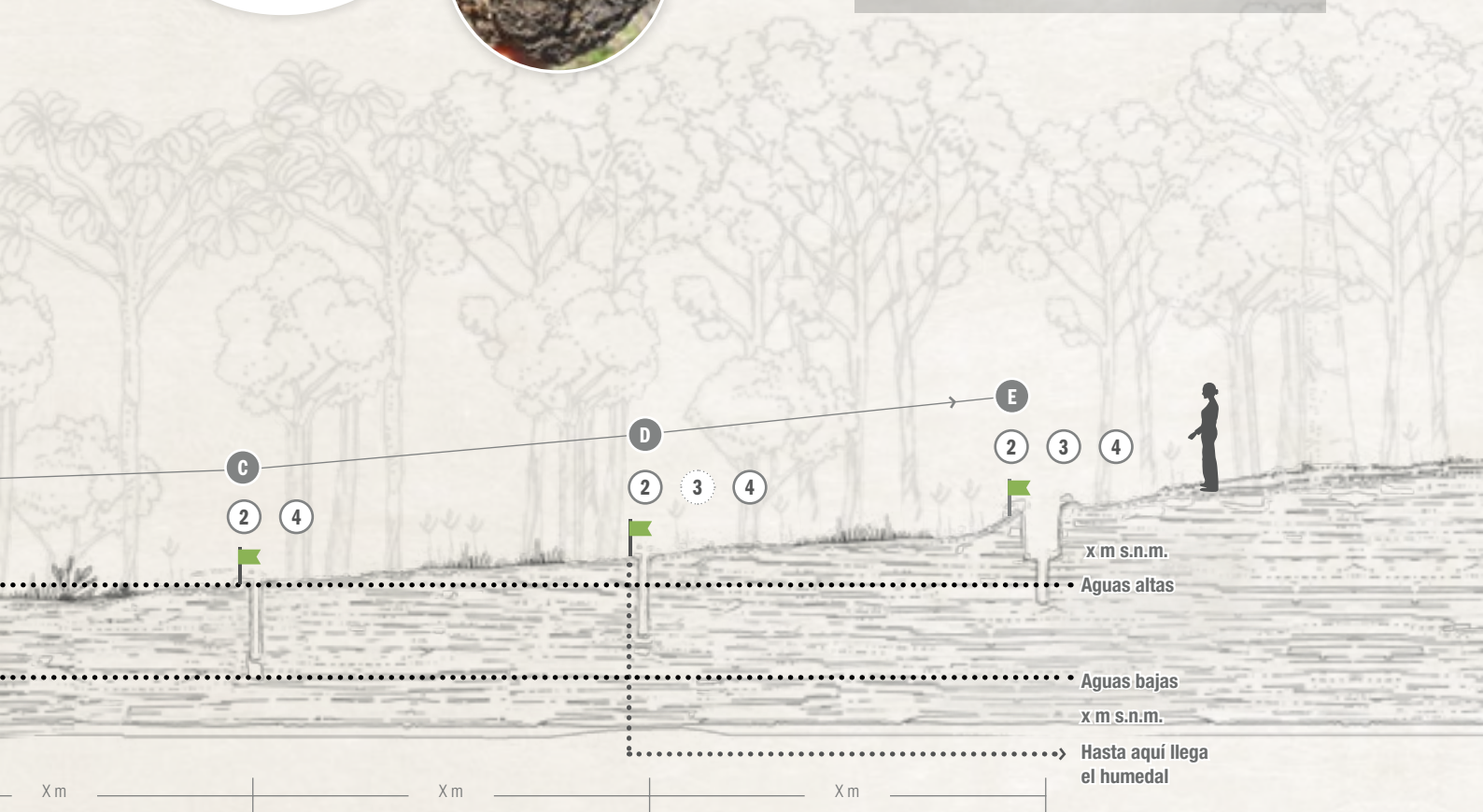


lámina de agua. Las cajas se realizan en el punto inicial y final **A** y **E**.

La distancia entre los puntos de muestreo (X m) es constante y es definida por el investigador teniendo en cuenta variables como la pendiente y la evidencia de humedad. En todos los puntos se

realizan anotaciones de lo observado en campo antes y después de hacer el barrenno **2**, **4**. El transecto finaliza cuando las características del suelo indican que es un ecosistema de tierra firme.



6. Guía para la descripción de suelos (FAO 2009; Schoeneberger *et al.* 2012).

8.3.3. EQUIPO DE TRABAJO

Es importante contar con los elementos adecuados para el registro edáfico en campo. Para ello debemos tener:

- + GPS.
- + Palín o pala.
- + Barreno tipo holandés.
- + Cinta métrica.
- + Tabla de colores Munsell completa (especialmente las que corresponden a los gley) (Anexo 8.1).
- + Cámara fotográfica.
- + Prueba para condiciones de reducción (alfa, alfa-dipiridilo).
- + Manual de campo de suelos⁶ (para quienes no manejan la terminología).
- + Formatos de registro.
- + Agua limpia.

8.3.4. MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

La identificación del área núcleo es primordial al iniciar el trabajo, pues es en este momento donde se deben identificar los suelos presentes en esta área. Si la tipificación arroja resultados negativos es muy difícil que otras zonas del área de estudio puedan apoyar la identificación, caracterización y mucho menos el proceso de delimitación del humedal.

LOS MUESTREOS U OBSERVACIONES PUEDEN SER DE DOS TIPOS

- 1** Detallado: se refiere al uso de una cajuela de 50 x 50 cm y al menos 60 cm de profundidad, más el barreno hasta una profundidad de 1,2 m (Figura 8.10).
- 2** Comprobación: corresponde al uso del barreno casi desde el comienzo hasta una profundidad de 1,2 m (Figura 8.11).

La observación detallada se utiliza al inicio del transecto para poder tener un re-

ferente amplio de la morfología del perfil del suelo, mientras que la observación de comprobación permite hacer el seguimiento a las características del suelo consignadas en la detallada. Por esta razón cada vez que haya cambios, especialmente en el color, el espesor de horizonte o la textura del suelo, se debe realizar una observación detallada.

PASOS A SEGUIR PARA EL MUESTREO DE SUELOS

1 La primera observación se debe realizar, en lo posible, hacia el centro del área núcleo y, salvo que esta corresponda a un humedal con fondo o lecho en sedimentos – cuyo muestreo resulta complejo y diferente de la forma convencional como se realiza –, es necesario realizar una observación detallada (cajuela cuadrada de cincuenta centímetros por sesenta de profundidad). Seguramente, si se trata de una zona saturada, la cajuela puede ser inapropiada, pues su llenado con agua será muy rápido, impidiendo distinguir características y propiedades particulares de los horizontes comprometidos; por eso se sugiere planear el trabajo de campo en una época de aguas bajas.

2 Se deben determinar las características y propiedades de cada uno de los horizontes o capas presentes del suelo, las variables a tener en cuenta son: espesor, composición, color, textura, y estructura, además se deben realizar observaciones en el sitio relacionadas a inundación y/o encharcamiento, drenaje natural y condiciones ácuicas (Anexo 8.2). Esta información puede ser consignada en el formato de campo propuesto (Anexo 8.3).

El proceso de delimitación o trazado del límite del humedal desde el campo de los suelos es integral, puesto que este es un cuerpo cuyos límites presentan gradua-



CHONTADURO, CACHIPAY, PIPIRE, PUPUÑA

Bactris gasipaes

Milenaria palma precolombina apreciada por su alto valor nutricional.

También es usada como material para hacer batanas y marimbas, artesanalmente como tintes, y sus tallos se usan en la construcción.

Foto: Luis Fernando López.



Figura 8.10. Elaboración de la cajuela (observación detallada).
Foto: Oscar Acevedo (2014).



Figura 8.11. Elaboración del barrenaje. Ejemplo de cómo se dispone el material barrenado (observación de comprobación).
Foto: Oscar Acevedo (2014).

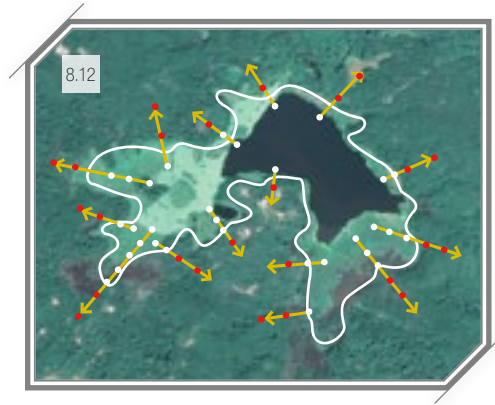
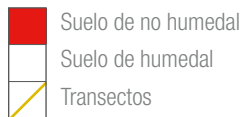
lidad espacial, no siendo tajantes. Su génesis y evolución está circunscrita a los factores formadores (relieve, material parental, clima, organismos y tiempo); por esta razón la delimitación es el producto de la evaluación de características y propiedades del sitio en estudio, lo que incluye aspectos del entorno, de la superficie y de perfil.

Luego de haber definido cada sitio de muestreo en términos de suelo de hume-

dal o no humedal (sección inmediatamente anterior), se procede a establecer la relación entre los resultados y los elementos de su entorno espacial que los explican. Cuando no se tiene experticia, se deben realizar muchos transectos y varias observaciones, lo cual disminuye la necesidad de hacer la relación antes planteada, pero cuando se quiere tener un dominio en el tema y además se quiere reducir trabajo y por consiguiente



Figura 8.12. Límite del área del humedal construido a partir de observaciones de suelos. La línea blanca corresponde al límite, los puntos rojos son suelos de no humedal, los puntos blancos son suelos de humedal, y las flechas amarillas son los transectos del levantamiento de suelos. Foto: Oscar Acevedo (2014).



tiempo y costos, es necesario que se haga esta relación y su correlación; esto resulta especialmente necesario en áreas de estudio muy grandes.

Cuando se requiere delimitar áreas muy extensas debe llevarse esta relación y correlación a imágenes de satélite, donde se identifiquen los elementos conducentes a la clasificación del suelo de humedal y así poder extrapolar estos resultados a los sitios no visitados. No obstante, no se puede pretender que la calidad de la línea límite tenga el mismo detalle del trabajo de campo.

Una vez procesadas todas las observaciones de suelos, en términos de si son o no de humedal, se procede a mapear cada una de ellas sobre la cartografía o fotografía aérea utilizada para definir el muestreo en la fase inicial. Con ello se puede identificar, a lo largo de cada transecto, hasta dónde hay suelos de humedal y en dónde

inicia el cambio en el suelo (suelo de no humedal). Luego de mapearlos todos, se deben unir los puntos o sitios de muestreo donde se presentó el último suelo de humedal (Figura 8.12). Para mejorar la línea es importante, como se mencionó con anterioridad, tratar de identificar la relación que puede existir entre los sitios con suelo de humedal o no, el relieve o topografía, las tonalidades de la fotografía o cualquier otro patrón que nos permita depurar la línea delimitadora. En la figura 8.12 se puede observar cómo en algunos casos la línea no va exactamente por el último punto identificado.

8.4. FASE DE ANÁLISIS

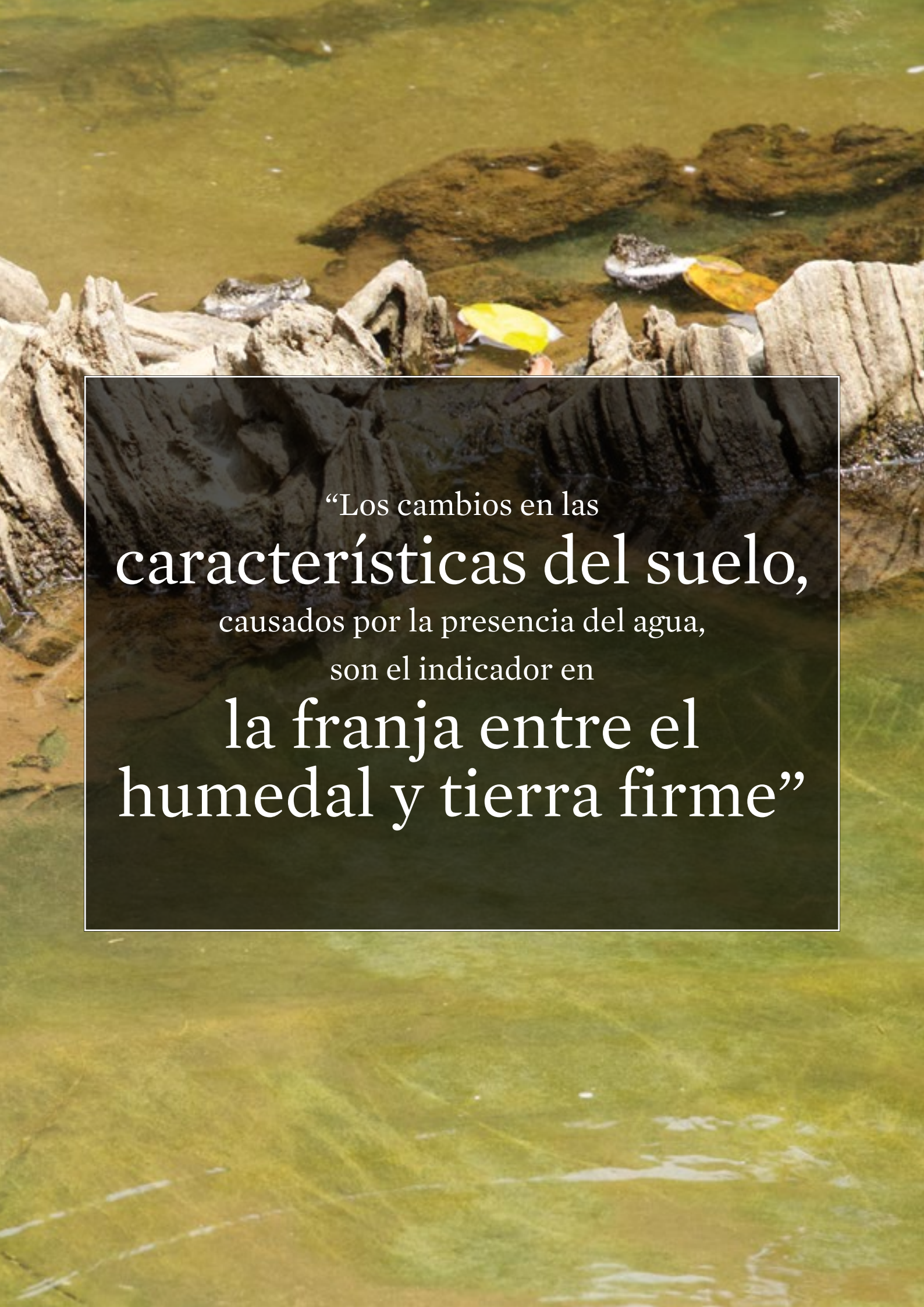
Una vez levantada o recopilada la información de acuerdo con los procedimientos vistos anteriormente, se identifica si el sitio estudiado pertenece a un humedal. Con este fin se diseñaron las siguientes claves (Figura 8.13) que permiten la caracterización del tipo de lecho o fondo y del tipo de materiales y suelo desarrollado en el área de estudio.

Las siguientes dos claves tienen un enfoque desde las características del lecho (propiedades hidrológicas y materiales presentes) y desde el suelo como indicador (tipo de suelos, indicadores del suelo y rasgos del paisaje).



C. Ganado en las ciénagas de Lórica, Córdoba. Foto: María Isabel Henao.





“Los cambios en las
características del suelo,
causados por la presencia del agua,
son el indicador en
**la franja entre el
humedal y tierra firme”**

**CLAVE PARA LA CARACTERIZACIÓN
Y DELIMITACIÓN DE HUMEDALES
DESDE LA EDAFOLOGÍA**

Utilizando las características del lecho

Según las propiedades hidrológicas y materiales presentes

1 ¿Se presenta agua de forma permanente?

SÍ

NO

2 ¿Qué tipo de material ocupa el lecho?

Material consolidado (roca)

Es un humedal con lecho rocoso

3 ¿De qué tipo es el material presente en el lecho?

No consolidado

Suelo

4 ¿El tipo de material no consolidado es?

Cascajos (cantos rodados), gravas, arenas, sedimentos limosos o arcillosos

Es un humedal con lecho en sustrato mineral

Orgánico

5

Utilizando el suelo como indicador

Según el tipo de suelo

¿Se encuentran una o varias capas de material límnico, folístico, etc., en el fondo, sumergidas o saturadas de agua (en su totalidad o parcialmente) dentro de los primeros 60 cm?

SÍ

NO

Es un humedal con lecho en sustrato orgánico



Acevedo, O. 2015. Informe técnico: Propuesta metodológica para la identificación y caracterización de suelos hidromórficos de humedales a escala 1:25.000, como soporte para la identificación, caracterización y delineación de humedales. Contrato No.15-033PS de 2015. Proyecto Insumos Técnicos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: páramos y humedales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia.

Facultad de Ingeniería. 2005. Constitución de los suelos, composición de los suelos y morfología de los suelos. Capítulos 6, 7 y 8. Universidad de Uruguay. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/Capitulo1.pdf>

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. 4ª edición. (R. Vargas Rojas, trad.). FAO. Roma.

FAO. (6 de 06 de 2010). Métodos sencillos para la acuicultura, 2. Obtenido de Colección FAO capacitación. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm


Field Test for Ferrous Iron and Ferric-Organic Complexes (on Exchange Sites or in Water-Soluble Forms) in Soils. 1981. Austr.

Gosselink, J. G. y Mitsch, W. J. 2000. Wetlands. 3ª edición. Wiley John and Sons, Inc. New York.

Moreno, C. E., M. C. Gutiérrez-C., A. Guerrero-P., C. A. Ortiz-S. y D. J. Palma-López. 2004. Micromorfología en la clasificación de histosoles en humedales de Tabasco, México. Terra Latinoamericana 22(2):153-160. ISSN: 0187-5779.

Ovalles, F. A. 2003. El color del suelo: definiciones e interpretación. CENIAP Hoy (3). Maracay, Aragua, Venezuela.

Schoeneberger, P., D. Wysocki, E. Benham y S. S. Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils. 3ª edición. National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, NE.



Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. Washington.

Soil Survey Staff. 1994. National Soil Survey Handbook. USDA Soil Conservation Service. Washington, D. C.

Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA Natural Resources Conservation Service, Agric. Hdbk. 436, U.S. Government Printing Office. Washington, D. C.

Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil taxonomy. 10^a edición. (S. S. Staff, ed.; C. A. Ortiz-Solorio y M. D. Gutiérrez-Castorena, trads.). Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.

Soil Survey Staff. 2010. Claves para la taxonomía de suelos. 11^a edición. (U. S. Agriculture, N. R. Service, eds.; C. A. Ortiz-Solorio, M. Gutiérrez-Castorena y E. V. Gutiérrez-Castorena, trads.). USDA, NRCS. Washington, D. C., Estados Unidos de América.

USDA, NRCS. 2010. Field indicators of hydric soils in the United States, Version 7.0. N. i. (L. M. Vasilas, G. W. Hurt y C. V. Noble, eds.). Washington, D. C.

USDA, NRCS. (s.f.). Hydric soils – Introduction. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/hydric/?cid=nrcs142p2_053961



ANEXOS

ANEXO 8.1

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL SUELO I

EL COLOR DEL SUELO

El color es una propiedad importante en el suelo que permite inferir o estimar procesos pedogenéticos que se suceden en este (Ovalles 2003). La estandarización del color se hace a través del trabajo realizado por Munsell y se expresa en la tabla de colores para suelos que lleva su nombre.

Los colores que tienen una fuerte correlación con las condiciones ácuicas y en especial con los rasgos redoximórficos (procesos redoximórficos) de los suelos están localizados en las páginas llamadas Gley 1 y Gley 2 de la tabla. Sin embargo, la expresión del hidromorfismo no se puede circunscribir exclusivamente a estas dos páginas de colores; por lo general, los que presentan alta correlación con la gleyzación o el hidromorfismo se encuentran en las páginas de colores 2.5Y, 5Y, 10Y, y 5GY. No obstante, existen algunas excepciones de su localización en otras páginas, pues pueden estar ubicados en la zona con Value mayor o igual 4 y Chroma menor o igual a 2.



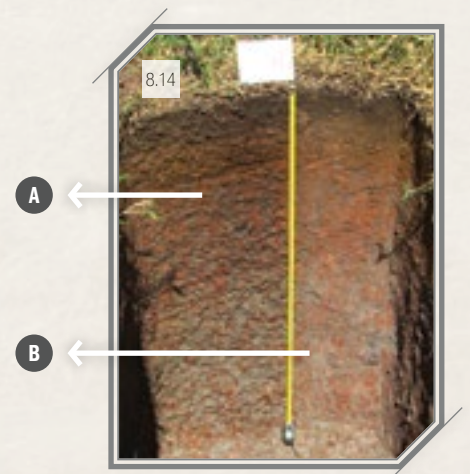
Figura 8.14. Perfil de suelo y detalle de las zonas de concentración y empobrecimiento redoximórfico.

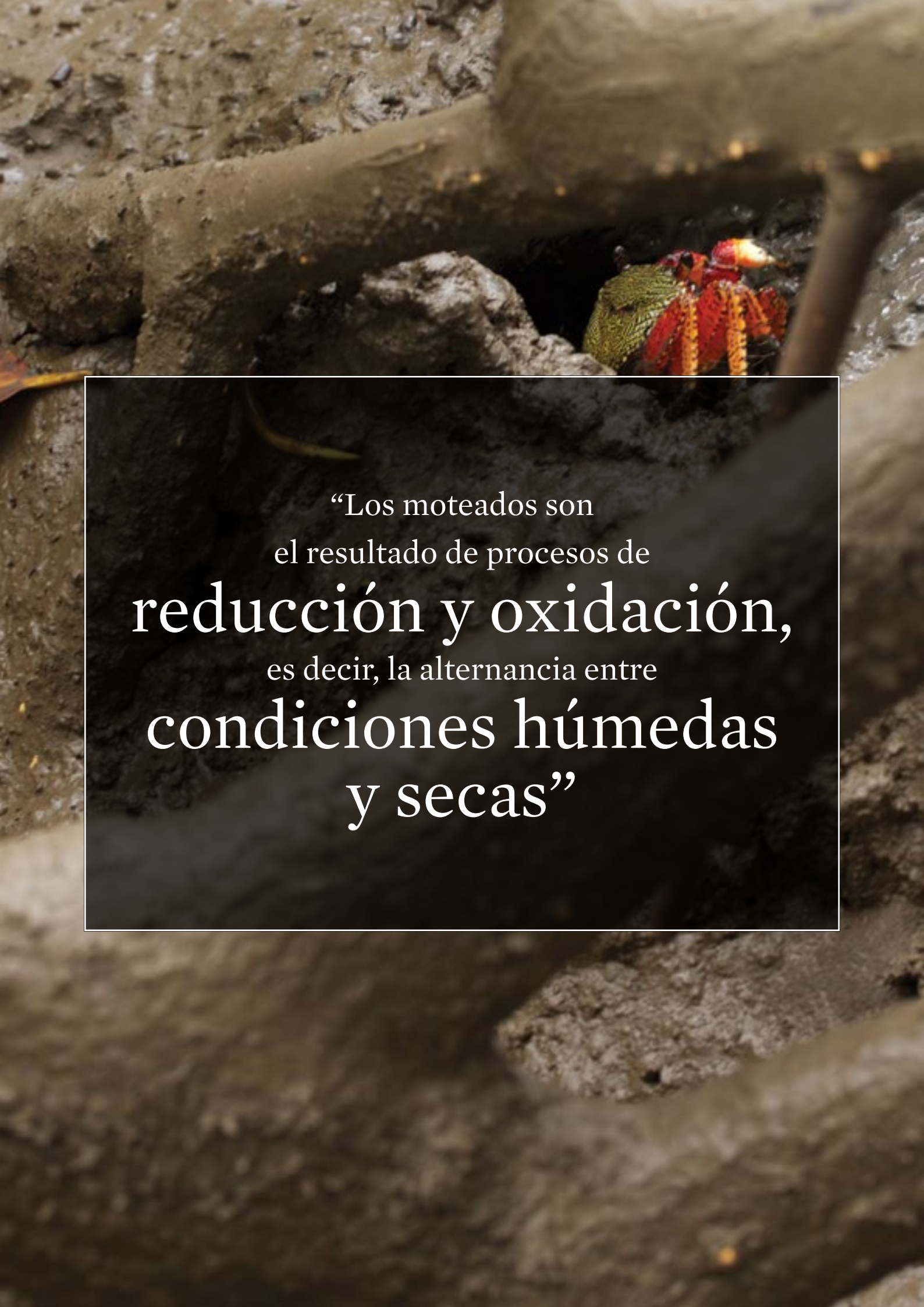
- A** Concentración (Rojo).
 - B** Empobrecimiento (Gris) 5YR7/1.
- Foto: Fototeca IGAC (2013).

MOTEADOS

Los moteados son manchas de diferentes colores o sombras de color inmersas dentro de la matriz del suelo (o color dominante). Indican que este fue sujeto a condiciones de alternancia entre húmedo (reducción) y seco (oxidación). El moteado se describe en términos de abundancia, tamaño, contraste, límite y color; también en la forma, posición y cualquier otro rasgo (FAO 2009). La mayor parte de los moteados son de tipo litocrómico.

El color del moteado orienta sobre el elemento que fue reducido. En el caso del manganeso (Mn^{+2}) se presenta un color negro; para el hierro (Fe^{+2}), color pardo; y para el hierro (Fe^{+3}), amarillo (Figura 8.14). Cuando este presenta un halo sobre el borde o su definición es difusa (no se ve el borde claramente), es una evidencia de la presencia más constante de ambiente hidromórfico o de períodos secos más cortos.





“Los moteados son
el resultado de procesos de
reducción y oxidación,
es decir, la alternancia entre
**condiciones húmedas
y secas”**

ANEXO 8.2

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL SUELO II

ESPESOR DEL HORIZONTE Y COMPOSICIÓN

Se establece al detectar el límite inferior (profundidad) de cada horizonte o capa presente en el suelo (Figura 8.15 A yB); así mismo, al determinar la composición del material que le ha dado origen, ya sea orgánico, *in situ* o transportado, o depositado (sedimentos de limos o arcillas, cenizas volcánicas, cantos o gravas, etc.). Las características de color del suelo fueron explicadas en el anexo anterior.

TEXTURA

La textura es la proporción de los porcentajes en peso de las fracciones arena, limo y arcilla, las cuales tienen un tamaño menor a dos milímetros. La combinación de tales proporciones es muy amplia, por lo que se consideran clases, grupos y familias texturales (Tabla 8.1). En la escala 1:25.000 es conveniente identificar las texturas a nivel de familia; sin embargo, para este estudio resulta suficiente expresarlas en clases y entender sus connotaciones.

Con frecuencia, las texturas involucradas en los suelos con hidromorfismo corresponden a las relacionadas con la fracción de arcilla. Sin embargo, esto no excluye a las fracciones restantes.



Tabla 8.1. Familias, grupos y clases texturales.

FAMILIA	GRUPOS	CLASES
Muy fina	Muy finos	Arcillosa muy fina (>60%)
Fina	Finos	Arcillosa, arcilloarenosa, arcillolimsa
Franca fina	Moderadamente finos	Francoarcillosa, francoarcilloarenosa, Francoarcillolimsa, franca, francolimsa
Limsa fina	Medios	Francoarcillolimsa (<35% de arcilla y <15% de arena), francolimsa (>18% de arcilla y <15% de arena)
Franca gruesa Limsa gruesa	Moderadamente gruesos	Franca, francoarenosa, francolimsa (<18% de arcilla y <15% de arena), limsa
Arenosa	Gruesos	Arenosa, arenosa franca
Esquelética	Muy grueso	Fragmentos de roca entre 35-90%
Fragmental	Extremadamente grueso	Fragmentos de roca >90%

Los códigos empleados para representar las clases son: Arcillosa (Ar), Franca (F), Limsa (L), Arenosa (A) y Arcillosa muy fina (ArmF).



8.15.A



8.15.B

ESTRUCTURA

Se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando esto sucede, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados (FAO 2010), lo que equivale a terrones.

Existen varias formas de agrupación de estas partículas, catalogadas en la tabla 8.2, mientras que el tamaño de los agregados o clase se encuentra en la tabla 8.3 y lo correspondiente al grado de desarrollo (agregados diferenciables o distinguibles, bien formados) en la tabla 8.4.



Tabla 8.2. Tipo de estructura y su código. El color gris indica las clases o atributos relacionados indirectamente con suelos de humedal.

Fuente: IGAC (2010).

TIPO	CÓDIGO
Granular	GR
Blocosa angular	BA
Blocosa subangular	BS
Laminar	LA
Prismática	PR
Columnar	CO
Cuneiforme	CU



Figura 8.15. A y B Perfiles de suelos con los límites inferiores de los horizontes (IGAC 2014). Foto: Fototeca IGAC (2013).



Tabla 8.3. Clase de tamaño de la estructura y su código.
Fuente: IGAC (2010).

CLASE	CÓDIGO
Muy fina	1
Fina	2
Muy fina y fina	3
Media	4
Fina y media	5
Gruesa	6
Media y gruesa	7
Muy gruesa	8



Tabla 8.4. Grado de desarrollo de la estructura y su código.
Fuente: IGAC (2010).

GRADO	CÓDIGO
Muy débil	MD
Débil	D
Moderada	M
Fuerte	F
Muy fuerte	MF



Tabla 8.5. Frecuencia o período de retorno de las inundaciones y/o encharcamientos en los suelos. El color gris indica las clases o atributos involucrados de forma directa o aquellas con menor relación.
Fuente: IGAC (2010).

CLASE	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Rara	Una cada diez o más años	R
Ocasional	Una cada dos a cinco años	O
Frecuente	Una a dos por año	F
Muy frecuente	Más de dos por año	M

INUNDACIÓN Y/O ENCHARCAMIENTO

La inundación es el área ocupada por el agua que fluye cuando un río, quebrada, arroyo, ciénaga, etc., se desborda más allá de la línea de aguas medias o hacia la zona que habitualmente está seca. En la inundación el agua presenta movimiento horizontal; de lo contrario, es adecuado llamarlo encharcamiento.

El encharcamiento es la condición o situación en la que el agua de cualquier origen de ocurrencia (pluvial, fluvial, mareal) se concentra en un terreno plano-cóncavo o depresión cerrada acumulándose sin posibilidad de flujo horizontal durante un periodo de tiempo determinado (Soil Survey Division Staff 1993).

Para identificar la condición de inundación o encharcamiento se utiliza la frecuencia y la duración. Tanto la frecuencia (frecuente y muy frecuente, tabla 8.5) como la duración (larga, muy larga y extremadamente larga, tabla 8.6) son características que inciden directamente en el hidromorfismo y la gleyzación.



Tabla 8.6. Duración de las inundaciones y/o encharcamientos. El color gris indica las clases o atributos involucrados de forma directa.

Fuente: IGAC (2010).

CLASE	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Extremadamente corta	Menor de un día	1
Muy corta	De uno a dos días	2
Corta	De dos a siete días	3
Larga	De siete a treinta días	4
Muy larga	De treinta a noventa días	5
Extremadamente larga	De noventa a ciento ochenta días	6

DRENAJE NATURAL

En un sentido dinámico o activo, se entiende que drenaje natural del suelo es la rapidez y el grado con que el agua es removida en relación con adiciones, especialmente por escurrimiento superficial y por el movimiento de las aguas a través del suelo hacia los espacios subterráneos o laterales. Las clases de drenaje y su código se presentan respectivamente en la tabla 8.7.

El drenaje como aporte a la condición ácida del suelo se refiere a la frecuencia y duración de períodos durante los cuales este está saturado total o parcialmente. Las clases de drenaje que se encuentran involucradas en los procesos de hidromorfismo y gleyzación son subacuosa, muy pobre y pobre; la clase imperfecta es de especial cuidado porque si bien ocasiona hidromorfismo, este no presenta los estadios más avanzados que conducen al proceso de gleyzación.



Tabla 8.7. Clases de drenaje y su código. El color gris claro indica las clases o atributos involucrados de forma directa, y el color gris oscuro, aquellas con menor relación.

Fuente: IGAC (2010).

CLASE	CÓDIGO
Subacuosa	SA
Muy pobre	MP
Pobre	PD
Imperfecta	ID
Moderadamente bien	MB
Bien (bueno)	BD
Moderadamente excesiva	ME
Excesiva	ED

CONDICIONES ÁCUICAS

Los suelos con condiciones ácuicas (*L. aqua*, agua) son aquellos que actualmente presentan una saturación de agua y reducción continua o periódica. La presencia de tales condiciones es indicada por rasgos redoximórficos (excepto en los histosols e histels) y pueden verificarse por la medición de la saturación y la reducción (excepto en suelos drenados artificialmente) (Soil Survey Staff 2010).

Los elementos de las condiciones ácuicas son: saturación, grado de reducción y rasgos redoximórficos. Se identifican de la siguiente manera:

1 Saturación: caracterizada por una presión de cero o positiva en el agua del suelo, puede ser determinada, en general, observando el llenado por el agua libre de un hoyo barrenado o cajuela, donde el agua fluye de los agregados hacia el hoyo. Es importante notar que esta agua salga de dentro de los agregados (la matriz) y no del espacio libre entre las caras. En los suelos arcillosos es difícil observar tal situación dado que la conductividad es muy baja en la textura arcillosa, arcillolimosa, arcilloarenosa, francoarcillolimosa y francoarcillosa.

La saturación está definida en dos tipos: endosaturación y episaturación; también se identifica la saturación ántrica, que resulta en una variante de la episaturación. En términos generales, la endosaturación corresponde a todas las capas del suelo saturadas a partir de la profundidad más somera desde donde se encuentre hasta los 2 m, mientras que la episaturación se refiere a una o más capas saturadas con capas intermedias sin saturar dentro de los 2 m. Se indica que la endosaturación está más relacionada con el ingreso del agua (transmisividad) desde el subsuelo y áreas vecinas, y la episaturación, con el ingreso de agua desde la superficie del suelo.

2 Grado de reducción: se puede obtener por la medición directa de los potenciales de óxido-reducción con un medidor ORP. Los valores en los suelos pueden variar entre 700 y -300 mV, siendo el primero de un ambiente de oxidación y el segundo de reducción; el límite considerado entre los ambientes aeróbico y anaeróbico es de 200 mV, y un valor de -250 mV es considerado como de fuerte condición reductora.

Otra forma de obtener datos es con una prueba de campo conocida como test de Childs (1981), cuyo principal compuesto es el alfa, alfa-dipiridilneutral, con acetato de amonio 1N. En esta, se toma una muestra (agregados) fresca de suelo saturada en condiciones de campo, se quiebra y sobre una de las superficies recientemente expuesta al aire se le aplica la solución reactiva: si surge un color rojo intenso sobre la superficie, indica que hay presencia de iones de hierro reducidos. Dicha reacción positiva es suficiente para confirmar la presencia de hierro ferroso (reducido) y la condición de reducción. Esta prueba es muy conveniente en especial cuando la expresión de la reducción por los colores se encuentra ausente o enmascarada, como puede suceder en suelos de colores muy oscuros.

Las lecturas, ya sea con el equipo o con la prueba de campo, deben realizarse inmediatamente después de exponer el interior del agregado al aire porque se pueden alterar mucho al entrar en contacto con este elemento.

3 Rasgos redoximórficos: la presencia de rasgos ocurre por alternancia de períodos húmedos y secos. El húmedo genera reducción, y el seco, oxidación, afectando los compuestos de hierro y manganeso. Cuando los iones de estos se encuentran reducidos, son muy móviles y pueden ser transporta-

dos por el agua, produciendo patrones redox característicos. Estos patrones corresponden a los rasgos redoximórficos que se explican a continuación.

- a. Concentraciones redox. Son zonas de acumulación aparente de óxidos de Fe-Mn que incluyen:
 - i. Nódulos y concreciones: cuerpos cementados que pueden removerse del suelo de forma intacta. La concreción se forma por capas concéntricas superpuestas y observables a simple vista. Pueden tener un límite difuso o abrupto (5).
 - ii. Masas: concentraciones de sustancias no cementadas en la matriz (Figura 8.16).
 - iii. Revestimientos de poros: zonas de acumulación a lo largo del poro que revisten su superficie o impregnan la matriz adyacente al mismo. También se puede presentar acumulación de hierro reducido en las raíces (figuras 8.17 y 8.18).
- b. Empobrecimientos redox: zonas de bajo chroma (chromas menores a los de la matriz), donde los óxidos de Fe-Mn solos o en combinación con la arcilla han sido eliminados, incluyendo:
 - i. Empobrecimientos de hierro. Zonas con bajos contenidos de chromas, donde los óxidos de Fe-Mn solos o en combinación han sido eliminados, pero la arcilla se mantiene en porcentajes similares en ambas áreas (Figura 8.19).
 - ii. Empobrecimientos de arcilla. Zonas con bajas cantidades de arcilla, Fe y Mn.
- c. Matriz reducida: corresponde a algunos suelos cuyo valor chroma de la matriz es muy bajo al exponerlo al aire y que, durante los primeros 30 minutos, reaccionan cambiando en el *hue* o en el *chroma*.
- d. Suelos sin rasgos redoximórficos visibles: en este tipo de situaciones resulta suficiente con la reacción a la prueba de campo del alfa, alfa-dipiridil.



Figura 8.16. Se destacan las masas en color 10B5/0.
Foto: Oscar Acevedo-IGAC (2008).



PARTE III

Tras las huellas del agua



Figura 8.17. Revestimiento (concentración) de hierro reducido sobre las raíces del suelo.
Foto: Oscar Acevedo (2008).



Figura 8.18. Matriz reducida con revestimientos de óxidos de hierro sobre las caras de los agregados.
Fuente: IGAC (2014).
Foto: Fototeca IGAC (2013).



Figura 8.19. Empobrecimientos de hierro.
Foto: IGAC (2014).



FORMATO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL LÍMITE DEL HUMEDAL

Nº DE IDENTIFICACIÓN

FECHA

AA

MM

DD

PERMANENCIA DEL AGUA

	Frecuencia	Duración		
Inundación				
Encharcamiento				
Tipo de lecho	Sustrato	Material 1	Material 2	Situación climática

Horizonte	Espesor	Color matriz / redox					Concentraciones	Textura	Estructura			Pruebas	
		**	Hue	Value	Chrom	%			Tipo	Clase	Grado	Reduc*	pH
1		M											
		R											
		O											
2		M											
		R											
		O											
3		M											
		R											
		O											
4		M											
		R											
		O											
5		M											
		R											
		O											
6		M											
		R											
		O											

Drenaje natural

Geoforma asociada

Evidencias en superficie

Nota

* La prueba apropiada es el alfa,alfa-dipiridil; también sirve el uso de un medidor de óxido-reducción (ORP).

** La letra M denota la matriz, la letra O denota áreas con oxidación (manchas, etc.) y la letra R denota empobrecimiento o zonas con reducción.

ANEXO 8.4.

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DE LOS SUELOS DE HUMEDAL (IMÁGENES)

En este anexo fotográfico se presentan algunos rasgos particulares que pueden presentar los suelos anegados o inundados.



Figura 8.20. Suelo de humedal.
Foto: IGAC (2014).

Los llamados suelos sulfato ácidos tienen como característica especial su ultraacidez, con pH inferior a 4. Los suelos en esta condición presentan diferentes estados físico-químicos del ion sulfato y del hierro que, como se observa en la Figura 8.21, suelen acumularse en el suelo o producir chorreaduras sobre las caras de los terrones presentes en este.

Otra evolución particular o extrema es el movimiento vertical en el suelo de la materia orgánica, el manganeso, el hierro y el aluminio. Este movimiento genera, entre otros, la pérdida de color en el horizonte eluvial y oscurecimiento o ganancia en el horizonte que recibe este material (Figura 8.20).

En los deltas, la interacción de los flujos tanto fluvial como marino genera áreas muy ricas en nutrientes que son altamente intervenidas por el hombre para el desarrollo de cultivos como el maíz, en este caso, a costa del ecosistema estratégico de humedal. Los cambios diarios en el nivel del río generan acumulaciones de diversos materiales (arenas, limos, arcillas y/o materiales orgánicos), produciendo una gama contrastante de colores en el perfil del suelo (Figura 8.22) e inundando diariamente unos pocos centímetros la superficie de este.



Figura 8.21. Detalle de un suelo de humedal sulfatoácido localizado en el departamento de Córdoba. Se destaca el color amarillo de los cristales de pirita.
Foto: Oscar Acevedo (2008).



Figura 8.22.

A: paisaje de humedal localizado en Tinajones, desembocadura del río Sinú, sometido a inundaciones diarias por ascenso de marea y altamente alterado por uso en cultivos de maíz.

B: cajuela.

C: barrenaje del suelo de este humedal (Typic Endoaquents).

Fuente: Oscar Acevedo (2008).



CAPÍTULO 9.

Vegetación de humedal

Adriana Prieto Cruz
Juan Carlos Arias García
Agustín Rudas Lleras

Establecer el límite de los humedales es un desafío, dado que además de servir para definir su alcance espacial también debe garantizar su funcionalidad, los servicios socioecosistémicos que brindan y la conservación de las especies asociadas. En muchos humedales los límites no son fijos ni están claramente definidos. Un humedal de alta montaña, por ejemplo, ubicado en una zona rodeada por fuertes pendientes de terreno rocoso, tiene muy bien definido su límite, y la zona de transición entre la fase acuática y la terrestre es de escasa longitud; sin embargo, este no es el caso más común. Casi siempre se presenta un ecotono o zona transicional entre el ambiente acuático y la zona de tierra firme que varía gradualmente en sus características hidrológicas, de suelo y de vegetación, y que puede cubrir hasta varios kilómetros en el caso de los bosques inundables de la Amazonia o las sabanas inundables de la Orinoquia. Los cambios a lo largo de este ecotono son controlados naturalmente por gradientes topográficos (la forma del terreno) e hidrológicos (hasta dónde y cada cuánto llega el nivel de inundación).

terizar el ecotono entre el humedal y la zona terrestre, y establecer sus límites, se debe evaluar desde la zona que cuenta con características evidentemente hídricas (el borde del espejo del agua) hasta el área de tierra firme, de tal forma que se pueda revisar y evidenciar la dinámica de la vegetación asociada conjuntamente a las características del suelo.



OBSERVACIÓN

Los binoculares son uno de los elementos más usados en la observación de aves. La protección del hábitat de este grupo de vertebrados ha sido uno de los emblemas en la conservación de ecosistemas de humedal.

Foto: Luis Fernando López.



La presencia de plantas en un humedal depende de su tolerancia al agua y de las adaptaciones para el crecimiento y para sobrevivir a la inundación o a condiciones anóxicas (baja concentración de oxígeno) causadas por saturación hídrica en el suelo. Algunas características adaptativas pueden estar presentes en la vegetación, como por ejemplo la predominancia de neumatóforos (raíces que salen del agua para la captación de oxígeno), cortezas corchosas, raíces tabulares, entre otras, que sirven para establecer grupos de plantas de acuerdo con su resistencia a las inundaciones o su dependencia del agua.

9.1. MARCO DE REFERENCIA

En países como Estados Unidos, Australia o Canadá se han establecido categorías de acuerdo con la capacidad o necesidad de una planta de vivir en condiciones de humedad (Environmental Laboratory 1987); estas clasificaciones son la base para caracterizar humedales y establecer sus límites (Tiner 1993). En Colombia, la identificación de los requerimientos hidrológicos de las plantas aún no se ha desarrollado a nivel de especie pues los trabajos realizados para caracterizar los

humedales son muy generales, lo que se suma a la alta diversidad nacional de estos ecosistemas. En este sentido, los esfuerzos deberían enfocarse en caracterizar y definir las comunidades vegetales además de establecer grupos funcionales de plantas asociados a la zona transicional. La identificación de vegetación hidrófila es quizás el método más apropiado teniendo en cuenta que la clasificación a nivel de especie tiene limitaciones debido a las grandes amplitudes ecológicas y a una plasticidad expresada mediante distintas formas, fenotipos o ecofases a lo largo del ciclo hidrológico, lo que les permite a las plantas completar su ciclo vital en ambientes con inundaciones y sequías alternantes.

De acuerdo con Cirujano *et al.* (2011), se presentan tres clases de vegetación de acuerdo a sus características hidrófilas que permiten establecer su tipo de forma de vida. Adicionalmente, se incluye una cuarta clase de plantas de tierra firme:

- a. Hidrófitos o macrófitos acuáticos en sentido estricto: aquellas plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas sumergidas o flotantes. Se incluyen en este grupo plantas vasculares, algunos géneros de briófitos y las algas carófitas y filamentosas. Se encuentran enraizadas al sustrato o flotan libremente en el agua. Ejemplos: espigas de agua (todas las especies de *Potamogeton*), miriofilo (*Myriophyllum*

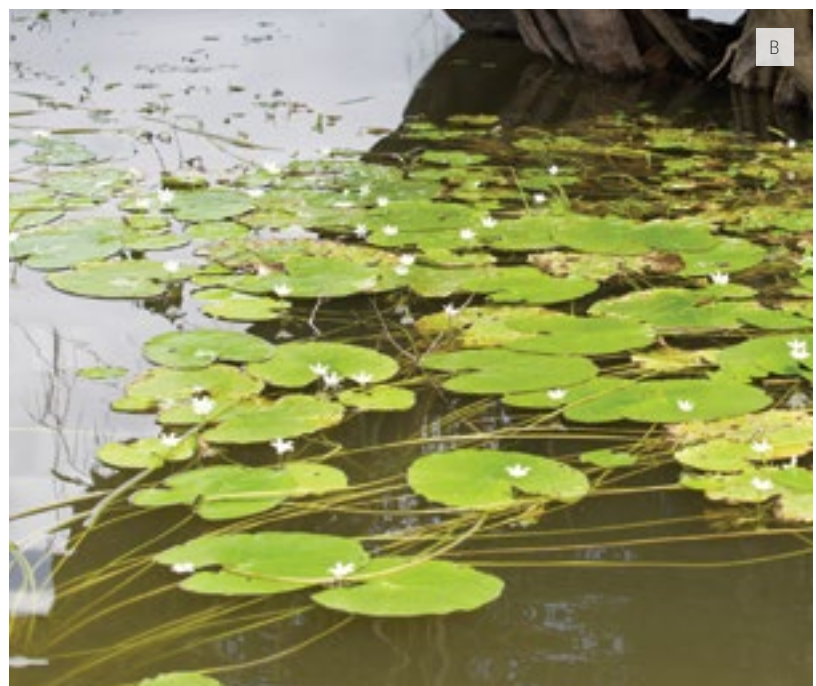


A. Buchón de agua, Charca de Guarinocito, Caldas.

Foto: Luis Fernando López.

B. Vegetación acuática, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.





spp.), jopozorra (*Ceratophyllum* spp.), buchón (*Eichonia crassipes*), nenúfares (*Nymphaea* spp.), etc.

- b. Helófitos: plantas acuáticas de lugares encharcados con la mayor parte de su aparato vegetativo (hojas, tallos y flores) emergente. Se localizan en los bordes de las lagunas, charcas y zonas inundables no muy profundas. Suelen presentar un sistema de rizomas que permite la expansión subterránea de los individuos que pueden colonizar rápidamente las áreas donde viven. Ejemplos: enea (*Typha* sp.), junco de laguna (*Schoenoplectus* spp.), etc.
- c. Higrófitos o plantas de borde: son las que se sitúan sobre suelos húmedos en los bordes de los humedales, y suelen acompañar a los helófitos. Ejemplos: *Coccoloba acuminata*, *C. obtusifolia*, *Croton argenteus*, *Paspalidium geminatum*, *Paspalum repens*, etc.
- d. Terrestres obligadas o de tierra firme: no soportan estados de sa-



turación de agua en los suelos. Ejemplos: *Machaerium arboreum*, *Hymenaea courbaril*, etc.

Un camino alternativo para la identificación de especies con cualidades hidrófitas es tomar como referencia la presencia de comunidades vegetales asociadas a las zonas transicionales de los humedales y observar cómo la expresión de las especies de la comunidad vegetal cambia gradualmente a medida que se aleja del humedal, al tiempo que desaparecen características adaptativas a condiciones hídricas, que bien pueden indicar el establecimiento del límite. Dicho límite necesariamente debe ser definido de manera integral con la hidrología y los suelos (Tiner 1993, MDDEP y CRE 2009), dado que



aunque la hidrología original del humedal puede haber sido alterada (por ejemplo por la construcción de canales de drenaje, porque se ha modificado su vegetación original o porque los suelos han sido removidos para el establecimiento de cultivos), es decir, su funcionalidad ecológica haya cambiado, siguen siendo humedales. De esta manera cada aproximación puede presentar limitaciones pero aporta elementos valiosos que al integrarlos pueden establecerse adecuadamente para la delimitación de este ecosistema.

9.2. FASE INICIAL

Los diferentes tipos de humedales que existen en Colombia como manglares, pantanos, bosques anegados, ciénagas, lagos, turberas y ciénagas, entre muchos otros humedales naturales, y embalses y arrozales, entre los artificiales (Naranjo 1998), incluyen una amplia variedad de ambientes. Esta condición supone que el diseño metodológico debe adaptarse específicamente a cada tipo de humedal.

En todos los casos, la presencia de especies en un humedal depende de su tolerancia al agua y de las adaptaciones para el crecimiento y supervivencia a la inunda-



- C.** Laguna de Sonso, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.
- D.** Morichales, Amazonas.
Foto: Fernando Trujillo.
- E.** El Corchal, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.



PARTE III

Tras las huellas del agua



F. Humedal La Conejera, Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

G. Tallo de ceiba, Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.

ción o a condiciones anóxicas (baja concentración de oxígeno) en los suelos. De esta manera, se considera que vegetación hidrófila es uno de los criterios que permite confirmar la existencia de un humedal y establecer su límite, lo cual también coincide con lo expuesto por MDDEP y CRE (2009).

9.2.1. PLANEACIÓN

Una vez definida la heterogeneidad ambiental del humedal (fase previa) se debe proceder al diseño del muestreo. Es preciso ubicar en la cartografía los lugares donde se realizará el levantamiento de información de campo, de modo que se incluyan todos los sectores identificados que lo conforman; es esencial hacer un muestreo sistemático que permita recoger la variabilidad detectada en el análisis previo.

Los levantamientos deben hacerse en transectos que se inicien en sitios anegados de manera permanente hasta aquellos que no sufren el efecto de la inundación

para observar la variación gradual desde la vegetación netamente hidrófila hasta la completamente terrestre. Si hay una variación en la vegetación presente, se debe elegir un sitio “promedio” o diseñar un plan para hacer dos o más levantamientos a lo largo de los gradientes de humedad (Brook y Casanova 2000). La longitud de los transectos, así como el número de estos, varía dependiendo de la dinámica propia de cada humedal, el tamaño y las características encontradas (Figura 9.1).

A continuación se debe proceder a realizar la verificación en campo a partir de un reconocimiento preliminar y posteriormente a través de los levantamientos de campo. Un reconocimiento preliminar permite establecer si las observaciones realizadas en la cartografía coinciden con el tipo de humedal identificado y los accesos al lugar, y también definir la organización logística general (por ejemplo: contactar guías locales, pedir permisos de acceso, alojamiento, alimentación, motoristas, botes, vehículos necesarios, etc.). Esto permitirá diseñar el alcance de los objetivos, tiempos y costos asociados. En la salida de reconocimiento se debe recorrer el mapa de puntos de localización de los transectos con el fin de planear la ruta, registrar su posición geográfica con un GPS y resaltar las observaciones adicionales.

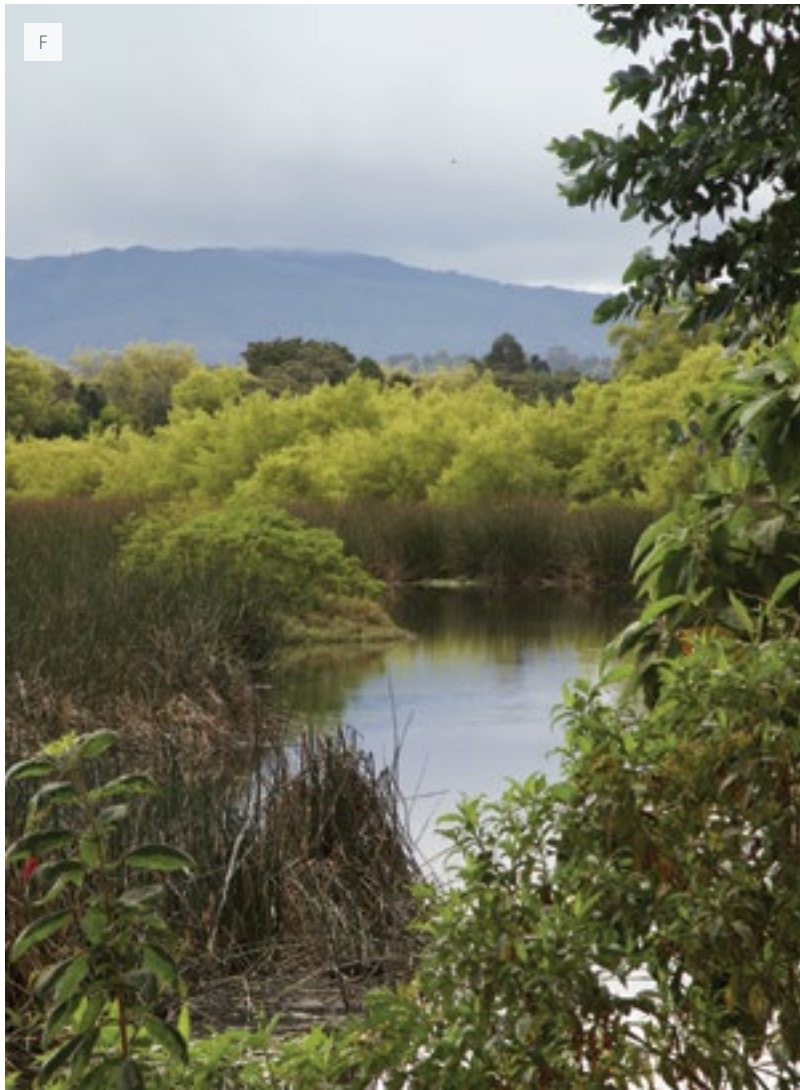




Figura 9.1. Ciénaga del Opón (Simacota, Santander). Identificación de los diferentes sectores del humedal (elipses negras) y el trazo ideal y la disposición sugerida de los transectos para evaluar la transición de la condición hidrófila hasta la terrestre en cada uno de los sectores identificados (flechas negras). Imagen Landsat 8 (04 ene 2015, combinación 5, 6, 2; 1:50.000). Cortesía de USGS.



9.3. FASE DE CAMPO

9.3.1. LEVANTAMIENTOS

La siguiente es la ruta de trabajo para los levantamientos en campo:

- 1 Ubicación del primer transecto a muestrear, verificación de la posición geográfica, registro de la dirección (azimut) del transecto y la fecha en la que se realiza el levantamiento (Anexo 9.1: Formato de campo).
- 2 Establecimiento de transectos perpendiculares al humedal desde el borde del espejo de agua hasta la zona de tierra firme, con longitud variable dependiendo del ancho de la franja transicional. Se ata una cuerda a una estaca o a una planta, de tal manera que permita direccionar la cuerda perpendicularmente desde el espejo de agua hasta la línea de costa. Se puede utilizar una cuerda con marcas de longitudes conocidas, un decámetro o una cinta métrica.
- 3 Dependiendo de la longitud del transecto, se elige el número de levantamientos a realizar y la distancia entre ellos (X m), de tal manera que se establezca un levantamiento cada vez que las condiciones de humedad en el suelo o la vegetación cambien, así se pueden relacionar las especies que se presentan de acuerdo con la distancia de separación del cuerpo de agua (Figura 9.2).
- 4 Una vez elegida la longitud del transecto y la cantidad de levantamientos se procede a la evaluación de las características de la vegetación. Hay que registrar las coordenadas geográficas de inicio y finalización del transecto, así como las coordenadas de cada levantamiento, la distancia (posición) a la que está el levantamiento dentro del transecto desde el punto de inicio, el tamaño del levantamiento en cada sitio de muestreo y los estratos de vegetación evaluados. Se recomienda realizar un esquema del transecto y del sitio donde se ubican los levantamientos.

VEGETACIÓN

Transición de humedal a tierra firme

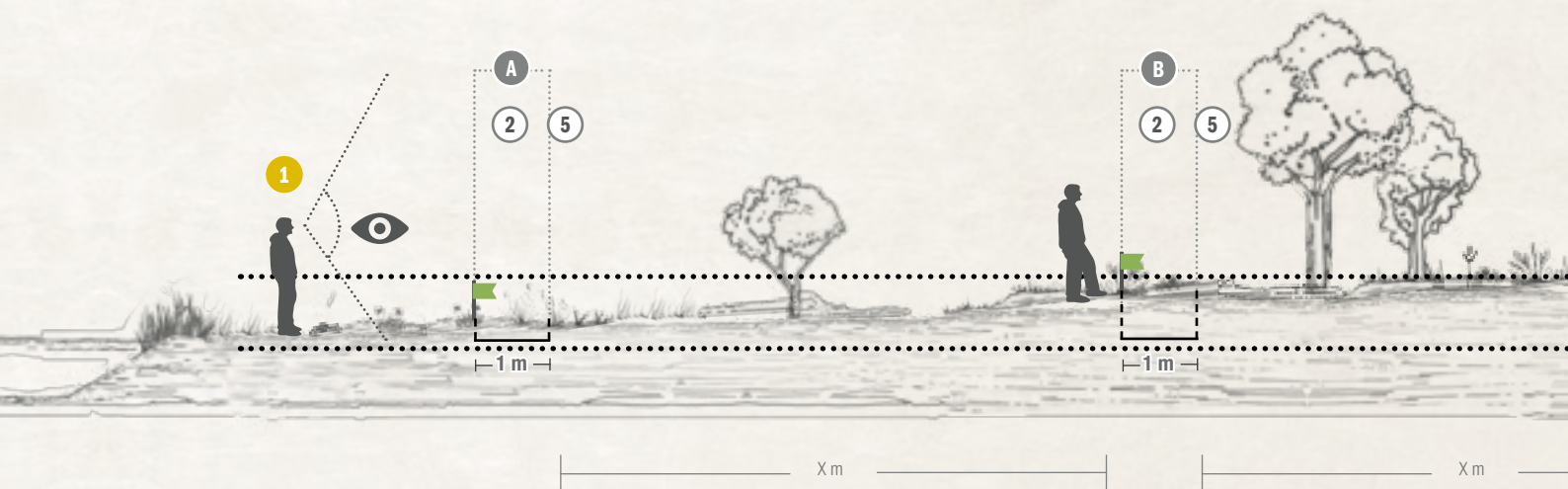
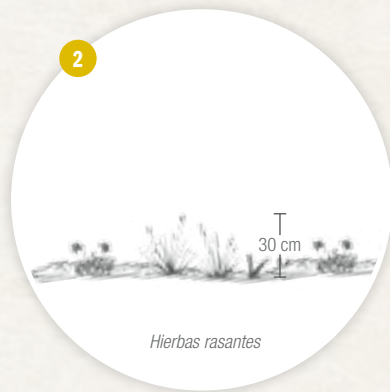


Figura 9.2. Perfil del transecto de vegetación en campo para identificar el límite.

Ejemplo del trazado ideal del transecto en campo perpendicular al espejo de agua. El paso inicial 1 es la observación del área de estudio para seleccionar la dirección del transecto.

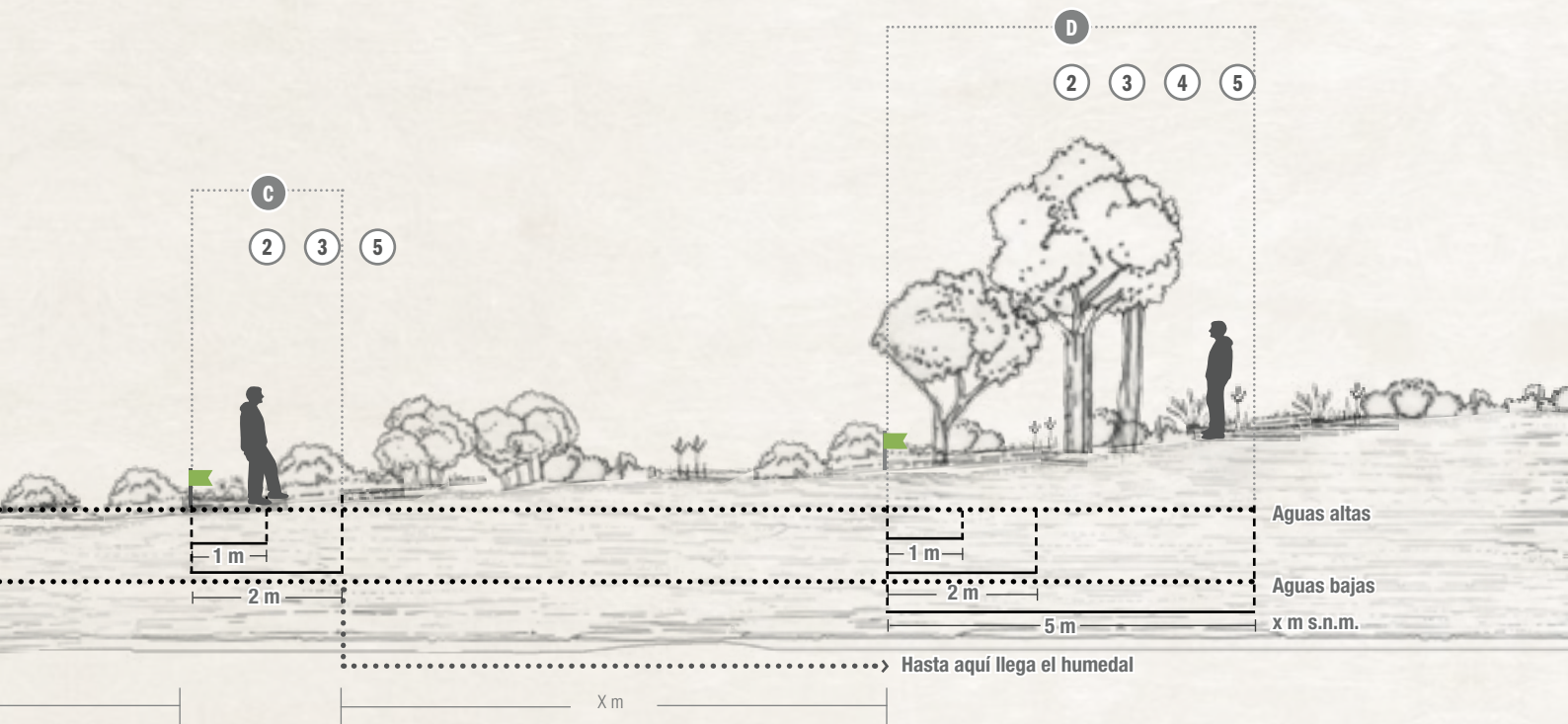
Los cuadrados representan el trazado de los levantamientos, cuyo tamaño depende de la fisonomía de la vegetación.

A y B son levantamientos de 1 m x 1 m para zonas donde la vegetación predominante es rasante. En C se realizan levantamientos de 1 m x 1 m y 2 m x 2 m para vegetación rasante y herbácea hasta 1,5 m de altura respectivamente. En D se incluyen un cuadrante 5 m x 5 m para levantamientos con vegetación arbustiva



5

Estratos rasantes y herbáceas	Estratos arbustivos y arbóreos
<input type="checkbox"/> Especie	<input type="checkbox"/> Especie
<input type="checkbox"/> Porcentaje de cobertura	<input type="checkbox"/> Tamaño de la copa
<input type="checkbox"/> Hojarasca	<input type="checkbox"/> Altura
<input type="checkbox"/> Suelo desnudo	<input type="checkbox"/> Adaptaciones especiales
<input type="checkbox"/> Agua	



de 1,5 m a 5 m más los cuadrantes mencionados previamente.

La información consignada en campo **5** varía de acuerdo con las características de los estratos. Los pasos **1**, **2** y **5** son obligatorios en todos los puntos de muestreo representados por letras en la figura (**A**, **B**, **C** y **D**). Los cuadrantes se

realizan de manera anidada de acuerdo con los estratos presentes.

La distancia entre cuadrantes (X m), es establecida por los investigadores según las características de la zona (grado de pendiente y cambios en la vegetación, entre otras), es la misma para todo el transecto y puede variar entre transectos.

5 Dependiendo de las características fisonómicas de la vegetación a analizar (Figura 9.2) se escoge un tamaño de levantamiento particular (modificado de Rangel y Velásquez 1997):

- a. Levantamientos de 1 m x 1 m para vegetación rasante, es decir, las plantas que alcanzan hasta 30 cm de alto, por ejemplo: sabanas inundables con pastos, playas con especies rastreras, turberas, etc.
- b. Levantamientos de 2 m x 2 m para zonas dominadas por vegetación herbácea de hasta 1,5 m de altura, por ejemplo: congriales-helechales, pantanos.
- c. Levantamientos de 5 m x 5 m para zonas dominadas por vegetación arbustiva entre 1,5 y 5 m de altura, por ejemplo: matorrales, arracachales.
- d. Levantamientos de 10 m x 10 m para zonas dominadas por vegetación arbórea con alturas de 5 a 12 m, por ejemplo: bosque-

chos de galería, manglares enanos, palmares.

- e. Levantamientos de 10 m x 25 m para zonas dominadas por vegetación arbórea con altura mayor de 12 m; corresponden a bosques inundables y manglares.

6 Los levantamientos deben hacerse de manera anidada (Stohlgren et al. 1995) de acuerdo con el siguiente diseño: para un levantamiento arbóreo de 10 m x 25 m se delimita un sublevantamiento para los elementos arbóreos inferiores a 10 m x 10 m; dentro de este se delimita un sublevantamiento para el estrato arbustivo de 5 m x 5 m; y dentro de este se delimitan un sublevantamiento herbáceo de 2 m x 2 m y otro rasante de 1 m x 1 m (Figura 9.3). De manera similar, para un levantamiento arbustivo (5 m x 5 m) se delimitan un sublevantamiento herbáceo (2 m x 2 m) y uno rasante (1 m x 1 m) anidados. Si la vegetación corresponde a un solo estrato, se utiliza el área de muestreo que corresponda a esa fisonomía.



H. Estratos de vegetación de humedal, Charca de Guarinocito, Caldas.
Foto: Luis Fernando López.



LEVANTAMIENTOS ANIDADOS

tipos de cuadrantes

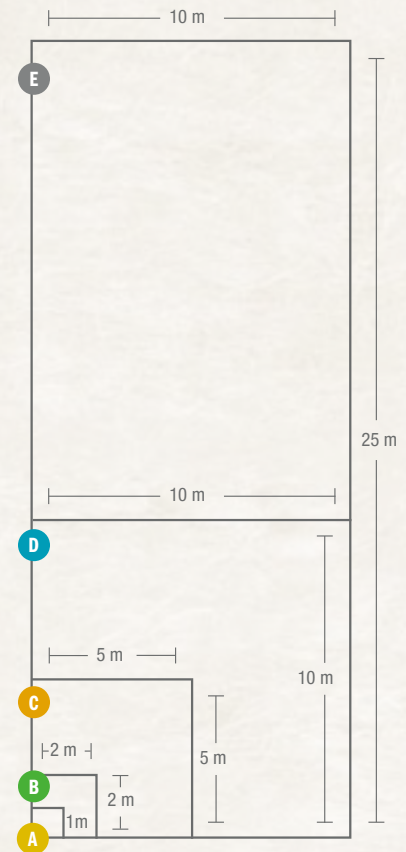
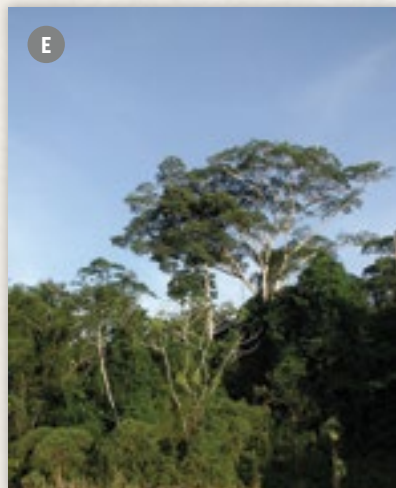
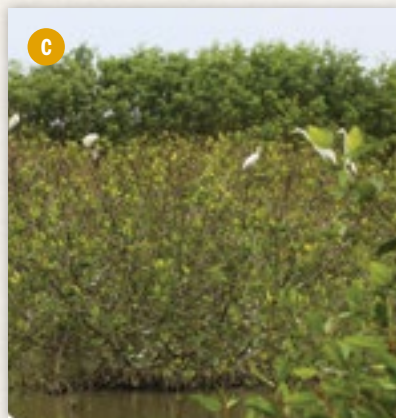
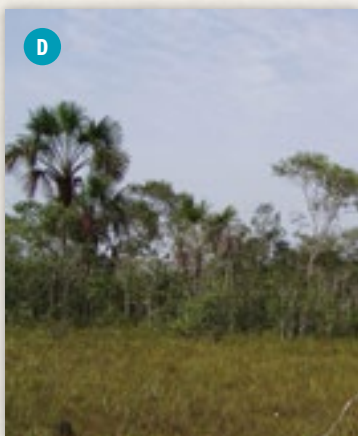


Figura 9.3. Diseño anidado de los levantamientos de acuerdo con la fisionomía de la vegetación.

A Levantamientos de 1 m x 1 m para la evaluación del estrato rasante, es decir, las plantas que alcanzan hasta 30 cm de alto.

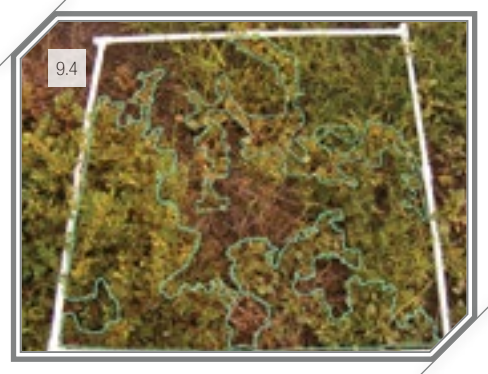
B Levantamientos de 2 m x 2 m para zonas dominadas por vegetación de hasta 1,5 m de altura.

C Levantamiento de 5 m x 5 m para zonas dominadas por el estrato arbustivo hasta 5 m de altura.

D Levantamientos de 10 m x 10 m para zonas dominadas por vegetación arbórea hasta 12 m de altura.

E Levantamientos de 10 m x 25 m para zonas dominadas por vegetación arbórea con altura mayor a 12 m.

Fotos: A, B, C: Luis Fernando López.
D, E: Adriana Prieto Cruz.



7 En cada levantamiento se registra el tipo de suelo, la evidencia de inundaciones o de suelos saturados y la profundidad del agua (Capítulo 8).

8 Se estima la altura en metros de cada uno de los estratos para poder describir mejor el sitio donde se hace el muestreo.

9 Se evalúa el valor de cobertura de las rocas, el suelo desnudo y la hojarasca, lo cual se utiliza para describir el sitio en el que se realizó el levantamiento para dar una idea más clara de la estructura general.

10 Se estima el porcentaje de la cobertura global para cada uno de los estratos contemplados en el área de muestreo seleccionada. Mediante una apreciación visual se calcula el porcentaje de ocupación de las copas de los individuos que conforman el estrato evaluado; este valor será posteriormente utilizado para calcular un factor de corrección en el análisis de la cobertura de las especies que conforman cada estrato con el fin de establecer las más dominantes. Una cobertura global del estrato del 100% equivale a que las copas de los individuos que lo conforman cubren completamente la luz solar y no dejan llegar ni un solo rayo de luz al suelo.

11 Todos los individuos de los estratos arbóreo y de arbolitos son censados (contados), registrando para cada uno su hábito (forma de cre-



Figura 9.4. Ejemplo que ilustra la manera de evaluar la cobertura de una especie rasante respecto al área de muestreo. En este caso se trata de un levantamiento de 1 m x 1 m. El trazo azul representa el área ocupada por la especie k en el levantamiento y corresponde al 55-60% de cobertura. Foto: Juan Carlos Arias García.



cimiento), la especie a la que pertenece (o asignando un morfotipo o nombre local) para poder identificarlo durante la fase de campo y su nombre común.

12 Se calcula la cobertura para cada una de las especies en el levantamiento, en forma diferencial dependiendo del estrato analizado.

- a. Para los estratos rasante y herbáceo se estima el porcentaje de ocupación de cada especie respecto al área de muestreo (Figura 9.4) (Causton 1988).
- b. Para los estratos arbustivo y arbóreo se calcula el área que representa la proyección de la copa de cada individuo respecto al área total del muestreo. Para cada individuo se realizan dos mediciones del diámetro de copa: el diámetro mayor (a) y el perpendicular a este, el diámetro menor (b); estos valores se utilizarán posteriormente para calcular el área de la copa de cada individuo y del total de la especie.

13 Para cada especie o morfotipo registrado se apuntan las características hidrófilas que permitan establecer el tipo de formas de vida mencionadas anteriormente como: hidrófitos o macrófitos acuáticos, helófitos, higrófitos o plantas de tierra firme, de acuerdo con Cirujano *et al.* (2011).

14 Se hace revisión sobre la presencia de adaptaciones para el ambiente acuático o las evidencias de inundación. Cada tipología de humedal tiene especies características que lo identifican. Los manglares presentan especies con adaptaciones a los estados de inundación por aguas salobres (ejemplo: neumatóforos), diferentes a los bosques inundables que están bajo el influjo de aguas



J

dulces (raíces tabulares, zancanas); las plantas herbáceas de las sabanas estacionales que son cubiertas por una lámina de agua durante varios meses al año exhiben adaptaciones que pueden ser diferentes a las hierbas en los alrededores de los complejos lagunares de las sabanas aluviales de los ríos de los valles interandinos. Identificar las adaptaciones que presentan las plantas típicas de la interfase acuática permitirá verificar rápidamente los límites del humedal de estudio y establecer el alcance periódico de los pulsos de inundación. Estas características se apuntan en las observaciones del morfotipo (Figura 9.5).



- I. Adaptaciones del tallo para soportar inundaciones, Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.
- J. Manglares Ciénaga de La Virgen, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.

PARTE III

Tras las huellas del agua

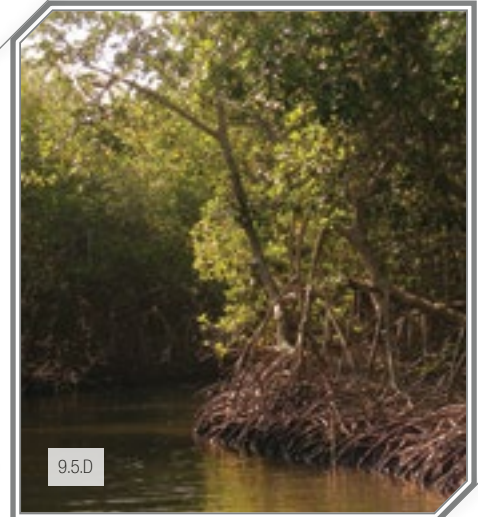


Figura 9.5. Ejemplos de adaptaciones de las plantas sometidas a inundación o señales de inundación.

A. Neumatóforos, ciénaga de La Virgen, Bolívar.

B. Raíces adventicias, bosque inundable, Tarapacá, Amazonas.

C. Cortezas corchosas, bosque inundable insular, selvas de Matavén, Vichada.

D. Raíces columnares, Isla Barú, Bolívar.

Fotos:

A, B, C: Juan Carlos Arias García.

D: Adriana Prieto Cruz.

15 Se debe registrar la presencia de algas, musgos, líquenes o esponjas en el suelo, las rocas o la vegetación, y verificar si hay marcas de niveles de inundación en el área circundante, presencia de raíces adventicias, tabulares o zancudas. Se recomienda buscar la presencia de especies animales adaptadas continua o periódicamente a la inundación o señales en el terreno que permitan inferir procesos de inundación (MDDEP y CRE 2009).

16 Es importante coleccionar y fotografiar todas las especies registradas. Si no se reconocen las especies hay que establecer morfoespecies de campo para optimizar el muestreo y co-

leccionar ejemplares de cada una para su posterior identificación en herbario o con especialistas. Las plantas se coleccionan en bolsas plásticas de 35 cm x 40 cm y se les coloca un número de campo que permita asociarlo posteriormente a los datos registrados.

17 Registro fotográfico de cada muestreo y cada observación realizada. Esto apoyará el proceso de establecer el límite en la fase de análisis.

18 Cada muestra botánica debe ser prensada en papel periódico y numerada, siguiendo los procedimientos estándar para la preservación de especímenes botánicos.

9.3.2. NÚMERO DE TRANSECTOS Y LEVANTAMIENTOS

Los puntos de observación para la ubicación de los transectos deben reflejar la heterogeneidad espacial de los tipos de vegetación localizados a lo largo del perímetro del humedal. Para cada tipo de cobertura vegetal deben desarrollarse como mínimo tres puntos de muestreo y tres transectos en cada sitio.

En la ubicación de los sitios de muestreo se debe considerar, además de los criterios de heterogeneidad en las coberturas vegetales, aspectos de seguridad personal para el equipo de trabajo y permisos de acceso a los lugares seleccionados, especialmente considerando que muchas áreas aledañas a humedales están bajo la figura de propiedad privada o con alguna forma de tenencia de la tierra.

La cantidad de transectos depende en parte de las características del ecotono, como se mencionó anteriormente, y del conocimiento que se tenga del humedal (se deben establecer mínimo 10 transectos). Es importante que se logre tener varias unidades de muestreo desde la zona evidente de humedal (con espejo de agua) hasta la zona evidentemente terrestre

para lograr definir la transición de las comunidades vegetales. Se recomienda que la decisión de la longitud total del transecto sea asumida conjuntamente con el equipo profesional que haga la evaluación de suelos y el análisis fisiográfico.

Algunas áreas de los humedales tienen una zona transicional claramente definida en la que se pueden ubicar con facilidad transectos cortos con pocos levantamientos, pero otras zonas pueden tener una franja de transición amplia y vagamente delineada donde el gradiente se da en forma suave, por lo que es necesario realizar transectos de mayor longitud y mayor número de levantamientos en cada uno de ellos. La situación es más crítica cuando se ha removido la cobertura natural boscosa o arbustiva y ha sido reemplazada por pastos para ganadería, pues el paisaje homogéneo de cobertura herbácea y rasante hace que sea difícil predefinir con anticipación el lugar de transición entre las interfases acuática y terrestre; para estos casos la visita de campo y el reconocimiento de señales de inundación tanto en adaptaciones de las plantas como en las características de los suelos son fundamentales para definir el límite.



K. Ciénaga Grande de Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.





A continuación se da una guía útil para definir el número de levantamientos a evaluar, que podrá ser ajustada para cada caso en particular.

- 1** El transecto debe iniciarse en el límite del espejo de agua, donde se establece el primer levantamiento o conjunto de levantamientos anidados.
- 2** El total de la longitud del transecto se debe dividir entre diez (10) y realizar un levantamiento en cada uno de estos puntos, de acuerdo a las áreas definidas según la fisonomía característica.
- 3** Cuando entre dos levantamientos consecutivos se presente un cambio radical en la estructura de la comunidad vegetal con un recambio drástico entre especies típicas de humedal y de tierra firme, para caracterizar el área que marca la transición con mayor precisión se debe realizar uno o varios levantamientos intermedios, hasta que se logre identificar la zona donde se presenta la transición acuático-terrestre (Environmental Laboratory 1987).

9.3.3. MATERIALES SUGERIDOS PARA REALIZAR LOS LEVANTAMIENTOS

- + Planchas cartográficas con ubicación de lugares de muestreo y posibilidad de hacer anotaciones de lo observado en campo.
- + Formatos de campo (Anexo 9.1).
- + Cámara fotográfica.
- + GPS.
- + Cinta métrica o decámetro.
- + Pita plástica para trazar el transecto, delimitar los levantamientos y organizar los paquetes de plantas.
- + Cuadro en tubo de PVC de 1 m por cada lado.
- + Papel periódico.
- + Tijeras podadoras.
- + Cortarramas o tijera desjarretadora (si hay estrato arbóreo es posible que se requiera).
- + Machete.
- + Marcadores indelebles o lápiz No. 2, tajalápiz y borrador.
- + Un canguro, morral o bolso que le permita llevar a la mano todos los elementos.
- + Bolsas de plástico de 40 cm x 35 cm de calibre grueso.
- + Costales de lona.
- + Protección contra el clima y los insectos.
- + Botas pantaneras.



L. Humedal La Conejera,
Bogotá D.C.
Foto: Luis Fernando López.

M. Ciéna Grande de Beté, Chocó
Foto: Luis Fernando López.



colecta de las especies registradas como su identificación e inclusión en las bases de datos de colecciones biológicas y herbarios ayudan a conseguir o complementar el listado de especies que conforman las diferentes coberturas vegetales en los alrededores del cuerpo de agua.

Los listados de especies deben ser catalogados de acuerdo con cinco criterios:

- + Hábitat: humedal, transición o tierra firme.
- + Cobertura vegetal: bosque, arbustal, herbazal, rasante, acuática libre o enraizada.
- + Estrato: arbóreo, arbustivo, herbáceo, rasante.
- + Hábito: árbol, arbusto, hierba, liana.
- + Hidrófilas, helófitas e higrófilas.

Se sugiere revisar previamente las posibilidades de transporte dependiendo del tipo de humedal. Es posible que se necesite un bote con motor, combustible y un motorista cuando se quiera acceder al humedal desde la fase acuática, o transporte terrestre para acceder al humedal desde la periferia.

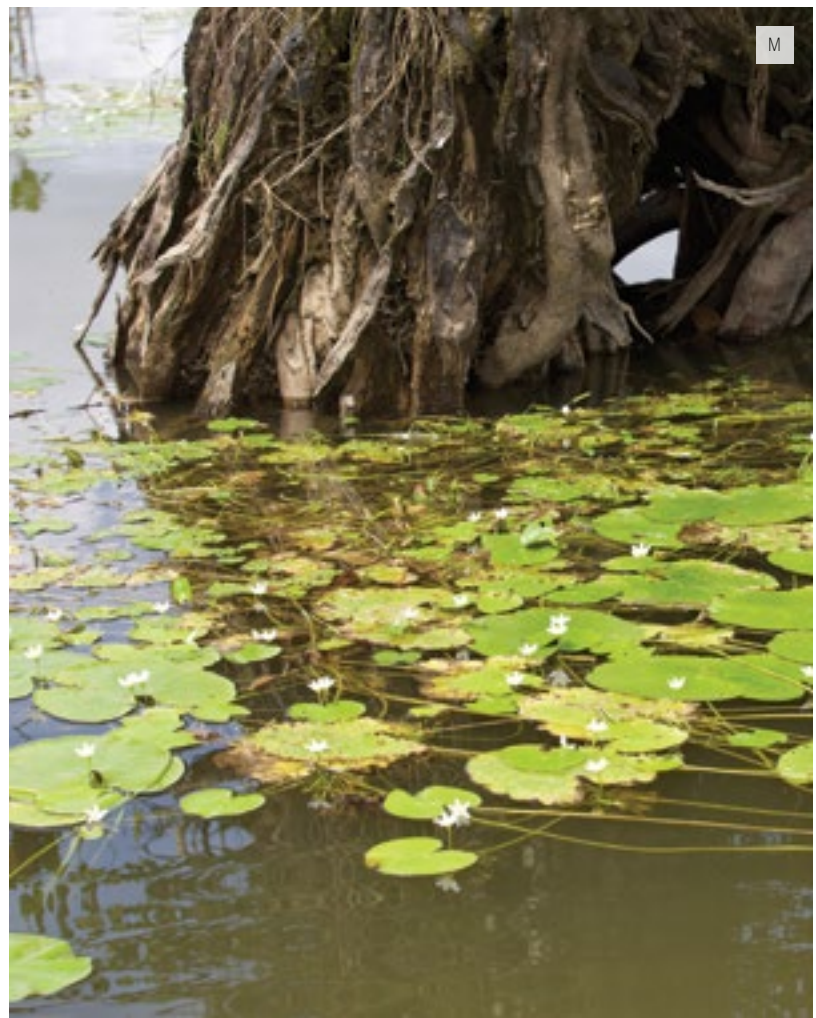
9.4. FASE DE ANÁLISIS

Una vez obtenidos los datos de campo es necesario tabularlos en hojas de cálculo, como Excel, para proceder a hacer los análisis que permitan definir las dominancias de las especies típicas de humedal o de tierra firme. La siguiente información puede ser obtenida y analizada a partir de los datos de campo.

9.4.1. COMPOSICIÓN DE ESPECIES DE LA ZONA TRANSICIONAL

Las muestras vegetales colectadas en los levantamientos a lo largo de los transectos permiten obtener el listado de especies de la zona transicional del humedal. Aunque el propósito de la metodología no es hacer el levantamiento florístico, lo cual requeriría de mediciones adicionales, tanto la

A partir de la anotación de las coordenadas geográficas de cada uno de los sitios de estudio y sus respectivas especies registradas es posible alimentar el mapa de coberturas vegetales junto a su composición de especies características mediante la ayuda de sistemas de información geográfica.



9.4.2. LISTADOS DE ESPECIES POR CATEGORÍAS DE HUMEDAD

Existe poca información acerca de las categorías de vida de las especies y su dependencia con los humedales. Con los registros del recambio de especies a lo largo del gradiente humedad-tierra firme se podrán identificar las especies que corresponden a las diferentes categorías.

Para la obtención de este listado, además de las notas de campo y de la ubicación a lo largo del transecto, debe realizarse una revisión de literatura botánica y ecológica en donde pueda comprobarse que la forma de vida de la especie concuerde con lo encontrado en el humedal.

9.4.3. ÍNDICES DE DOMINANCIA EN LA INTERFASE

Este es el aspecto central de los resultados y del análisis. La comunidad vegetal debe presentar un gradiente de cambio a lo largo del transecto, que se manifieste en el reemplazo de la dominancia de unas especies por otras en uno o en todos los estratos analizados (rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo), de acuerdo con la fisionomía de la vegetación. La dominancia de una especie en





una comunidad puede evaluarse de varias formas, y con la metodología empleada podrá efectuarse un análisis de la importancia de cada especie en cada levantamiento (Rudas y Prieto 2007). Estos cálculos deben hacerse independientemente para cada estrato censado y en cada levantamiento representado por los siguientes aspectos:

9.4.3.1. Para la vegetación de tipo rasante y herbácea

La dominancia de cada especie de los estratos rasantes y herbáceos se determina por el valor de cobertura total ajustada en cada uno de los estratos del levantamiento. Para ello se realizan los siguientes cálculos:

- 1** Factor de corrección: al evaluar la cobertura de los individuos o especies dentro de un estrato, podemos subestimar (p.e., estimar menor las áreas) o sobreestimar el valor (p.e., debido a la superposición de copas dentro del mismo estrato); por ello se calcula un factor de corrección (F), que es aquel por el cual deben multiplicarse las coberturas estimadas para obtener las coberturas ajustadas. Para cada estrato existe un factor de corrección que debe calcularse de la siguiente manera:

Σ Ecuación 9.1.

$$F = \frac{Cob_{global}}{\Sigma Cob_{est}}$$

Donde:

F es el factor de corrección en la valoración de la cobertura del estrato. Cob_{global} corresponde a la cobertura estimada en porcentaje del estrato de la referencia al comienzo del levantamiento (punto 10 del numeral 9.3.1), y ΣCob_{est} es la sumatoria de las coberturas medidas de todas las especies en el estrato de la referencia en porcentaje.



- N.** Ceiba Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.
- O.** Vegetación inundable, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.
- P.** Vegetación riparia Río Claro, Antioquia.
Foto: Luis Fernando López.

2 Cobertura ajustada: el factor de corrección obtenido en el paso anterior se utiliza para que la cobertura de todas las especies evaluadas iguale a la cobertura estimada para cada estrato al inicio de cada levantamiento; así la cobertura ajustada (Cob_{aju}) para cada especie se obtiene con la siguiente fórmula:

Σ Ecuación 9.2.

$$Cob_{aju} = Cob_{spk} \times F$$

Donde:

Cob_{aju} corresponde al valor estimado de cobertura de cada especie ajustado, Cob_{spi} es la cobertura en porcentaje de la especie k en el levantamiento, y F es el factor de corrección en la valoración de la cobertura del estrato.

3 Cobertura relativa: se calcula la cobertura relativa (C_{rel}) de cada especie, cuyo valor varía de cero a uno de la siguiente manera:

Σ Ecuación 9.3.

$$Cob_{rel} = \frac{Cob_{aju}}{\sum Cob_{aju}}$$

Donde:

Cob_{aju} es la cobertura ajustada de cada especie k calculado en cada levantamiento, y corresponde a la sumatoria de las coberturas ajustadas de todas las especies del levantamiento.

4 Valor de importancia: para los estratos herbáceo y rasante los valores de importancia (VI) de las especies corresponden a la cobertura relativa (Cob_{rel}) y representan el valor de dominancia de cada especie, así:

Σ Ecuación 9.4.

$$VI_k = Cob_{rel}$$



La suma de los valores de importancia del total de las especies debe ser igual a 1.

9.4.3.2. Para la vegetación de tipo arbustiva y arbórea

En los estratos arbustivos y arbóreos el valor de importancia está dado por la cobertura relativa de la especie y su densidad relativa en cada estrato evaluado independientemente. Para calcular la importancia de cada especie se deben realizar los siguientes cálculos:

1 Cobertura de cada individuo (C_i): con las mediciones de los diámetros de la copa registrados para cada árbol o arbusto de un estrato dado se calcula el área de ocupación de la copa mediante la fórmula del área de la elipse, así:

Σ Ecuación 9.5.

$$c_i = \pi \times (a/2) \times (b/2)$$

Donde:

C_i es la cobertura aérea del individuo en metros cuadrados, y a y b corresponden a los diámetros ma-



Q. Raíces de manglar, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

R. Semillas de manglar, Ciénaga de Santa Marta, Magdalena.
Foto: Luis Fernando López.



yor y menor de la copa (en metros) (Kinsinger *et al.* 1960).

- 2** Cobertura de la especie (C_k): la cobertura de cada especie k corresponde a la sumatoria de la cobertura de todos los individuos de la especie en un estrato dado:

Σ Ecuación 9.6.

$$C_k = \sum c_i$$

Donde:

C_k es la cobertura de la especie k , y C_i es la cobertura de todos los individuos i de la especie k .

- 3** Cobertura en porcentaje ($C_{k\%}$): los valores calculados de cobertura para cada especie deben expresarse en porcentaje con el fin de unificar las unidades con las que se calculará el factor de corrección para la cobertura de cada estrato, por medio de esta fórmula:

Σ Ecuación 9.7.

$$C_{k\%} = \frac{\sum C_k}{A} \times 100$$

Donde:

$C_{k\%}$ es la cobertura de la especie k en porcentaje, C_k es la cobertura de la especie k en metros cuadrados, y A corresponde al área del levantamiento en metros cuadrados.

- 4** Factor de corrección (F): al evaluar la cobertura de los individuos o especies dentro de un estrato, podemos subestimar o sobreestimar el valor; por ello se calcula un factor de corrección por el cual se multiplican las coberturas estimadas para obtener las coberturas corregidas. Para cada estrato existe un factor de corrección que debe calcularse de la siguiente manera:



FLOR VICTORIA REGIA

Planta con hojas flotantes y raíces arraigadas en el fondo. Las flores se abren de noche y cambian de color a medida que maduran.

Foto: María Isabel Henao.

Σ Ecuación 9.8.

$$F = \frac{Cob_{global}}{\sum C_{\%}}$$

Donde:

F es el factor de corrección en la valoración de la cobertura del estrato, Cob_{global} corresponde a la cobertura estimada en porcentaje del estrato de la referencia al comienzo del levantamiento (punto 10 del numeral 9.3.1), y $\sum C_{\%}$ es la sumatoria de las coberturas en porcentaje medidas de todas las especies en cada estrato.

5

Cobertura ajustada: (Cob_{aju}): el factor de corrección obtenido en el paso anterior se utiliza para que la cobertura de todas las especies evaluadas iguale a la cobertura global estimada para cada estrato; así la cobertura ajustada para cada especie se obtiene con la siguiente fórmula:

Σ Ecuación 9.9.

$$Cob_{aju} = C_{k\%} * F$$

Donde:

Cob_{aju} corresponde al valor ajustado de cobertura de cada especie en un estrato dado, $C_{k\%}$ es la cobertura en porcentaje de la especie k en el levantamiento, y F es el factor de corrección en la valoración de la cobertura del estrato.

6

Cobertura relativa: se calcula la cobertura relativa (C_{rel}) de cada especie, cuyo valor varía de cero a uno, de la siguiente manera:

Σ Ecuación 9.10.

$$Cob_{rel} = \frac{Cob_{aju}}{\sum Cob_{aju}}$$

Donde:

Cob_{rel} es la cobertura relativa de la especie k , Cob_{aju} es la cobertura ajus-

tada de la especie k en cada estrato, y $\sum Cob_{aju}$ corresponde a la sumatoria de las coberturas ajustadas de todas las especies del estrato.

7

Densidad relativa: corresponde a la abundancia de individuos de una especie dada. Esta se calcula así:

Σ Ecuación 9.11.

$$Den_{rel} = \frac{n_k}{N}$$

Donde:

n_k es el número de individuos de la especie k en el estrato, y N es el número total de individuos registrados en el estrato.

8

Valor de importancia: un solo árbol de gran porte y copa extensa puede ser más importante en la comunidad que muchos individuos pequeños de otra especie, gracias a que su ocupación espacial es mucho mayor que la sumatoria de todas las copas de todos los individuos pequeños; para compensar este efecto se utiliza una valoración de dominancia que incluya tanto la cobertura como la abundancia. Para cada especie el valor de importancia (VI) está definido por el promedio de la cobertura relativa y la dominancia relativa:

Σ Ecuación 9.12.

$$VI_k = \frac{Den_{rel} + Cob_{rel}}{2}$$

Donde:

VI_k es el valor de importancia de la especie k , Den_{rel} es la densidad relativa de la especie k , y Cob_{rel} es la cobertura relativa de la especie k .

La sumatoria de los valores de importancia de todas las especies en el estrato debe ser igual a 1.



“La vegetación expresa

las condiciones ambientales
del sitio donde se desarrolla y

las características
físicas

del lugar que habita”



S

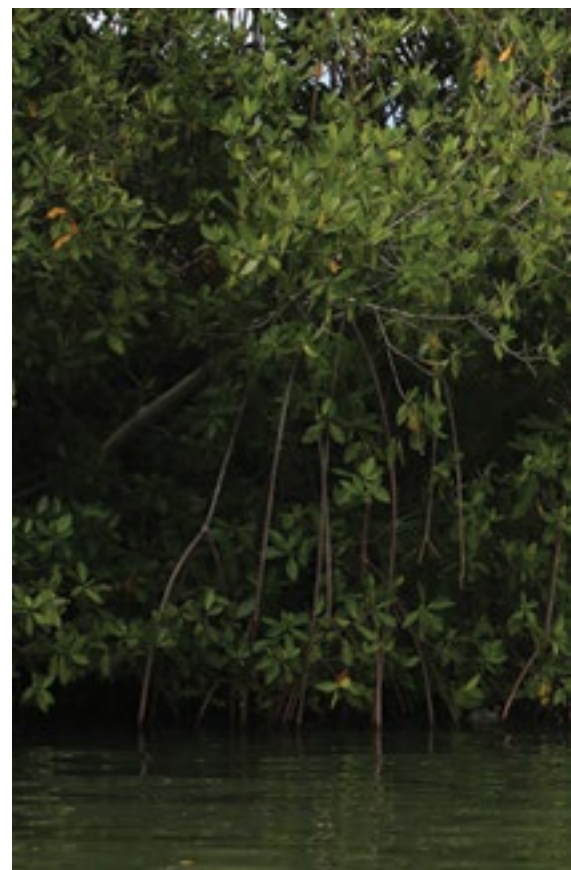
9.4.4. LÍMITES DEL HUMEDAL

Los valores de importancia (*VI*) determinan cuáles especies son las dominantes en un estrato en una comunidad vegetal en cada uno de los levantamientos evaluados a lo largo del transecto. La comunidad estará determinada por las especies dominantes que corresponden a aquellas que sumen el 40% del valor de importancia (*VI*) en los estratos dominantes; generalmente son unas pocas, entre 4 y 8 especies. A medida que el transecto se aleje del espejo del agua se evalúa la forma en que las especies con características hidrófilas, helófitas, higrófitas o de tierra firme de cada estrato van cambiando su dominancia. Para ello, se procede de la siguiente forma:



- S.** Pescador en el manglar, Ciénaga de La Virgen, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.

- T.** Manglares de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena.
Foto: Luis Fernando López.



Una vez calculados los valores de importancia (*VI*) de las especies para cada estrato en cada punto de muestreo, se deben organizar las especies con su respectivo *VI* en orden de mayor a menor.

Identificar las especies que sumen el 40% del *VI*. Estas corresponden a las especies dominantes del sitio.

Definir las características de afinidad con la humedad de las especies dominantes, hidrófilas, helófilas, higrófilas o de tierra firme.

Cuantifique, de estas especies dominantes, cuál característica de afinidad hídrica representa entre el 40% y el 50% del *VI*.

A partir de la vegetación, el límite permanente del humedal está definido por la distancia en la cual las especies características de zona seca, en un levantamiento, sumen en conjunto más del 40% del *VI* en cada uno de los estratos dominantes (1 o 2) del transecto. Cada estrato se analiza independientemente, pues el límite del humedal está definido especialmente por la dominancia de las especies helófilas en los estratos dominantes.

La zonificación de los límites puede definirse de la siguiente forma:

Zona focal del humedal: más del 60% del valor de importancia (*VI*) de plantas hidrófitas y helófilas.

Zona de no humedal: menos del 40% del valor de importancia (*VI*) correspondiente a especies afines a la humedad, es decir, más del 60% del *VI* de la comunidad está conformado por especies de tierra firme.

Zona intermitente del humedal: zona que puede presentar eventos de inundación esporádicos, de corta duración, o multianuales, y donde los *VI* no son dominantes para especies de zonas secas o de humedal, es decir que hay una repartición porcentual más o menos pareja entre hidrófitas, helófilas, higrófilas y especies de tierra firme.

Con los valores de las distancias en las cuales se presente el cambio en la dominancia de especies hidrófitas, helófilas, higrófilas y de tierra firme se define el punto de transición del humedal. Estas distancias serán representadas espacialmente en un mapa, de modo que se pueda marcar el límite para cada cobertura vegetal a través de la periferia del ecosistema.

Los resultados obtenidos con el componente vegetal deben integrarse con los criterios hidrológicos y edáficos para establecer y validar la delimitación del humedal. En algunos casos la vegetación puede ser el criterio que defina el límite, pero en otras ocasiones puede ser un elemento que permita corroborar el límite definido bajo otros criterios.





Bernal, R., G. Galeano, A. Rodríguez, H. Sarmiento y M. Gutiérrez. 2015a. Nombres comunes de las plantas de Colombia. Disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/>

Bernal, R., S. R. Gradstein y M. Celis. 2015b. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Disponible en: www.catalogo-plantascolombia.unal.edu.co

Blanco, D. E. 1999. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. En: Malvarez, A. I. (ed.). Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. pp. 215-224. UNESCO-ORCYT-MAB. Montevideo, Uruguay.

Boon, P. 2013. Hydrology of urban freshwater wetlands. Chapter 2.2. En: Paul, S. (ed.). Workbook for managing urban wetlands in Australia. pp. 72-92. 1ª edición. Sydney Olympic Park Authority. Sydney, Australia. 440 p. Disponible en: www.sopa.nsw.gov.au/education/WETeBook/. Consultado en junio de 2015.

Bravo, J. y J. Windevoxhel. 1997. Manual para la identificación y clasificación de humedales en Costa Rica. 1ª edición. UICN-ORMA: MINAE: Embajada de los Países Bajos. San José, Costa Rica. 37 p.

Brena, J., C. Castillo y A. Wagner. 2014. Metodología para la delimitación y caracterización de humedales en escalas 1:50.000 y 1:20.000. Segunda conferencia panamericana de sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. Presentación. Instituto Mexicano de tecnología del agua. México. 48 p.

Brook, M. A. y M. T. Casanova. 2000. Are there plants in your wetlands? Revegetating wetlands. Land and water resources R&D Corporation Canberra. Australia. 17 p.

Causton, D. R. 1988. Field Methods. En: An introduction to vegetation analysis: principles, practice, and interpretation. pp. 11-32. Unwin Hyman. London; Boston.

Cirujano, S., A. Molina y A. Cezón. 2011. Taxagua: Flora acuática: Macrófitos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Real Jardín Botánico CSIS. Madrid. 9 p.

Cowardin, L., M. Carter, F. Golet y E. Laroe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U. S. Fish and Wildlife Service Pub. FWS/OBS-79/31. Washington D. C. 103 p.

Dugan, P. J. (ed.). 1990. Wetland conservation: a review of current issues and required action. IUCN. Gland, Switzerland. 96 p.

Environmental Laboratory. 1987. Corp of engineers wetland delineation manual. Wetlands Research Program Technical Report Y.87-1. 143 p.

Kinsinger, F. E., R. E. Eckert y P. O. Currie. 1960. A comparison of the line-interception, variable-plot and loop methods as used to measure shrub-crown cover. Journal of Range Management 13(1): 17-21.

Lasso, C. A., F. de P. Gutiérrez y D. Morales-B. (eds). 2014. X Humedales interiores de Colombia: identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterios biológicos y ecológicos. Serie editorial Recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 255 p.

MDDEP y CRE. 2009. Protocole de caractérisation de la bande riveraine. 2^a edición. MDDEP y CRE Laurentides. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) y Conseil Régional de l'Environnement des Laurentides (CRE Laurentides). Québec. 19 p. Guides et protocoles. Disponible en: <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/rsvl/fiche-terrain/bande-riveraine.pdf>. Consultada en junio de 2015.

Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink. 2000a. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Special Issue: The values of wetlands: landscapes and institutional perspectives. *Ecological Economics* 35(200): 25-33.

Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink. 2000b. Wetlands. 3^a edición. John Wiley & Sons Inc. New York. 660 p.

Moreno, L. y R. Álvarez. 2003. Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el delta-estuario del río Magdalena, Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 27(105): 517-534.

Moss, R. 2006. Guía de identificación y manejo para humedales en propiedades privadas en Costa Rica. 52 p. Disponible en: <https://www.setena.go.cr/documentos/baulas/ASPECTOS%20TECNICOS%20DE%20MANEJO/GUIA%20DE%20HUMEDALES/GUIA%20DE%20HUMEDALES.pdf>. Consultado en mayo de 2015.

Naranjo, L. G. 1998. Diversidad ecosistémica: Humedales. En: Chávez, M. E. y N.

Arango (eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia 1997. pp. 140-163. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia.

Rangel-Ch., J. O. y A. Velásquez. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. En: Rangel-Ch., J. O. (ed.). *Diversidad Biótica II*. Pp. 59-87. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. 436 p.

Raymond, D. S. y J. Russell. 2003. Biological criteria for buffer zones around wetlands and riparian habitats for amphibians and reptiles. *Conservation Biology* 17(5): 1219-1228.


Rojas, M., M. Campos, E. Alpizar, J. Bravo y R. Córdoba. 2003. El cambio climático y los humedales en Centroamérica: implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. Unión Mundial para la Naturaleza-IUCN. Costa Rica. 40 p.

Rudas, A. y A. Prieto. 2007. Captura y manejo de datos para los levantamientos de vegetación. Curso de Profundización en Florística. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.

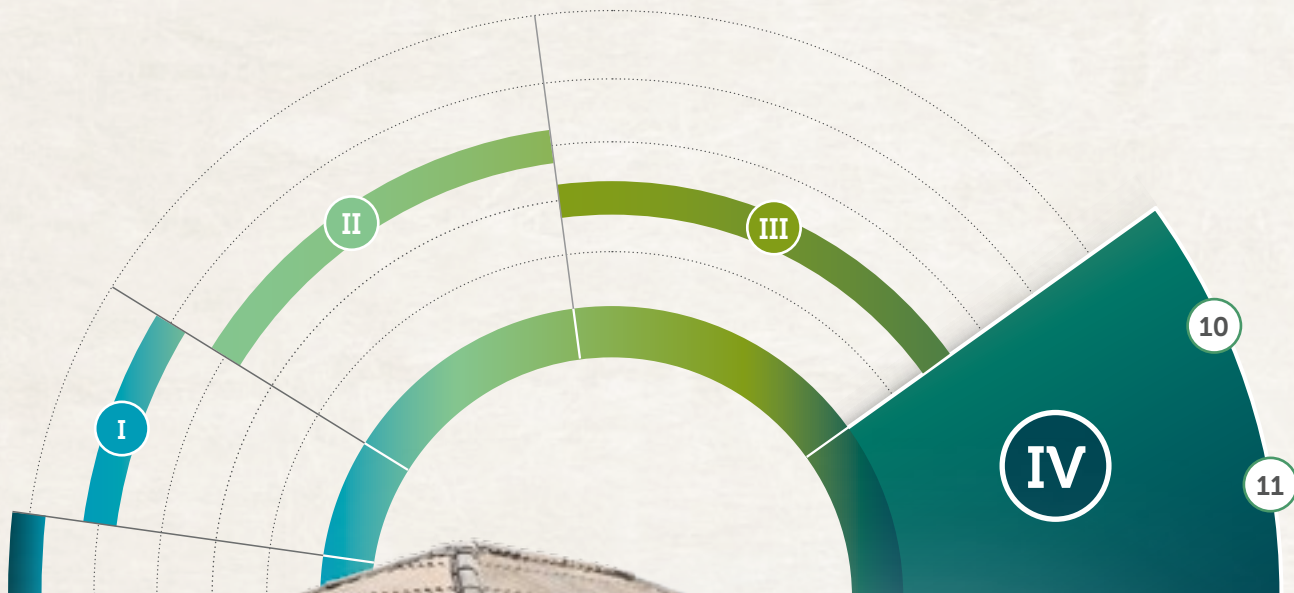
Rudas-Ll., A. 2009. Unidades ecogeográficas y su relación con la diversidad vegetal de la Amazonia colombiana. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D. C., Colombia. 147 p.

Stohlgren, T. J., M. B. Falkner y L. D. Schell. 1995. A modified-Whittaker nested vegetation sampling method. *Vegetatio* 117(2): 113-121.

Tiner, R. W. 1993. The primary indicators method: a practical approach to wetland recognition and delineation in the United States. *Wetlands* 13(1): 50-64.

A close-up photograph of a plant with several small, light pink flowers and buds. The flowers have a distinct shape, resembling small bells or tubular structures. The background is a soft, out-of-focus green, suggesting a natural outdoor setting. The lighting is bright and natural, highlighting the delicate textures of the petals and the vibrant green of the leaves and stems.

“La vegetación es considerada
como una de las
**características
emergentes**
de los ecosistemas,
**factible de ser
cartografiada**
y estudiada en unidades discretas”



PARTE IV

CONSTRUYENDO UNA IDENTIDAD SOCIOECOLÓGICA

CAPÍTULO 10

Metodologías para evaluar criterios sociales, económicos e institucionales

Sandra Patricia Vilardy Quiroga

10.1. MARCO DE REFERENCIA

El enfoque de los sistemas socioecológicos que enmarca la propuesta de principios y criterios para la delimitación de humedales continentales de Colombia (Vilardy *et al.* 2014) pretende analizar de manera integrada los sistemas ecológicos y sociales presentes en cualquier tipo de humedal, haciendo énfasis en la dinámica de las interrelaciones existentes entre ellos y las retroalimentaciones que se han generado en el tiempo (Berkes *et al.* 2003). Así, se propusieron en el 2014 cuatro grupos de criterios para estudiar las implicaciones del proceso de delimitación de estos ecosistemas y complementarios a la consecuente toma de decisiones; es importante resaltar que estos no modifican el límite físico identificado a través de las metodologías para abordar los criterios biofísicos sino que permiten entender el humedal de manera integral (Vilardy *et al.* 2014). Así, los criterios sociales, económicos e institucionales, complementarios para la toma de decisiones- SEI, son:

a. Análisis de actores y bienestar humano, que incluye la identificación de los actores que intervienen en el territorio del humedal, los usuarios de los servicios ecosistémicos y el análisis de

las condiciones sociales en que se encuentran, así como las actividades productivas que realizan. Es importante reconocer en este análisis las relaciones de poder, pobreza, desigualdad y violencia que se dan en el territorio.

b. Análisis de instituciones y gobernanza, que contempla el reconocimiento y caracterización del grado de articulación de las instituciones formales y no formales que regulan las interacciones entre los actores y el humedal a diferentes escalas; incluye



A. Mujeres como actores clave en el territorio del humedal, madreveja del río Cauca, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.



A



B. Construcciones palafíticas como respuesta adaptativa de los pobladores de Nueva Venecia, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena. Foto. Luis Fernando López.

el análisis normativo, las herramientas de planificación, los sistemas de propiedad y la tenencia de la tierra.

c. Análisis de servicios ecosistémicos y compromisos (*trade-offs*), que se basa en el reconocimiento explícito de la diversidad de beneficios que suministra el humedal a los diferentes tipos de actores, su tendencia al cambio y los conflictos socioambientales generados por el cambio en el suministro de dichos servicios.

d. Análisis de la resiliencia y la adaptación, el cual se encarga de reconocer el carácter dinámico del humedal y se centra en identificar sus procesos clave de funcionamiento y en reconocer cómo han cambiado a través del tiempo, cómo se han visto afectados por perturbaciones y cómo ha respondido el sistema socioecológico a dichas transformaciones; de esta manera se puede realizar un acercamiento a la resiliencia del sistema, lo que permite hacer proyecciones sobre su capacidad de respuesta ante eventos futuros.

Estos criterios son complementarios a los criterios de la identificación del límite funcional del humedal y deben leerse

como pasos progresivos en los que va aumentando la complejidad con cada análisis y la información de cada etapa es un requisito para la siguiente (Figura 10.1).

Estos criterios son necesarios para comprender al humedal como un complejo sistema socioecológico cuyo funcionamiento está determinado por las profundas e históricas relaciones sociales, políticas y económicas que se presentan en su territorio. También son especialmente útiles para entender las modificaciones que ha presentado y comprender las controversias que puedan resultar luego de aplicar los criterios biofísicos para la identificación de su límite funcional.


Este capítulo ofrece diferentes técnicas para obtener los datos y elaborar la información necesaria para describir los cuatro criterios mencionados anteriormente de cara a la toma de decisiones e implicaciones en el proceso de delimitación de humedales. También es útil para identificar aspectos fundamentales sobre la estructura social y las dinámicas de sus interrelaciones con las dimensiones biofísicas de los humedales, los cuales deben ser tenidos en cuenta para la gestión integral de los mismos.

Las metodologías propuestas están basadas principalmente en los diferentes manuales metodológicos elaborados



CRITERIOS SOCIALES, económicos e institucionales



 Criterios sociales, económicos e institucionales complementarios para la toma de decisiones.


 Elementos para el análisis



Figura 10.1. Criterios sociales, económicos e institucionales, complementarios para la toma de decisiones (SEI) y elementos claves para su análisis. Tomado de Vilardy *et al.* (2014).



C. Mujer: conocedora de las actividades socioproductivas en torno al humedal, Beté, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.

D. Humedales como socioecosistemas: conexión entre el sistema natural y humano, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

por la Convención Ramsar (de Groot *et al.* 2007) y la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005b), así como en las metodologías propuestas en la Guía Docente Ciencias de la Sostenibilidad (Martín-López *et al.* 2013) y los aportes metodológicos desarrollados por la Universidad Javeriana en ejercicios pilotos de delimitación de humedales (PUJ 2015), entre otros.

Las metodologías presentadas provienen del paradigma de la investigación social y tienen la posibilidad de ser desarrolladas por técnicos, estudiantes universitarios, profesionales ambientales y líderes de comunidades, entre otros actores.

Las fuentes de información para desarrollar la mayoría de las metodologías son la revisión de información secundaria de manera sistematizada y las herramientas de consulta activa a actores, mediante entrevistas, encuestas, grupos

de discusión y talleres. Las metodologías presentadas son lo suficientemente flexibles para ser desarrolladas en diferentes contextos institucionales, y la profundidad de la consulta de datos dependerá de las capacidades técnicas, financieras e institucionales.

10.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN SOCIAL PARA LA GESTIÓN DE HUMEDALES

A partir del análisis de los componentes y de las relaciones existentes en el sistema socioecológico se pueden identificar los factores claves que determinan la sostenibilidad del humedal. Para ello se requiere de la mayor información posible, y esta debe incluir múltiples sistemas de conocimiento, diversidad de datos y de disciplinas (Ostrom 2009).



Metodológicamente hablando, la comprensión del humedal como un sistema socioecológico debe basarse en cuatro premisas esenciales:

- a. Explorar las interacciones complejas y las respuestas entre el sistema natural y humano, identificando no solo variables ecológicas, socioculturales o demográficas sino aquellas que ligen ambos componentes.
- b. Trabajar con equipos interdisciplinarios.
- c. Integrar distintas herramientas y metodologías de análisis.
- d. Ser contexto dependiente (Martín-López *et al.* 2009).

Esta guía se basa en el paradigma de la investigación cualitativa. Este se caracteriza por ser un proceso inductivo en el que

bajo una perspectiva holística, se elabora el análisis en el que se tienen en cuenta el escenario y las personas, y los métodos son humanistas (Taylor y Bogdan 1996).

Se sugiere el uso de diferentes métodos básicos de la investigación cualitativa y métodos híbridos utilizados tradicionalmente en la investigación cuantitativa. En los métodos básicos cualitativos, se recomiendan como herramientas principales para la obtención de datos, las entrevistas semiestructuradas, la investigación de archivos y el análisis en profundidad de contenidos de diferentes documentos institucionales y científicos (Vilardy 2009).

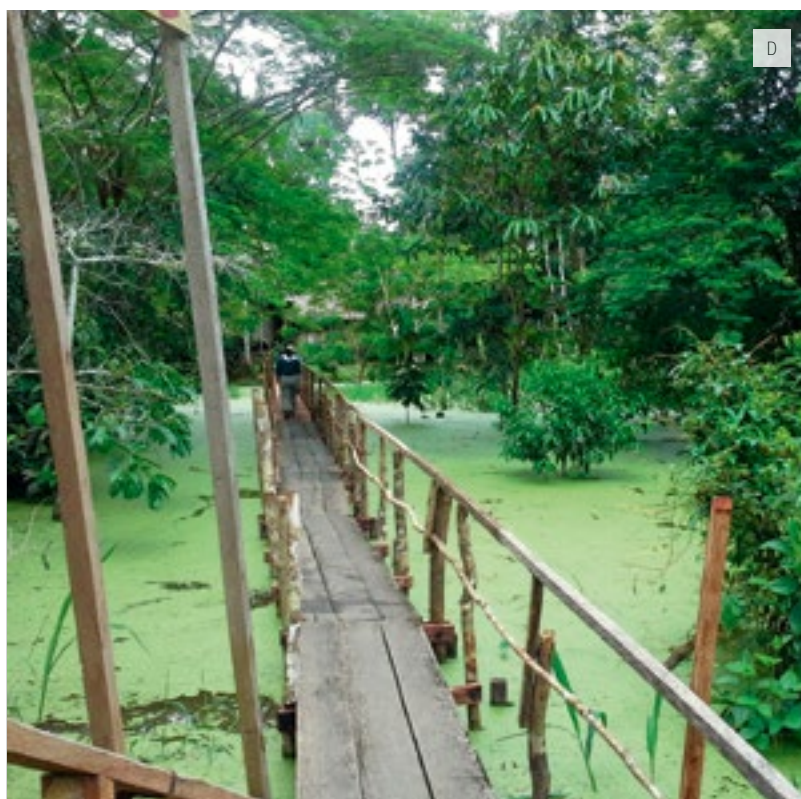
Las fuentes de información primaria por excelencia serán las entrevistas y grupos de discusión, complementadas con múltiples fuentes de información secundaria, que pueden incluir el análisis de estadísticas nacionales, bases de datos, fotografías aéreas, mapas, documentos oficiales, documentos académicos y científicos, archivos de prensa y sentencias jurídicas, entre otros.

Al final el objetivo es crear un modelo conceptual de cada humedal como sistema socioecológico, como meta de un proceso integrativo y adaptativo que puede tener varios momentos de cambio en función del conocimiento existente, del conocimiento nuevo generado y de los puntos de vista y conocimiento local de diferentes actores sociales tanto expertos como técnicos.



EMBARCACIÓN DE MOTOR

Herramienta vital para el comercio de alimentos y transporte de pasajeros en los humedales del Caribe colombiano.
Foto: Luis Fernando López.





“El análisis de los
criterios sociales,
económicos e institucionales complementarios
para la toma de decisiones (SEI)
debe ser transversal
y estar en constante ajuste”

10.3. ANÁLISIS DE CRITERIOS SOCIALES, ECONÓMICOS E INSTITUCIONALES

10.3.1. REQUERIMIENTOS PARA EL PROCESO

El análisis de los criterios sociales, económicos e institucionales complementarios para la toma de decisiones (SEI) debe ser transversal y estar en constante ajuste, debido a que las fuentes de información se basan en el análisis de archivos y en las entrevistas a diferentes personas. Esto requiere que el equipo que se conforme tenga la capacidad de trabajar de manera articulada y con un flujo efectivo de la información.

Como se mencionó anteriormente, es deseable un equipo interdisciplinario que permita un diálogo entre el conocimiento social, normativo y económico sin perder la base de la profunda relación de estas dimensiones con el humedal.

Dado el volumen de información que se obtiene, el equipo encargado debe contar con personas expertas en análisis de archivos en profundidad y con matrices en donde estén claramente identificadas las variables que se van a ir describiendo con la información obtenida.

Otro requerimiento es la experiencia en la estructuración de entrevistas y en la sistematización de datos provenientes de ellas, así como la capacidad de trabajo en campo para interrogar a diversos tipos de personas y la posibilidad de hacer grupos de discusión y talleres con diferentes actores. Por lo tanto, es necesario que el equipo tenga también capacidades técnicas para registrar y sistematizar la información obtenida en las entrevistas a través de grabadoras, cámaras fotográficas, GPS, computadores y software adecuado.

Es importante recordar que el proceso es adaptativo, y su profundidad será mayor en la medida en que se tenga mejor acceso a las fuentes de información y en que las capacidades financieras, logísticas y técnicas aumenten.

10.3.2. HERRAMIENTAS GENERALES SUGERIDAS PARA ABORDAR ESTE ANÁLISIS

A continuación se presentan algunos métodos útiles para obtener la información que requiere el análisis de los diferentes criterios para la toma de decisiones en la delimitación de humedales.

El primero es el método PARDI, marco metodológico que integra la variabilidad espacial, temporal y de las relaciones que se dan en el humedal con la diversidad de actores y de sistemas de conocimiento, el cual se muestra a continuación. Este método fue utilizado por la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) en el análisis realizado para tres ventanas piloto de delimitación de humedales (PUJ 2015) durante el ejercicio liderado por el Instituto Humboldt.

El segundo método que se presenta es una guía para la elaboración de entrevistas basada en el manual metodológico de Ramsar para la valoración de humedales (de Groot *et al.* 2007). En el anexo 10.1 se encuentra una síntesis de metodologías sugeridas para el proceso.



E. Diversidad de actores, Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.



10.3.2.1 Metodología PARDI Adaptado de PUJ (2015)

El método PARDI (Figura 10.2) es un marco metodológico que integra varios componentes (Problemática – Actores – Recursos – Dinámicas – Interacciones) y brinda una perspectiva integral para el estudio y análisis de dinámicas socioecológicas con una amplia diversidad de conocimientos y participación por múltiples actores que tienen algún interés sobre el humedal estudiado y reciben algún tipo de beneficio del mismo (Fallot 2013). Identifica a su vez la relación entre cada actor y el humedal, y logra una representación de las dinámicas de aprovechamiento compartido de los servicios brindados por el sistema (Fallot 2013; Fallot y Le Coq 2014). También es utilizado para construir de manera participativa una base útil para la concertación y la representación de visiones locales respecto al entendimiento de las transformaciones en estos ecosistemas (Fallot y Le Coq 2014).

El objetivo de la metodología PARDI es identificar los actores, los recursos que utilizan y cómo los utilizan, las dinámicas sociales y ecológicas involucradas, y las interacciones que se presentan en cada situación. Una vez establecida la problemática, que puede revisarse a medida que se avanza en el conocimiento de la situación de cada humedal, es posible continuar con el levantamiento de información más acotada. Esta información permite un mejor entendimiento de las características y condicionantes presentes en cada uno de los casos de estudio.

+ Problema: se inicia el proceso con la identificación de la problemática que se presenta hasta ahora en el humedal objeto de estudio y de las perturbaciones que han llevado al ecosistema a su estado actual; para esto, es importante la realización detallada de consulta bibliográfica y la elaboración de talleres con actores locales. Es importante investigar sobre el conocimiento y las actividades de estos últimos desde diversas perspectivas, ya que esto logra identificar elementos de interés para la caracterización y análisis socioecológico.

- + Actores: incluye la identificación de las actividades socioproductivas que se desarrollan y los usos presentes en torno al humedal, junto con la identificación de actores que las llevan a cabo. En este último caso, puede tratarse de actores que no desarrollen una actividad directa pero cuyas actividades tengan relación con el humedal. De otro lado, es fundamental identificar los factores que favorecen o limitan el desarrollo de esas actividades, aquellos que las hacen exitosas y los que las amenazan o limitan (criterio Actores y bienestar humano).
- + Recursos y sistema de recursos: un mismo tipo de actor puede a su vez involucrar diferentes categorías de actores, en este caso identificados como usuarios. Por ejemplo, los pescadores pueden representar diversos grupos que extraen recursos específicos o el mismo recurso pero con diferentes artes de pesca. Igualmente, pueden presentarse diferencias según el acceso a los medios de transporte y las artes de pesca (criterio Actores y bienestar humano y criterio Servicios) (Figura 10.3).
- + Dinámicas: se refieren a los procesos sociales, económicos o ecológicos que tienen lugar en el respectivo humedal. Se trata de establecer los ritmos del ecosistema (por ejemplo, la estacionalidad de la presencia del agua y los recursos que se utilizan o extraen) y sus formas de utilización por parte de los actores. Igualmente, se trata de entender en profundidad las dinámicas sociales en torno al uso del recurso, por ejemplo la presencia y actividades de los usuarios de acuerdo con estos ritmos, incluyendo las formas de organización alrededor de la utilización del recurso. De manera más amplia, se requiere identificar elementos sobre la coevolución de las dinámicas ecológicas y sociales en el tiempo y en el espacio, y los cambios en el sistema socioecológico como un todo (Figura 10.3).



GARZA REAL

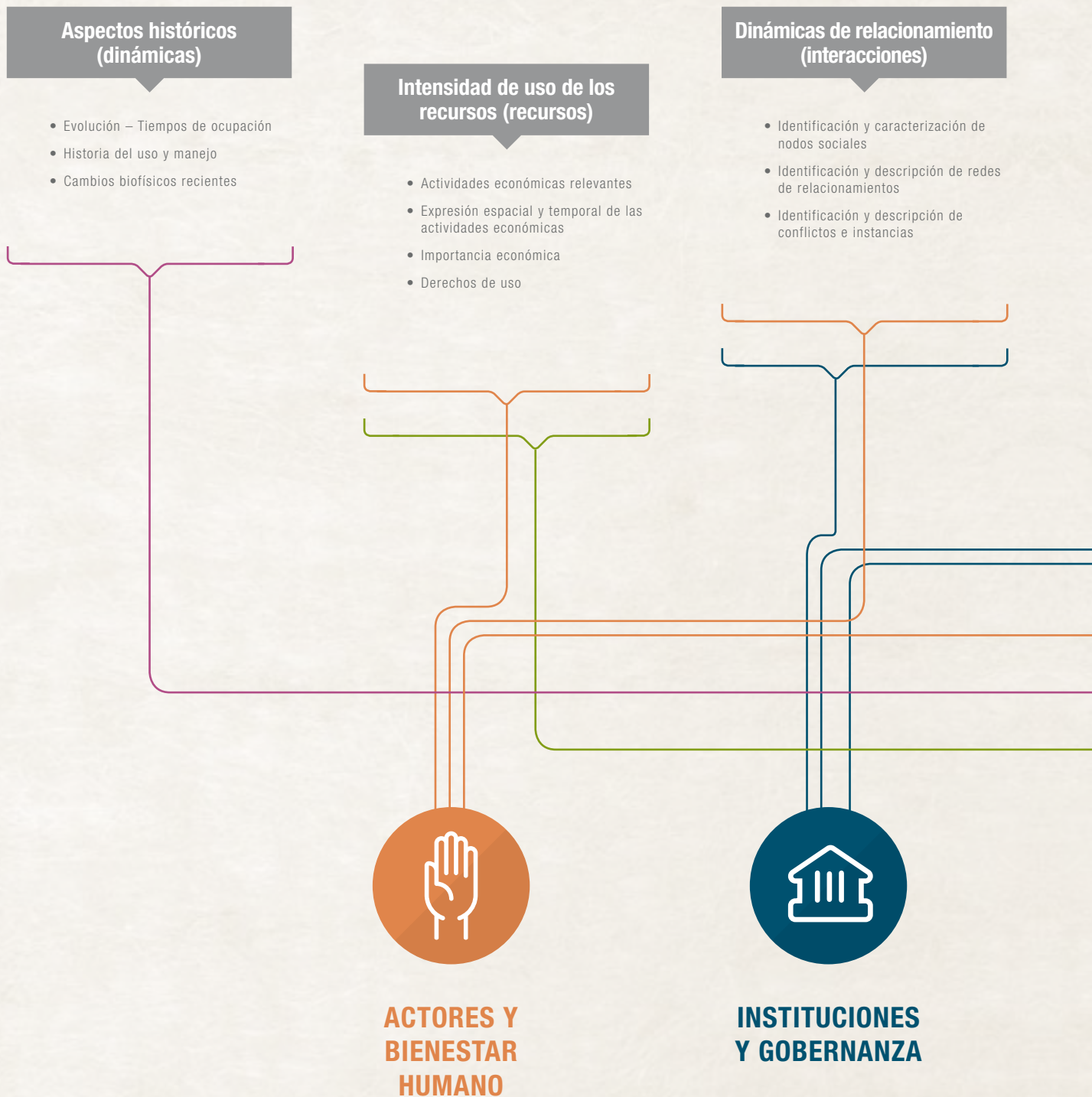
Imponente ave que habita manglares, lagunas y estuarios, entre otros humedales de tierras bajas.
Foto: Luis Fernando López.

MÉTODO PARDI



Figura 10.2. Método PARDI cuyo marco brinda una perspectiva integral para el análisis de las dinámicas socioecológicas.

Dimensiones y variables del método PARDI articulados con los criterios SEI



■ Dimensiones

> Variables

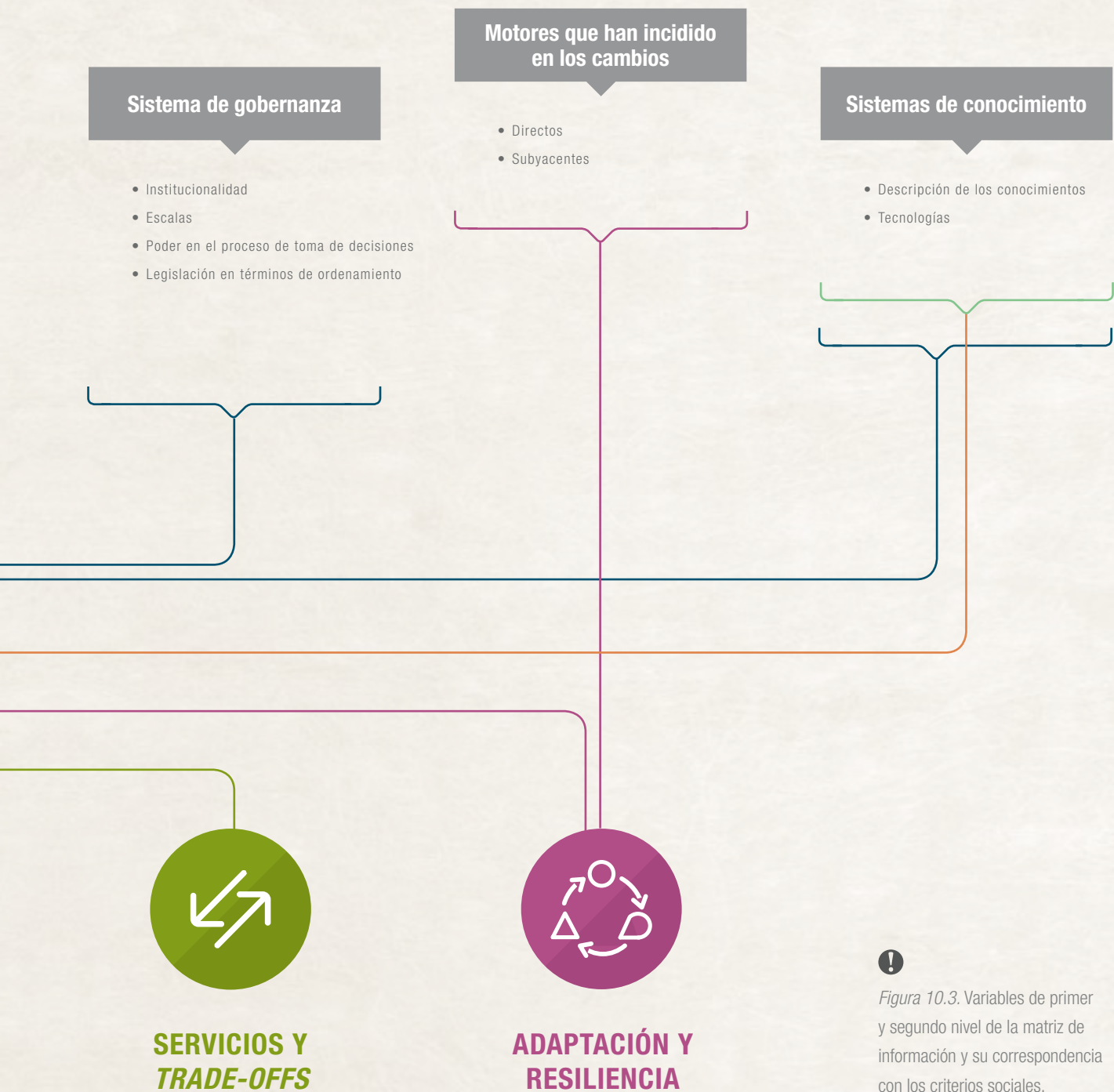


Figura 10.3. Variables de primer y segundo nivel de la matriz de información y su correspondencia con los criterios sociales, económicos e institucionales complementarios para la toma de decisiones. Adaptado del método PARDI y sugerido por PUJ (2015).

La identificación de los impulsores de cambio, así como de las dinámicas internas del Sistema Socio Ecológico (SSE), es un aspecto fundamental a tener en cuenta para el análisis de este componente. Es claro que el análisis histórico es una fuente importante para la comprensión de estas dinámicas. En este documento, el análisis se basa en gran parte en la consulta de fuentes secundarias y de algunas fuentes primarias, incluyendo entrevistas y grupos focales (criterios Adaptación y resiliencia e Instituciones y gobernanza).



1. Basado en el Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).

+ **Interacciones:** desarrolladas entre actores, entre estos y los recursos, en-

tre el sistema ecológico y el sistema social, y entre actores sociales y el sistema de normas (sistema de gobernanza). Se trata de establecer cómo cada actor utiliza los recursos y modifica las dinámicas, y de cómo interactúan los actores entre ellos y con los recursos (criterios Actores y bienestar humano e Instituciones y gobernanza).

Es importante aclarar que la caracterización y el establecimiento de los elementos para la delimitación de los humedales es un proceso iterativo. Esto quiere decir que podría verse modificado en la medida en que se avanza en el conocimiento de situaciones concretas, así como en la definición de actores, recursos y sus interacciones.

10.3.2.2 Elaboración de cuestionarios para entrevistas o encuestas¹

Entrevistas y encuestas son técnicas complementarias. Las entrevistas buscan obtener la mayor diversidad de significados sobre el tema a preguntar, mientras que las encuestas son técnicas cuantitativas que buscan explicar estadísticamente un fenómeno previamente descrito. Se pueden utilizar las dos: la entrevista como un método descriptivo, y con ella identificar elementos de análisis para trabajarlos en las encuestas.

Los cuestionarios para entrevistas o encuestas son un medio económico de recopilar datos de un número potencialmente alto de participantes. Generalmente, son el único medio viable de conseguir un número suficiente de personas para permitir un análisis estadístico de los resultados.

El cuestionario se podrá utilizar con efectividad si es capaz de recoger información sobre componentes concretos de cada uno de los criterios. Si bien los cuestionarios pueden ser métodos más económicos respecto a otros que también permiten la recopilación de datos, en la misma medida pueden resultar costosos en términos del tiempo empleado para su diseño e interpretación.



Entrevista

Es un método de investigación cualitativa, cuyo propósito es obtener descripciones del mundo de la vida del entrevistado respecto a la interpretación de los significados de los fenómenos descritos (Kvale 1996).

Se recomienda el uso de entrevistas semiestructuradas en aquellos casos en donde no se tenga identificado claramente el funcionamiento del humedal. Es un método exploratorio que luego de su análisis puede dar lugar a las encuestas.

Las entrevistas semiestructuradas tienen secuencias de temas y preguntas abiertas sugeridas que pueden ser plasmadas en una guía de la entrevista, que no necesariamente se debe cumplir en un orden determinado. Las preguntas deben ser breves y deben dar paso a respuestas amplias (Alvarez-Gayou 2006).

Las etapas necesarias para diseñar y administrar un cuestionario incluyen:

- 1 Definir los objetivos de la entrevista/encuesta.
- 2 Determinar el grupo de muestra.
- 3 Preparar el cuestionario.
- 4 Administrar el cuestionario.
- 5 Interpretar los resultados.

Un cuestionario se debe elaborar teniendo presentes los siguientes principios:

- + Contenido: se debe incluir el número mínimo de temas que sean necesarios para cumplir los objetivos: ¿qué pretende averiguar la encuesta?, ¿para qué se necesita la información?, ¿de quién y dónde se puede obtener? y ¿cómo plantear los temas del cuestionario?
- + Tiempo: el tiempo necesario para completar el cuestionario debe ser razonable (no más de 60 minutos). Si es necesario, debe limitarse el número de preguntas.
- + Facilidad de uso: el cuestionario debe ser fácil de usar como guía para las entrevistas de los investigadores o como instrumento para registrar respuestas.



Encuesta

Es un método de investigación cuantitativa, cuyo propósito es la valoración de poblaciones enteras mediante el análisis de muestras representativas de la misma. La información se obtiene mediante preguntas cerradas que se plantean a los encuestados de manera idéntica y homogénea, lo que permite su cuantificación y análisis estadístico.

Las entrevistas se aplican a una muestra significativa de una población, estadísticamente hablando. Se utilizan preguntas estandarizadas con respuestas dirigidas, cerradas y que coinciden con alguna categoría preestablecida.

Las entrevistas son recomendables cuando se tiene previamente identificado y delimitado el objeto de la pregunta y se espera con su aplicación profundizar, medir y graduar el fenómeno que se está analizando.



- F. Interacciones entre los actores del humedal y los recursos, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



G



G. Ganadería, ciénagas de Lórica, Córdoba.
Foto: María Isabel Henao.

H. Medios de vida, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

- + **Autonomía:** se deben incluir los detalles e identificación pertinentes para el investigador, tales como los datos de la persona cuestionada y la fecha en que se realizó, además de cualquier otra información de referencia (por ejemplo, datos de campo).
- + **Codificación:** para el análisis se debe realizar directamente sobre el formulario, preferiblemente a lo largo de la respuesta verbal de cada pregunta.
- + **Presentación inteligente:** se debe prestar atención a la calidad del papel, el tamaño de las hojas utilizadas, la claridad en la impresión y presentación, así como los espacios en blanco para registrar las respuestas.

10.4. ANÁLISIS DE ACTORES Y BIENESTAR

El análisis de actores y bienestar humano es fundamental para establecer quiénes

serán los interesados directos e indirectos en las decisiones sobre la delimitación, así como para reconocer la diversidad de visiones y formas sociales y culturales de quienes habitan el territorio del humedal y de quienes se benefician de él.

Para este proceso se define como actor a una persona, organización o grupo con intereses en una cuestión o un recurso particular del humedal. Los interesados directos son tanto las personas con poder para controlar el uso de los recursos como quienes carecen de influencia pero tienen medios de vida que resultan afectados si se modifica el ecosistema (MEA 2005a; de Groot *et al.* 2007).

Para abordar el análisis de este criterio es necesario:

- a. Identificar quiénes son los diferentes actores sociales relacionados directa e indirectamente con el humedal y cuáles son sus condiciones de vida.
- b. Identificar las actividades productivas que se desarrollan en el territorio del humedal o asociadas a él.



H

- c. Identificar las diferentes organizaciones sociales que hacen presencia en el territorio asociadas al humedal.
- d. Identificar las diferentes relaciones de poder entre actores.

El análisis de actores y bienestar humano debe ofrecer como resultado una descripción de los diferentes actores, sus medios de vida y las formas de agrupación y de relaciones de poder que actualmente existen en el humedal. En el proceso de delimitación de humedales, y según sean las capacidades, se pueden desarrollar cuatro fases (Figura 10.4).

Las metodologías para hacer un análisis de actores (o de interesados directos) son muy variadas (Anexo 10.2). Sin embargo, para este proceso se debe responder como mínimo a las siguientes preguntas:

- + ¿Quiénes son los actores que intervienen en el territorio y cuál es su distribución geográfica? (No solo los habitantes, sino también todos los usuarios de los servicios de los ecosistemas, incluidos

los gremios económicos que tienen incidencia en los humedales).

- + ¿Cuáles son las organizaciones sociales de la sociedad civil y otro tipo de grupos presentes localmente y en el área de influencia? (Incluir los actores armados ilegales).
- + ¿En qué condiciones sociales se encuentran los diferentes actores?
- + ¿Qué tan presentes están los procesos de pobreza, violencia y desigualdad en el territorio?
- + ¿Cuáles son las actividades productivas locales y cómo se distribuyen geográficamente?



ANÁLISIS DE ACTORES y bienestar humano

FASES

Fases sugeridas para el desarrollo del criterio de actores y bienestar humano



Aproximaciones metodológicas para cada fase sugerida

IDENTIFICACIÓN DE ACTORES



Identificar personas, grupos, asociaciones



Tener en cuenta distribución espacial, grupos étnicos, minorías, grupos cohesionados y grupos no organizados



Métodos de identificación jerárquica, identificación mutua, "bola de nieve"

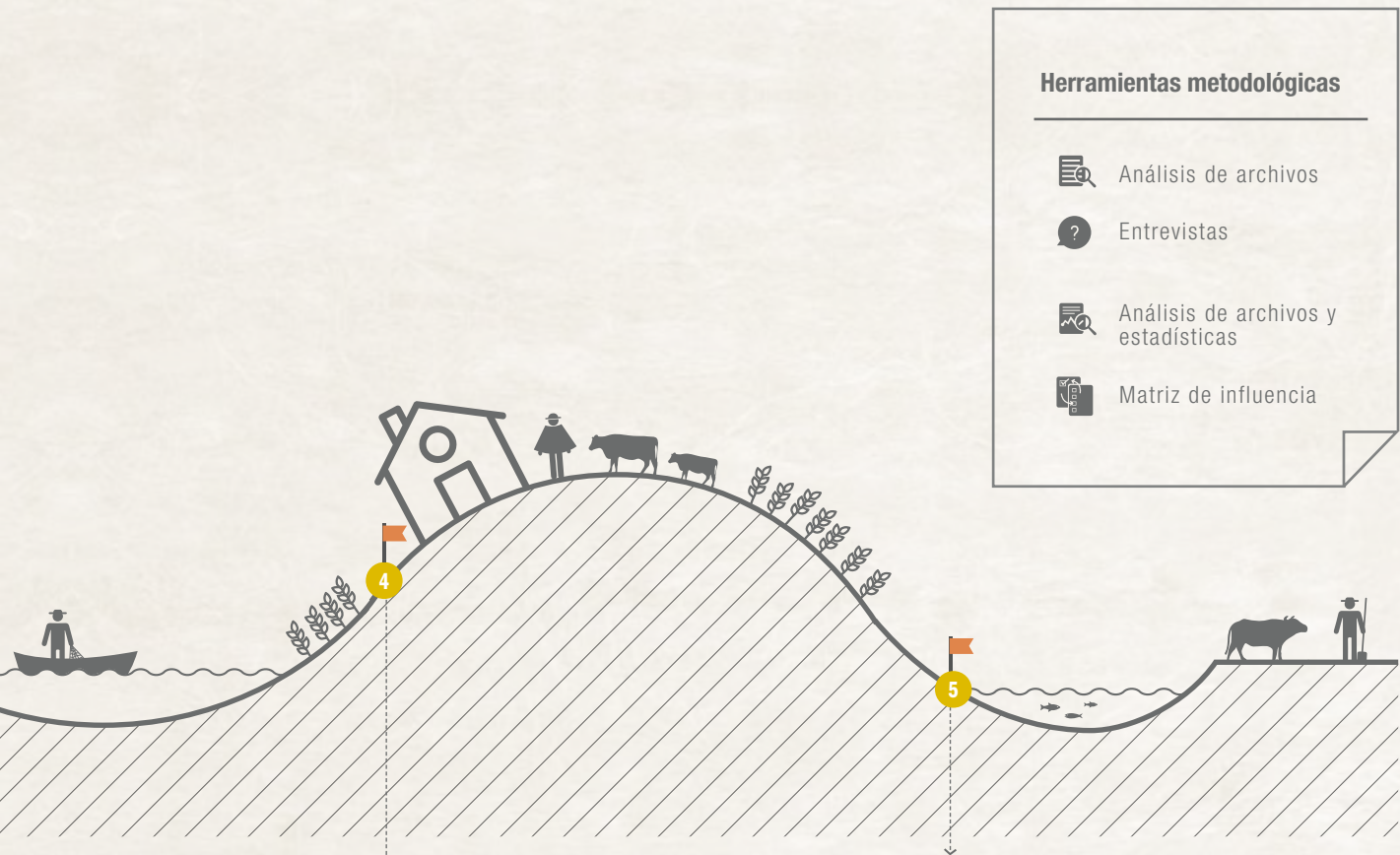
CLASIFICACIÓN DE ACTORES Y RELACIONES DE PODER



Identificar diversidad de actores por categorías



Determinar los niveles de actores asociados a la influencia e importancia (primarios, secundarios y externos)



Herramientas metodológicas

-  Análisis de archivos
-  Entrevistas
-  Análisis de archivos y estadísticas
-  Matriz de influencia

CONDICIONES DE VIDA DE ACTORES



Describir niveles de pobreza, desempleo, educación, desnutrición, etc.



Describir el grado de inequidad en las condiciones sociales



Apoyo en estadísticas y entrevistas

IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS



Identificar las diferentes actividades productivas de los actores, especialmente de los habitantes y propietarios



Relacionar con estadísticas y entrevistas



Figura 10.4. Fases sugeridas para el desarrollo del criterio de actores y bienestar humano, y herramientas metodológicas a tener en cuenta.

+ ¿Cuáles son las relaciones de poder que se dan entre los diferentes actores?

Para cada fase sugerida en el análisis de los criterios relacionados con actores y bienestar humano hay diversas aproximaciones metodológicas. En la figura 10.4 se describen algunos aspectos metodológicos a tener en cuenta en este sentido.

10.4.1. PROPUESTAS PARA EL ANÁLISIS DE ACTORES Y BIENESTAR HUMANO

Según Brown *et al.* (2001), el análisis de actores es un sistema útil para recopilar in-

formación sobre grupos o individuos que se ven afectados por decisiones. También permite clasificar esta información en categorías y explicar los posibles conflictos que pueden existir entre grupos y zonas importantes donde se pueden producir ventajas comparativas. Se puede realizar simplemente para identificar interesados directos o para investigar las posibles oportunidades de colaboración entre grupos o individuos.

A continuación se presenta la propuesta metodológica para la identificación y selección de interesados directos y para la clasificación de los interesados directos por orden de prioridad, fases 1 y 2 res-



Tabla 10.1. Métodos propuestos para las diferentes fases de un proceso de identificación y caracterización de actores.

MÉTODO	IDENTIFICACIÓN DE ACTORES, INSTITUCIONES Y ORGANIZACIONES	CLASIFICACIÓN DE INTERESADOS DIRECTOS	ANÁLISIS DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS
Análisis de documentos	x	x	x
Observación	x	x	x
Entrevistas y cuestionarios	x	x	x
Diagramas y mapas	x	x	x
Clasificación		x	
Relatos y retratos		x	x
Talleres		x	x
Líneas de tiempo			x
Tenencia de los recursos y mapas de propietarios	x	x	x
Análisis de medios de vida			x
Calificación de preferencias			x
Análisis de redes		x	x
Análisis institucional	x	x	
Análisis de la estructura de poder	x	x	x



2. Basado en el Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).

pectivamente, del análisis de criterios de delimitación relacionados con actores y bienestar humano.

10.4.1.1. Identificación y selección de interesados directos²

La primera fase de un análisis de interesados directos consiste en identificar personas, grupos y organizaciones cuya participación sea importante para la delimitación o que podrían verse afectadas por el resultado de la misma. Se pueden utilizar varios criterios de identificación como el tipo de influencia o las personas que resultan afectadas por las decisiones de la delimitación y la distribución espacial de los interesados directos identificados en todos los niveles, desde el macro hasta el micro: por ejemplo, la sociedad a niveles mundial, internacional, nacional, regional, local *ex situ* o local (criterios Adaptación y resiliencia e Instituciones y gobernanza) (Brown *et al.* 2001), ver tabla 10.1.

Entre los métodos de selección están el sistema jerárquico (del nivel macro al micro) o los cuestionarios destinados a grupos grandes para identificación mutua. Otra posibilidad de identificación mutua entre interesados directos consiste en pedir a quienes ya se hayan contactado en el proceso que señalen a quienes crean que puedan ser adecuados y que vean necesario contar con ellos. Con este proceso se descubrirá un abanico de individuos,

grupos, ONG, otras organizaciones y entidades gubernamentales. Es preciso distinguir entre interesados directos que se consideran a sí mismos como un grupo cohesivo (por ejemplo, empresas y ONG) y grupos no organizados como pequeños negocios y hogares.

Es importante resaltar que no existe un “conjunto estándar” de interesados directos adecuado para la delimitación del humedal. Además, los interesados directos cambian con el tiempo, por lo que habrá que volver a examinar los que se hayan identificado con anterioridad y no asumir directamente que todavía siguen siendo pertinentes para el proceso (Brown *et al.* 2001).

Clasificación de los interesados directos por orden de prioridad

No todos los interesados directos resultarán ser directamente pertinentes para el ejercicio concreto de delimitación de un humedal; será preciso clasificarlos por categorías según su nivel de influencia y dependencia del humedal. Además de clasificar a los interesados directos por categorías de distinto nivel de dependencia, también es necesario tener en cuenta su nivel de participación. Con ciertos interesados directos solo será necesario notificarles el resultado de la delimitación, mientras que otros deberán participar en el proceso de forma completa y directa (Figura 10.5).



1. Educación como elemento clave para el bienestar humano, escuela de Nueva Venecia, Santa Marta, Magdalena. Foto: Luis Fernando López.





MATRIZ de dependencia-influencia



Figura 10.5. Matriz de dependencia-influencia para priorizar actores sociales. Modificado de: de Groot et al. (2007).

Los interesados directos se pueden clasificar por categorías que dependen de su nivel de influencia y dependencia (Figura 10.5), de tal manera que los niveles relativos de influencia y dependencia determinan si un interesado directo es primario, secundario o externo.

La dependencia hace referencia al grado en que se considera que el interesado directo tiene un papel central respecto a una decisión que se va a adoptar. La influencia hace referencia al nivel de poder que tiene un interesado directo para controlar el resultado de una decisión y viene determinada por el control del poder y los recursos por parte de los interesados directos o su capacidad para acceder a los mismos. Los interesados directos influyentes (grupos de presión, ricos terratenientes, etc.) a menudo ya participan en el proceso o tienen acceso a él. Teniendo en cuenta estas categorías es posible distinguir tres clases de interesados directos (Figura 10.5):

- 1** Interesados directos primarios (celdas 1 y 2): quienes revisten gran dependencia del uso de los humedales y por lo tanto para el proceso. Es posible que ellos consideren tener poca influencia a pesar de que esta sea efectivamente importante.
- 2** Interesados directos secundarios (celdas 1 y 3): aquellos que pueden

ser al mismo tiempo dependientes e influyentes. Es posible que participen directamente en el proceso y son esenciales para su éxito. En algunos casos, pueden tener mucha influencia (por ejemplo, entidades gubernamentales).

- 3** Interesados directos externos (celdas 3 y 4): son quienes también pueden ser influyentes pero con tendencia a ser poco dependientes del uso del humedal y solo en actividades concretas. Sin embargo, pueden tener incidencia en los resultados.

10.4.2. PROPUESTAS PARA LAS CONDICIONES DE VIDA Y ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

La información de las condiciones de vida es fundamental para entender las condiciones reales de los actores que interactúan con el humedal. Este análisis debe incluir la descripción de los niveles de pobreza (monetaria y/o multidimensional), desempleo, educación, desnutrición, etc., así como describir el grado de inequidad en las condiciones sociales. Las fuentes principales deben ser las estadísticas nacionales que estén a nivel municipal, y por medio de entrevistas se podrá hacer una aproximación a escala local en los diferentes núcleos poblados asociados al humedal.



J. La salud del humedal ayuda a disminuir la incidencia de enfermedades infantiles, Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.





Tabla 10.2. Indicadores y fuentes de información sugeridos para la descripción de las condiciones de vida y actividades productivas de los actores en las zonas de humedal.

TEMA	INDICADOR	FUENTE
Condiciones de vida	Series de población Grupos étnicos	Estadísticas demográficas http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion
	Pobreza monetaria Pobreza multidimensional Indigencia y mendicidad	Estadísticas de pobreza y condiciones de vida http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones
	Empleo y desempleo	Estadísticas de mercado laboral http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral
Actividades productivas	Educación Población escolarizada Formación para el empleo	Estadísticas de educación http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/educacion http://menweb.mineducacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/
	Desnutrición	Estadísticas de salud http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud https://www.minsalud.gov.co/estadisticas/default.aspx
	Área de cultivos Inventario pecuario	Estadísticas del sector agropecuario http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario Sistema de Estadísticas Agropecuarias http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx Encuesta Nacional Agropecuaria http://www.dane.gov.co/index.php/servicios/muestra-mensual-de-hoteles-mmh?id=4943

Para la descripción de las diferentes actividades productivas que realizan los actores (habitantes y propietarios) en el territorio y su distribución espacial y temporal, puede hacerse uso de las estadísticas agropecuarias, gremiales y sectoriales disponibles, y complementarla con entrevistas a actores claves para entender las dinámicas locales en los municipios de influencia del humedal. En cualquier caso se recomienda el uso de las bases de datos del DANE (www.dane.gov.co), del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial SIG-OT (www.sigotn.igac.gov.co) y de entrevistas a usuarios claves, así como el desarrollo de talleres que permitan, mediante cartografía social, entender la distribución de las condiciones de vida de los

habitantes asociados al humedal y las actividades productivas (Tabla 10.2).

10.5. ANÁLISIS DE INSTITUCIONES Y GOBERNANZA

Desde el enfoque de los sistemas socioecológicos, se entiende que las instituciones son el conjunto de reglas y normas que controlan la relación entre individuos y grupos sociales con los ecosistemas (MEA 2005b, Martín-López *et al.* 2013), mientras que la gobernanza se refiere a las condiciones bajo las cuales se crean las reglas para la acción colectiva o las instituciones de coordinación social (Folke *et al.* 2005 y PUJ 2015), es decir, hace

referencia a la estructura social y los procesos asociados a la toma de decisiones por parte de diversos actores públicos, privados y mixtos, respecto a la forma en que actualmente es intervenido y administrado el humedal (Ernstson *et al.* 2010, Folke *et al.* 2005, Healey 2006, Hahn *et al.* 2008, Hufty 2008, Prats 2001, Norberg *et al.* 2008 y Stoker 1998).

El análisis de instituciones y gobernanza (Figura 10.6) es fundamental para establecer el marco de la delimitación y qué clase de herramientas normativas existen sobre el territorio: cuáles se han utilizado, cuáles se van a utilizar y cómo se articulan con las herramientas de planificación del mismo (por ejemplo, deslinde, incorporación en el POT e inscripción en instrumentos públicos). Los aspectos relacionados con las políticas, las instituciones y el gobierno influyen en el reconocimiento social y normativo del humedal y por lo tanto, en las medidas relativas a la adopción de decisiones y su manejo.

El objetivo del análisis de instituciones y gobernanza es identificar cuáles son las instituciones (formales y no formales) que regulan las interacciones entre los actores y los humedales a diferentes escalas que puedan estar determinando la conectividad, la integridad y funcionalidad de los humedales. Con ese fin se debe:

- a. Identificar la normatividad existente que se aplica al humedal tanto a nivel nacional como regional y local, teniendo en cuenta no solo aspectos ambientales sino también aquellos sectoriales que influyan en el territorio.
- b. Identificar las diferentes figuras de ordenamiento que existen en el territorio y su grado de articulación.
- c. Identificar los diferentes sistemas de tenencia de la tierra, derechos de propiedad y mecanismos para el acceso a los recursos.

Para el proceso de delimitación de humedales este análisis debe tomar los insumos del paso anterior (actores e instituciones) y complementarlos con una evaluación de las circunstancias que rodean las prácticas que se realizan actualmente en el sistema, asociadas a las herramientas con las que cuentan las diferentes entidades para hacer la gestión del territorio. Así, se debe responder por lo menos a las siguientes preguntas:

- + ¿Cuáles son las diferentes normas ambientales y sectoriales (agropecuarias, tierras, vías, entre otras) nacionales,



K. Poblados sobre el río Atrato, Medio Atrato, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.



K



ANÁLISIS DE instituciones y gobernanza

1

Análisis normativo



Normas a nivel local, departamental y nacional



Normas ambientales pero también sectoriales que involucren el uso del humedal



Entrevistas y revisión de archivos

2

Herramientas de planificación y ordenamiento



Identificación de esquemas y planes de ordenamiento territorial (POT)



Identificación de planes de manejo ambiental, planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCA)



Planes de ordenamiento sectorial (minero, agropecuario, pesquero, industrial, etc.)



Coordinación de instrumentos y grado de articulación

3

Sistemas de propiedad y tenencia de la tierra



Identificación de sistemas de tenencia de la tierra (tierras colectivas, resguardos, áreas protegidas)



Identificación de tamaños y número de predios



Figura 10.6. Fases sugeridas y actividades a tener en cuenta para el desarrollo del criterio de instituciones y gobernanza.

- departamentales y locales que aplican para la gestión del humedal, sus componentes y recursos?
- + ¿Existe otro tipo de reglas tradicionales de la comunidad para el uso y acceso a los recursos del humedal?
 - + ¿Cómo aparece el humedal en los diferentes instrumentos de planificación y ordenación del territorio? (POT/EOT).
 - + ¿Cuántos y cuáles planes de manejo, planes sectoriales y planes de vida incorporan el humedal? ¿Están relacionados entre sí?
 - + ¿Cuáles son los sistemas de tenencia/propiiedad de tierras que existen asociados al humedal? ¿Cómo es la distribución de cada sistema de propiedad? ¿Está formalizada la tenencia de las tierras del humedal?

Por su parte, los análisis de políticas y gobernanza para la delimitación de humedales son de tipo descriptivo y deben dirigirse a entender cuáles son las normas y reglas de uso del territorio del humedal,

cómo es su estructura jerárquica, cuántas de ellas están relacionadas y coordinadas, y cuántas de ellas por el contrario entran en conflicto ya sea por competencia de instituciones o por traslape geográfico, entre otras.

El análisis se puede realizar mediante múltiples herramientas metodológicas (Tabla 10.3) como la metodología PARDI sugerida anteriormente, por medio de entrevistas semiestructuradas con actores clave, especialmente de las oficinas públicas como las Secretarías de Planeación, las UMATA (Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria), las oficinas de la Superintendencia de Notariado y Registro, el IGAC y las corporaciones autónomas regionales, entre otras. También se puede complementar la información mediante el análisis de contenidos de los diferentes documentos institucionales como los planes o esquemas de ordenamiento territorial, en los que se pueden revisar las diferentes aproximaciones de gestión y ordenamiento del territorio. Las líneas de tiempo, diagramas conceptuales y mapas de relacionamiento pueden ser muy útiles para visualizar la articulación entre instrumentos, planes y entidades.



Tabla 10.3. Métodos de análisis de distintos elementos y procesos de política. Modificado: de de Groot *et al.* (2007).

MÉTODOS	INSTITUCIONES Y NORMAS	CONTEXTO, DECLARACIONES Y MEDIDAS DE POLÍTICA	PROCESOS Y PRIORIDADES DE LAS POLÍTICAS
Análisis del documento	x	x	x
Entrevistas		x	x
Clasificación de políticas	x		x
Líneas de tiempo		x	x
Diagramas y mapas	x		
Trazado del mapa de políticas	x	x	x
Análisis de interesados directos			x
Análisis de redes de agentes	x		x
Análisis institucional	x		
Análisis de la estructura de poder	x		
Visionado			x



3. Basado en el Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).

10.5.1 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE POLÍTICAS Y LOS OBJETIVOS DEL MANEJO ³

Elementos para el análisis de políticas

Basado en las hojas de orientación del Department of International Development (DFID, Sustainable Livelihoods Guidance Sheets, <http://www.livelihoods.org>) y en el seminario IFAD Sustainable Livelihoods sobre métodos para el análisis normativo e institucional (<http://www.ifad.org/sla/background/english/institution.ppt>).

- 1 Contexto, declaraciones y medida de las políticas: se debe analizar el contexto actual de políticas para ver cómo se interrelacionan, el modo en que colaboran o si son antagónicas con el fin de tener presentes las oportunidades y limitaciones.
- 2 Proceso y prioridades de las políticas: a través del análisis de las políticas existentes y sus lagunas se deben determinar las prioridades de las políticas.
- 3 Instituciones y organizaciones: las instituciones (reglas, procedi-

mientos y normas de la sociedad) y organizaciones (gobierno, sector privado y sociedad civil) forman la interfaz entre las políticas y las personas. Las preguntas orientadoras para este análisis pueden ser las siguientes: ¿por qué a menudo las declaraciones de política y lo que realmente se observa sobre el terreno es muy diferente? ¿Cómo se incorporan las realidades de la situación a microescala en los procesos de adopción de decisiones?

- 4 Estrategias para los medios de vida: el análisis de políticas con miras a lograr medios de vida y ecosistemas sostenibles precisa un entendimiento de las prioridades de sustento, los sectores de políticas que son pertinentes y si existen o no políticas adecuadas en esos sectores.

Métodos de análisis de políticas

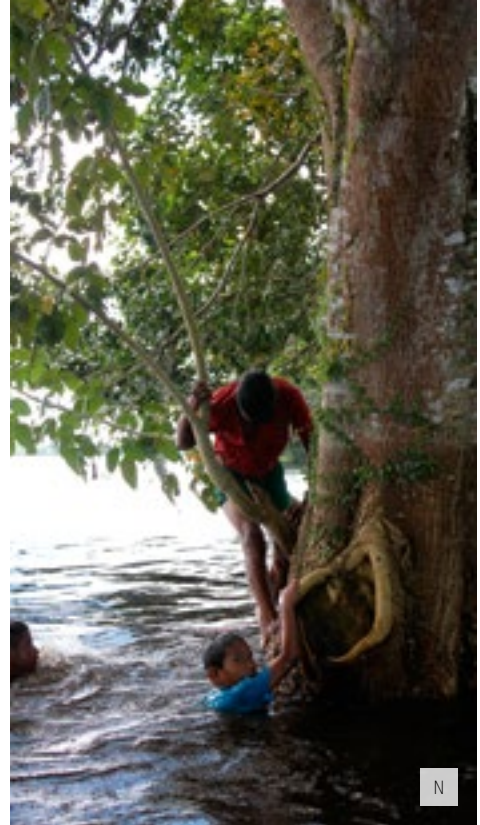
Hay ciertas cuestiones metodológicas que se deben tener en cuenta cuando se lleven a cabo estos análisis:

- + Que la política tiene posibilidades de ser solo temporal, es decir que puede





M



N

cambiar cuando los órganos de gobierno local, regional o nacional cambian su política tras unas elecciones.

- + Las políticas y su formulación son macro, meso y microprocesos. Esto significa que los encargados de su formulación pueden tener una influencia que se define en función de la política local.
- + Las instituciones y organizaciones implicadas en las mismas y en su formulación no son uniformes; cada organización tiene su propia cultura y lenguaje y no siempre transmite claramente el mensaje a los interesados directos o a otras organizaciones e instituciones. Asimismo, debe tenerse en cuenta que las políticas afectan a los distintos grupos de interesados de una forma diferente.
- + En las situaciones en que un análisis de políticas muestre que la delimitación no se puede llevar a cabo del mejor modo posible debido a limitaciones en las instituciones, la capacidad humana o el capital social, se podrían

tomar en consideración medidas de creación de capacidades y formación, así como el apoyo en investigación conexas y cooperación con asociados (SCBD 2005).

10.6. ANÁLISIS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y CONFLICTOS ASOCIADOS

Uno de los elementos más versátiles para identificar las relaciones que generan los humedales como sistemas socioecológicos son los servicios ecosistémicos, aquellos beneficios que suministran los humedales (utilizados activa o pasivamente) y que contribuyen al bienestar humano (Fisher *et al.* 2009). El suministro de servicios depende del estado en que se encuentren los humedales y responde a procesos multiescalares de tipo temporal y espacial. Los servicios son generados en un amplio rango de escalas ecológicas y son utilizados por múltiples actores a diferentes escalas (Vilardy *et al.* 2011a, Martín-López *et al.* 2009 y MEA 2005a).





- L.** Líder del Consejo Comunitario Mayor de la Asociación Campesina Integral del Atrato COCOMACIA, río Atrato, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.
- M.** Transporte fluvial, Quibdó, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.
- N.** Servicios ecosistémicos culturales del humedal, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



ANÁLISIS DE SERVICIOS ecosistémicos y conflictos asociados

1

Evaluación de servicios

-  Identificación de unidades de paisaje y servicios suministrados (identificación teórica)
-  Identificación de servicios por percepción de diferentes usuarios (entrevistas)

2

Análisis de pérdidas y ganancias de servicios (*trade-offs*)



-  Identificación de transformaciones del límite del humedal y servicios relacionados
-  Identificación de conflictos de uso entre diferentes usuarios del humedal



Figura 10.7. Fases sugeridas para el desarrollo del criterio de delimitación de servicios ecosistémicos y conflictos asociados.



La complejidad en el uso de los servicios por parte de los múltiples actores beneficiarios depende de las diferentes perspectivas sociales, culturales y económicas existentes sobre el uso y el valor de humedal. Las diferencias pueden estar basadas, principalmente, en el nivel de dependencia del uso de los servicios. El uso inadecuado o el favorecimiento del uso único de algunos de ellos puede llegar a generar transformaciones del humedal, comprometer el suministro de unos servicios por favorecer el uso de otros *trade-offs* y generar conflictos de uso (Vilardy *et al.* 2011, Hein *et al.* 2006, MEA 2005a, y Vermeulen y Koziell 2002).

El análisis de servicios ecosistémicos (Figura 10.7) tiene como objetivo identificar cuáles son los servicios que suministra el humedal y reconocer los diferentes usuarios de dichos servicios. De esta manera permite determinar los conflictos que se presentan entre los usuarios de los servicios en las diferentes zonas del humedal mediante:

a. Identificación de servicios ecosistémicos basada en las diferentes unidades ecológicas (paisajes y coberturas) del humedal.

- b. Identificación de la percepción de los servicios ecosistémicos con los diferentes beneficiarios mediante entrevistas.
- c. Identificación de los conflictos que se presentan entre los diferentes actores del humedal por el uso de diferentes servicios y su relación con la transformación de los límites del humedal.

Este análisis debe ofrecer como resultado una descripción general de los beneficios que ofrece el humedal y sus beneficiarios, en especial en las zonas de los límites funcionales del humedal. De igual manera, deberá permitir identificar la relación entre las transformaciones existentes del límite del humedal con el uso de otros servicios que se hacen del mismo y los conflictos que se han generado entre diferentes beneficiarios del sistema. Este proceso debe responder por lo menos a las siguientes preguntas:

- + ¿Cuáles son los diferentes servicios suministrados en las diferentes zonas/ unidades del humedal?
- + ¿Cuáles son los servicios más importantes para los diferentes actores?



0. La Cocha, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.

- + ¿Está cambiando el suministro de los servicios ecosistémicos? ¿Por qué motivos? ¿Cómo está afectando al humedal y a los actores? ¿Qué decisiones, actividades y procesos han causado esa transformación?
- + ¿Existen conflictos entre los diferentes usuarios por el acceso a algunos servicios? ¿Sobre cuáles servicios se están generando conflictos históricos o geográficos, entre diferentes actores o entre instituciones?

Metodológicamente, hay una gran diversidad de formas de aproximarse al análisis de servicios ecosistémicos, pero desde el enfoque de los sistemas socioecológicos se sugiere que la metodología utilizada reconozca la mayor cantidad de servicios y de actores beneficiarios, y evite los sesgos en el muestreo que no permitan visibilizar servicios importantes para algunos usuarios.

10.6.1. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SERVICIOS DE LOS HUMEDALES⁴

El primer paso en esta parte consiste en elaborar una lista de verificación de los principales servicios que se evalúan en el humedal. En el anexo 10.3 se presentan los principales servicios que proporcionan distintos tipos de humedal, tanto continentales como costeros, y su magnitud relativa general.

Según la complejidad del humedal que se está delimitando, deberían describirse los servicios correspondientes a cada uno de los principales componentes de los ecosistemas (río, lago, marisma, integrantes, etc.) y si es posible complementarlos con mapas para mostrar la distribución espacial de las áreas de suministro y demanda de cada servicio. La selección de los servicios que hay que incluir en el proceso de delimitación debe realizarse en estrecha consulta con los principales interesados directos. Metodologías para la elaboración de



P. Dinámicas socioecológicas, Santuario de Fauna y Flora El Corchal El mono Hernández, Magdalena.

Foto: Luis Fernando López.

Q. Ecoturismo, servicio ecosistémico cultural, Santuario de Fauna y Flora El Corchal El mono Hernández, Magdalena.

Foto: Luis Fernando López.



cartografía participativa de servicios ecosistémicos pueden ser revisadas en Raymond *et al.* (2009), Klain y Chan (2012), Plieninger *et al.* (2013), entre otros.

10.6.1.1. Cuantificación de la capacidad de los humedales para prestar servicios de los ecosistemas de forma sostenible

Una vez que se hayan seleccionado los principales servicios proporcionados por los humedales, debería determinarse la magnitud de su disponibilidad real y potencial sobre la base de niveles de uso sostenible.

En el anexo 10.4 se muestra una lista ejemplo de indicadores apropiados para determinar el uso sostenible de los servicios de humedal. La capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios de forma sostenible depende de las características bióticas y abióticas, que deben cuantificarse con indicadores ecológicos, biofísicos o de otro tipo que resulten apropiados. Por ejemplo, puede medirse la



capacidad de los humedales para proporcionar peces mediante los niveles máximos de capturas sostenibles (en función de la biomasa o de alguna otra unidad), la capacidad para almacenar agua mediante parámetros hidrológicos (por ejemplo, volumen de agua, velocidad del flujo, etc.) o la capacidad de uso recreativo mediante indicadores de calidad estética y la capacidad de soportar un gran número de visitantes.

Se pueden obtener más referencias, bibliografía y fuentes de datos sobre el empleo de métodos para evaluar cada uno de los servicios e indicadores de los humedales que aparecen en el anexo 10.4 a partir de fuentes de información ya existentes como las que se encuentran en www.naturevaluation.org

10.6.2 METODOLOGÍA PARA EVALUAR SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS⁵

Para construir la visión más completa posible de los servicios suministrados por el humedal, se propone una metodología apoyada en tres tipos de fuentes (Figura 10.8):



4. Basado en el Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).
5. Basado en Vilarly (2009), Vilarly *et al.* (2011a) y Vilarly *et al.* (2012)..



METODOLOGÍA para evaluar los servicios de los ecosistemas



Identificación preliminar
basada en coberturas



Identificación basada en
percepción de actores



Identificación basada
en expertos

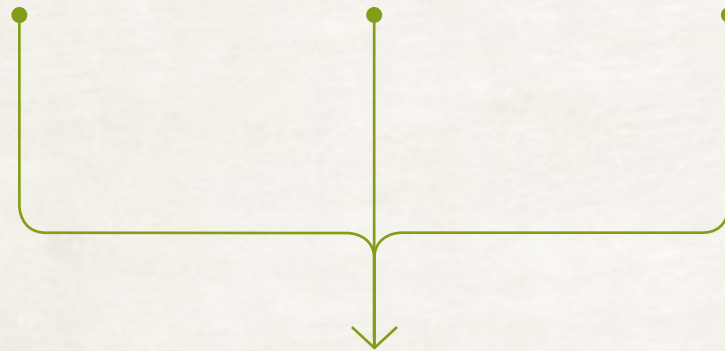


Figura 10.8. Tipos de fuentes de información para la evaluación de los servicios de la naturaleza suministrados por el humedal.

1 Identificación preliminar, basada en los mapas más recientes o disponibles de cobertura y uso del suelo y literatura científica sobre servicios de ecosistemas (Maass *et al.* 2005, MEA 2005a y de Groot *et al.* 2007) (Anexo 10.3).

2 Identificación de servicios basada en la percepción de los diferentes actores (Mandondo 1997, Kaplowitz 2000, Drew *et al.* 2005, Rodríguez *et al.* 2006 y Rönnbäck *et al.* 2007).

3 Identificación por parte de funcionarios e investigadores expertos cuya información puede servir de puente entre las dos fuentes anteriores (Tallawar y Rhoades 1998, Kaplowitz 2000 y Ericksen y Ardón 2003).

Luego de determinar la oferta de los servicios ofrecidos por el humedal, se realiza una clasificación por categorías y subcategorías, adaptando las categorías propuestas por de Groot *et al.* (2007) y Vilardy *et al.* (2011a).

+ Identificación preliminar de servicios basada en coberturas. La identificación de servicios generados por las diferentes unidades de paisaje del humedal se puede realizar estableciendo una relación entre los datos de las coberturas del humedal y las categorías generales

de servicios ecosistémicos usados en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA 2005a) o en el Informe técnico N. 3 de Ramsar “Valoración de Humedales” (de Groot *et al.* 2007). Se construye una tabla comparativa en la que se identifica la oferta de los servicios ofrecidos por cada cobertura del humedal, clasificados en tipos, categorías y subcategorías adaptando lo sugerido por de Groot *et al.* (2007).

+ Percepción de servicios, cambios y valoración de importancia. Los datos se pueden obtener mediante entrevistas semiestructuradas o entrevistas a múltiples actores en las diferentes localidades asociadas al humedal. En este caso la importancia radica en tener la mayor diversidad de tipos de actores entrevistados. Si en el lugar no hay estudios previos exploratorios, se inicia con entrevistas; si ya hay, se profundiza con encuestas. Las siguientes preguntas motivadoras pueden usarse para identificar los servicios:



R. Agricultura: servicio ecosistémico de abastecimiento, madreveja, Valle del Cauca.
Foto: Luis Fernando López.

S. Pesca: servicio ecosistémico de abastecimiento, Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.





T

1 ¿Usted qué usa, disfruta o aprovecha de este lugar (nombre del humedal)?

Posteriormente, para cada uno de los servicios identificados se puede preguntar:

2 ¿Dónde lo usa/disfruta/aprovecha?, para identificar el lugar de uso y disfrute del servicio.

3 ¿Ha cambiado la oferta del servicio mientras usted lo ha usado/disfrutado/aprovechado?, para establecer tendencias de cambio.

4 ¿Qué tan importante es para usted y su vida?, con el fin de realizar una valoración de la importancia del servicio.

+ Identificación de conflictos entre servicios. Para identificar conflictos de uso entre los servicios, se pueden realizar entrevistas en profundidad o talleres de carácter participativo con los usuarios claves, que permitan entender el origen del conflicto y los servicios y actores en conflicto. Las preguntas orientadoras para hacer el análisis de estos conflictos y sus

efectos en el límite y funcionamiento del humedal pueden ser:

1 ¿Si el servicio x que es aprovechado por el actor A1 está disminuyendo, hay algún servicio que esté aumentando y esté beneficiando a algún actor adicional?, ¿quiénes son los afectados y quiénes los beneficiados?, ¿cuáles son los otros servicios que han disminuido y aumentado?

2 ¿El cambio en el suministro de servicios se dio por alguna norma nacional, un programa económico, un proyecto (público, privado), un evento inesperado (calamidad climática, conflicto armado, etc.)?

3 ¿El cambio está asociado a alguna transformación del límite del humedal?, ¿desde hace cuánto tiempo?

Posteriormente, en la medida de las posibilidades se puede hacer uso de análisis de redes sociales, para poder caracterizar los conflictos, la intensidad de los mismos, los potenciales actores mediadores, etc.

10.7. ANÁLISIS DE LA ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA

Identificar la capacidad de adaptación que tiene un humedal ante los diferentes cambios (físicos, hidrológicos, climáticos, económicos y sociales) es clave para poder hacer una aproximación a la resiliencia de cualquier humedal como sistema socioecológico (Berkes *et al.* 2003). En este contexto, la resiliencia se entiende como la capacidad que tiene el humedal de responder a las perturbaciones sin perder las estructuras, procesos y mecanismos esenciales de su funcionamiento como un sistema socioecológico (Adger *et al.* 2005). Una aproximación a la resiliencia socioecológica de un humedal se puede lograr mediante la identificación de las capacidades que tienen los diferentes actores claves (especies y procesos claves) para reorganizar el sistema internamente, ante condiciones cambiantes y eventos de alteración (Walker *et al.* 2004).

En el proceso de gestión integral de los humedales, y en particular en la delimitación, es fundamental comprender cómo se han desarrollado históricamente las relaciones entre las diferentes comunidades locales asociadas a él, reconstruir los procesos que han generado cambios, analizar la intensidad de los mismos e identificar si los cambios obedecen a patrones. De igual manera, es necesario poder comprender cuáles han sido las respuestas adaptativas que el humedal ha generado y las configuraciones que han resultado luego de los cambios. Esta forma de aproximarse a entender la capacidad de adaptación y respuesta (resiliencia) también facilita el análisis de las posibles respuestas futuras que puede tener el humedal ante los cambios futuros (Walker *et al.* 2002, Berkes *et al.* 2003, González *et al.* 2008 y Swetnam *et al.* 1999).

El análisis de adaptación y resiliencia (Figura 10.9) tiene por objetivo identificar cuáles han sido los cambios del humedal, cómo han sido las respuestas adaptativas y cuál es la capacidad de respuesta actual ante los cambios futuros, incluido el mis-

mo proceso de delimitación. Para esto es necesario:

- a. Identificar de manera histórica las intervenciones ecológicas, sociales, económicas y políticas exitosas o que no han generado cambios en el funcionamiento del humedal.
- b. Identificar cómo los cambios han fortalecido o debilitado la capacidad de adaptación y de respuesta ecológica y social para el funcionamiento del humedal.
- c. Identificar las tendencias de funcionamiento del humedal ante diferentes escenarios de gestión.

Este análisis recoge los insumos de los tres grupos de criterios anteriores y los ubica en una perspectiva histórica y de futuro. Debe ofrecer como resultado una descripción general de los cambios que ha sufrido el humedal, en especial en las zonas asociadas a los límites funcionales de este y en aquellas zonas que son determinantes para su funcionamiento (cuenca).



T. Transportadores de mercancía, río Atrato, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

U. Pesca tradicional para consumo, bahía de Cispatá, Córdoba.

Foto: María Isabel Henao.



U



ANÁLISIS de la adaptación y resiliencia

1

Historia socioambiental



Identificación de factores claves del humedal



Descripción de los cambios de los factores claves en el tiempo (ventana entre 30 – 50 años) y los motivos que los generaron



Identificación del efecto en los límites y en el funcionamiento del humedal



Identificación de beneficiarios y afectados por los cambios

2

Escenarios de futuro



Definición de posibles escenarios y premisas



Descripción del posible comportamiento de los factores claves en cada escenario



Identificación de los efectos en el funcionamiento del humedal, en el suministro de los servicios y en el bienestar de los actores



Figura 10.9. Fases sugeridas para el desarrollo de los criterios de delimitación de humedales relacionados con la adaptación, entendida desde un análisis de la historia socioambiental, y la resiliencia como las posibilidades de respuesta de humedal en diferentes escenarios de futuro. Se mencionan las actividades a tener en cuenta.



V

De igual manera, deberá permitir identificar las tendencias de funcionamiento que pueda tener en el futuro el humedal sobre diferentes escenarios de gestión del mismo. Para este proceso se deben responder por lo menos a las siguientes preguntas:

- + ¿Cuáles han sido los cambios más importantes del humedal en los últimos 50 años? ¿cómo ese cambio afectó el funcionamiento del humedal y el reconocimiento de su límite? ¿a quiénes han beneficiado y afectado los cambios?
- + ¿Cuáles fueron las respuestas institucionales a esos cambios? ¿fueron favorables para el funcionamiento del humedal? ¿quiénes fueron los beneficiados y los perjudicados con las medidas?
- + ¿Cómo reaccionaron las comunidades locales ante los cambios? ¿se han organizado y han propuesto medidas para asumir los cambios? ¿han tenido poder de decisión?
- + ¿Cuáles son los cambios que se están proyectando en el humedal (sequías/

inundaciones, obras de infraestructura, proyectos productivos, urbanización, desecamiento, restauración, etc.)? ¿cuál será su efecto sobre los procesos claves de funcionamiento del humedal? ¿a quiénes beneficiarán y afectarán los cambios? ¿cuáles serán las instituciones que gestionarán los cambios?

Metodológicamente, se proponen dos fuentes de información para estos criterios. En primer lugar, la investigación de archivos y el análisis de contenidos en profundidad, aplicados a diferentes tipos de documentos institucionales y académicos con el fin de obtener los datos para reconstruir y comprender la historia general, la dinámica y los cambios del humedal. En segundo lugar, el desarrollo de talleres participativos con actores clave para complementar la información histórica mediante consenso y realizar ejercicios de escenarios de futuro del humedal. Para sistematizar y visualizar los análisis de la información se recomienda el uso de líneas de tiempo y mapas de relaciones entre los factores claves.



V. Población infantil: clave para la construcción de escenarios de futuro de los humedales, ciénaga de La Virgen, Bolívar. Foto: Luis Fernando López.



W



X

10.7.1 LOS ESCENARIOS DE FUTURO DE LA EVALUACIÓN DE ECOSISTEMAS DEL MILENIO⁶

Los escenarios de futuro son descripciones posibles sobre cómo se podría desarrollar el futuro de un sistema bajo una serie de supuestos coherentes sobre las relaciones entre elementos claves y procesos generadores de cambio (Carpenter *et al.* 2005). Los escenarios no son una foto fija de un determinado momento del futuro, sino que son una “película que incluye una secuencia lógica de fotos fijas e impulsores de cambio” (Rotmans 2000); además, exploran la incertidumbre asociada a los eventos futuros y ayudan a la creación de estrategias proactivas que permiten adaptar la gestión para el futuro (Huss 1988 y Wollenberg *et al.* 2000).

Estas descripciones han sido utilizadas en varios análisis ambientales a nivel mundial como los escenarios de emisio-

nes del IPCC (IPCC 2000), el UNEP’s Global Environment Outlook (UNEP 2002) y los escenarios de Visión Mundial del Agua (Cosgrove y Rijsberman 2000 y Alcamo *et al.* 1998).

En general, pueden servir para diferentes propósitos, de una manera exploratoria o como herramienta de evaluación científica para comprender el funcionamiento de un sistema particular. Son muy útiles para explorar las interacciones y vínculos hipotéticos entre las variables clave relacionadas con los ecosistemas y el bienestar humano. Los resultados de estos ejercicios pueden ser significativos para la planificación, para procesos de toma de decisiones, para ayudar a cerrar la brecha entre los científicos, las comunidades y las políticas, y también como herramientas informativas o educativas. Dependiendo del procedimiento utilizado, los escenarios pueden desafiar los supuestos que la gente tiene sobre el futuro y pueden ilustrar con sus



6. Basado en Methodology for Developing the MA Scenarios (MEA 2005b).



resultados los diferentes puntos de vista y niveles de poder de los participantes.

Los escenarios se clasifican entre exploratorios y predictivos de acuerdo al método utilizado, a las metas y a los objetivos propuestos. Los primeros son descriptivos y examinan las tendencias en el futuro. Los segundos comienzan con una visión del futuro que podría ser optimista, pesimista o neutral, y trabajan hacia atrás en el tiempo para discernir cómo ese futuro particular podría ser alcanzado. Por ejemplo, los escenarios de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio fueron desarrollados utilizando enfoques sobre todo exploratorios.

La información sobre la que pueden basarse estos escenarios puede ser cualitativa, cuantitativa o mixta. Aquellos que utilizan información cualitativa describen de manera narrativa lo que sucedería con base en las líneas de tiempo y expresan los principales mensajes del escenario

a un público no científico, mientras que los cuantitativos se basan fundamentalmente en ejercicios de modelación de los datos de procesos claves y presentan sus resultados en tablas y gráficos.

Los dos tipos de escenarios pueden ser combinados según la disponibilidad de información de tal forma que el ejercicio pueda ser mucho más robusto y cuente con narrativas que estén fuertemente argumentadas (con la modelación de datos se pueden confirmar las tendencias y dinámicas no previstas) y que pueda ser explicado y comunicado de manera más eficiente y sin mensajes contradictorios (narrativa de mensajes claves).

A veces la distinción entre los dos tipos de escenarios puede llegar a ser muy difusa. Es deseable combinar los dos tipos para compensar las debilidades que puedan presentar cada uno por separado.

La construcción de escenarios de futuro incluye tres fases:

- 1** Organización: se determina el ejercicio de construcción de los escenarios y se identifican los procesos clave y el enfoque de los diferentes escenarios alternos.
- 2** Desarrollo de la línea de tiempo y cuantificación del escenario: se elaboran las descripciones de las líneas de tiempo, se relacionan los procesos claves y sus sinergias, y si es posible se cuantifican.
- 3** Síntesis, revisión y comunicación: se sintetizan los análisis del escenario, se revisan por parte de actores claves y son comunicados.

Para mayor información se recomienda la consulta del artículo *Participatory scenario planning in place-based social-ecological research: insights and experiences from 23 case studies* (Oteros-Rozas *et al.* 2015), en donde se realiza una amplia revisión de los distintos tipos de escenarios de futuro que se han aplicado en diferentes lugares del mundo sobre análisis socioecológicos.



- W.** Adaptación al humedal, Nueva Venecia, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena.
Foto: Luis Fernando López.
- X.** Pueblo palafítico de Nueva Venecia, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena.
Foto: Luis Fernando López.

4 Escenarios de futuro: Se deben diseñar escenarios bajo supuestos a mediano o largo plazo y sobre ellos describir las proyecciones de comportamiento de los factores identificados y caracterizados previamente. Ejemplos de escenarios pueden ser (Tabla 10.5):

- + Escenario tendencial: un futuro en el que los procesos sociales, económicos, políticos y normativos sigan de la misma manera que están actualmente.
- + Escenario productivista: marcado por políticas basadas en la maximización de la producción.
- + Escenario de gestión integral del territorio: busca equilibrar las políticas e inversiones en temas sociales, ambientales y productivos.
- + Escenario deseado: escenario ideal construido por los actores participantes, que puede ser usado como escenario control.

Para cada escenario se debe realizar una descripción de cómo se comportarán los procesos claves en el futuro. Se pueden utili-

zar matrices y líneas de tiempo como herramientas para sistematizar la información, así como mapas, diagramas y dibujos para sintetizar y visualizar el resultado del ejercicio. Finalmente, en sesión plenaria se deben presentar los escenarios creados.

Este ejercicio es muy útil para ayudar a crear visiones compartidas para la gestión del humedal que pueden ser incorporadas en procesos posteriores para los planes de manejo.

10.8. ELABORACIÓN DE RECOMENDACIONES

Los capítulos anteriores aportaron la descripción metodológica para poder analizar criterios que son relevantes en el momento de entender la historia y las relaciones sociales, institucionales y normativas que se dan en torno al humedal y permiten complementar la información obtenida con los criterios para el límite funcional del humedal. El propósito de este apartado final es ofrecer una ruta crítica que permita hacer una lectura integrada de los resultados obtenidos con las metodologías para criterios biofísicos (identificación del límite funcional) junto con los resultados obtenidos para los criterios desarrollados en este capítulo.



PATO CUERVO

Phalacrocorax brasilianus
Ave acuática que habita los manglares del Pacífico colombiano.
Foto: Luis Fernando López.



Tabla 10.5. Matriz de sistematización para escenarios de futuro.

	ESCENARIO 1 TENDENCIAL	ESCENARIO 2 PRODUCTIVISTA	ESCENARIO 3 CONSERVACIONISTA	ESCENARIO 4 DESEADO
Flujos hídricos	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Pesca	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Ganadería	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Agricultura	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Instituciones	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Comunidad local	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

PARTE IV

Construyendo una
identidad socioecológica

Una vez se reconoce que la definición del límite funcional del humedal es un elemento de gran importancia para poder realizar una gestión articulada entre el ecosistema y los demás elementos del territorio, además de permitir establecer un condicionante ambiental que será útil en múltiples procesos de planificación, es posible aplicar los criterios sociales, económicos e institucionales complementarios a la toma de decisiones para explicar el motivo por el cual el límite funcional podría entrar en conflicto con los actores vinculados y no ser reconocido por ellos, así como para identificar en dónde no se ajusta de acuerdo a su percepción, cuáles actores no lo reconocen, cuáles deben ser los mecanismos para resolver el conflicto sobre el límite y entrar a proponer diferentes tipos de gestión del humedal.

Los principales motivos por los cuales el límite funcional identificado podría generar dudas tienen que ver, por ejemplo, con los procesos históricos de transformación asociados al desarrollo de centros poblados, actividades económicas sobre el humedal y procesos de deterioro crónicos en la cuenca. Así mismo, el límite ya identificado podría generar conflictos con ac-



Y. Campesino del Medio Atrato, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.

Z. Poblador de Sanquianga, Nariño.
Foto: Luis Fernando López.


Z



tores con poder interesados en el uso del humedal y sus servicios.

La ruta sugerida para hacer recomendaciones para la delimitación del humedal implica observar la articulación de ambos tipos de criterios (biofísicos y sociales, económicos e institucionales complementarios a la toma de decisiones) a partir de lo anteriormente mencionado para así identificar desde la perspectiva de las comunidades, si existen dudas o conflictos con el límite funcional. Una vez se haya cumplido este paso, si bien no debe modificar el límite encontrado con las metodologías de los criterios biofísicos, será prioritario incorporarlo como uno de los ejes dinamizadores para identificar las poblaciones y actividades económicas que están vinculadas al humedal, los conflictos de gobernanza, las relaciones de poder, los *trade-offs* entre servicios ecosistémicos y los procesos de cambio históricos y potenciales.

En estos casos se recomienda identificar geográficamente aquellos sectores en donde el límite funcional genera dudas y hacer una sectorización basada en las unidades geomorfológicas de los criterios para el límite funcional (Figura 10.10).



“La ruta sugerida para hacer
recomendaciones para
**la delimitación de los
humedales**
implica observar la articulación de
ambos tipos de criterios:
biofísicos y sociales”



A

En cada una de las zonas, se debe analizar si las dudas sobre el límite funcional están asociadas a procesos de transformación del humedal, por ejemplo para áreas de ganadería, agricultura o usos urbanos.

Es importante dimensionar la superficie de las zonas en las que el límite funcional genera conflicto, así como tener una aproximación del número de personas, propiedades y actividades económicas relacionadas directamente con la zona en conflicto. De igual manera, es necesario revisar con detalle la normativa existente, identificar si hay algún conflicto o traslape entre normas sectoriales, a diferentes escalas, o por el contrario si hay vacíos normativos. También es necesario revisar con atención los planes y esquemas de ordenamiento territorial, los planes de manejo de cuencas y otros instrumentos de planificación del territorio. Una vez identificadas las normas e instrumentos que se pueden aplicar en las zonas en conflicto, es necesario determinar las competencias de las diferentes entidades para incluirlas en el proceso de delimitación (Figura 10.10).

Al identificar las zonas en donde se presentan dudas sobre el límite funcional se sugiere construir una matriz como la de la figura 10.11, en donde se sistematice la información sobre la proporción de área transformada, los actores, los tipos

de actividades económicas y las propiedades en conflicto.

Dependiendo el grado de transformación, es importante revisar si la zona ha estado asociada a inundaciones o a eventos de amenazas y su capacidad de adaptación y resiliencia para proponer medidas de gestión de riesgo (áreas muy transformadas, con poca capacidad de adaptación y baja resiliencia) o de restauración de humedales (áreas menos transformadas, con capacidad de adaptación y resiliencia). De igual manera, es importante identificar aquellas zonas que aún no están transformadas pero que pueden llegar a estarlo según los resultados de los escenarios de futuro. Es necesario también incluir estas zonas en el análisis de la matriz para las recomendaciones de la delimitación (Figura 10.11).



A'. Pesca, actividad económica en la ciénaga de La Virgen, Bolívar.
Foto: Luis Fernando López.

B'. Fruto de la palma de chontaduro, Quibdó, Chocó.
Foto: Luis Fernando López.



B'

RUTA DE ANÁLISIS para zonas en las que el límite funcional genera conflicto



Figura 10.10. Pasos a seguir para describir la situación de las zonas donde hay conflicto con el reconocimiento social del límite funcional del humedal.

MATRIZ PARA ELABORAR recomendaciones



Figura 10.11. Matriz de sistematización para elaborar las recomendaciones de delimitación en el humedal evaluado. La información utilizada corresponde a un ejemplo.



En cualquier caso, es necesario reconocer que el límite funcional del humedal debe ser la base para la delimitación de los humedales. En aquellas zonas en las que el humedal esté transformado o se genere conflicto sobre su límite funcional, el análisis de los criterios sociales, económicos e institucionales complementarios para la toma de decisiones en la delimitación de humedales continentales permitirá comprender las razones que subyacen a este conflicto.

La elaboración de las recomendaciones para la delimitación de un humedal debe estar dirigida a hacer una gestión diferencial de cada uno y de su interior, teniendo en cuenta la zonificación y el plan de manejo. Para reconocer la heterogeneidad dentro del humedal tanto por su conformación biofísica como por los procesos humanos asociados se deben contemplar diferentes tipos de áreas; por ejemplo (Figura 10.12):

+ Áreas en donde las condiciones de funcionamiento del humedal son favora-

bles y no existen dudas sobre su límite funcional ni conflictos sobre los usos.

- + Zonas en donde se presentan conflictos activos de uso y donde es necesario centrar los esfuerzos para gestionarlos de manera participativa.
- + Zonas de gestión especial del riesgo en aquellas que ya han estado muy transformadas e intervenidas y por lo tanto han perdido funcionalidad ecológica y su capacidad para suministrar servicios de regulación.
- + Zonas de gestión dirigidas a la restauración activa en donde la transformación no haya sido tan drástica y existan posibilidades de una respuesta funcional positiva.
- + Zonas de manejo en donde se identifiquen posibles actividades en el futuro a corto y mediano plazo, que puedan generar posibles afectaciones en la funcionalidad del humedal.




C'. Canoa en aguas altas, Puerto Nariño, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.

¿SOBRE QUÉ SE HACEN las recomendaciones de la delimitación?



Figura 10.12. Diferentes tipos de recomendaciones para la gestión diferencial en un humedal.



“La elaboración de
recomendaciones
para la delimitación de los humedales
debe estar dirigida a hacer una
gestión diferencial”



LITERATURA

Adger, W. N., T. P. Hughes, C. Folke, S. R. Carpenter y J. Rockström. 2005. Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science* 309: 1036-1039.

Alcamo, J., R. Leemans y E. Kreileman (eds.). 1998. Global change scenarios of the 21st century. Results from the IMAGE 2.1 model. Pergamon & Elsevier Science. London. 296 p.

Álvarez-Gayou, J. L. 2006. Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología. Paidós Educador. 222 p.

Berkes, F., J. Colding y C. Folke. 2003. Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change. Cambridge University Press. Cambridge, U. K.

Brown, K., E. Tompkins y W. N. Adger. 2001. Tradeoff analysis for participatory coastal zone decision making. Overseas Development Group, Norwich. United Kingdom.

Burgess, J., J. Clark y C. M. Harrison. 2000. Special issue, the values of wetlands: landscape and institutional perspectives. Knowledge in action: an actor network analysis of a wetland agro-environment scheme. *Ecological Economics* 35: 119-132.

Carpenter, S. R., P. L. Pingali, E. Bennett y M. Zurek (eds.). 2005. Ecosystems and human well-being: scenarios. Island Press. Washington D. C., USA. Disponible en: <http://www.maweb/en/scenarios.aspx>

Cosgrove, W. y F. Rijsberman. 2000. WorldWater Vision: Making water everybody's business. Earthscan Publications Ltd. London. 108 p.

De Boer, A. y M. van der Wegen. (s.f.). Policy analysis. UNESCO-IHE/Coastlearn/Netcoast. Disponible en: http://www.netcoast.nl/coastlearn/website/policy_analysis/index.html

De Groot, R. S., M. Stuij, M. Finlayson y N. Davidson. 2007. Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. En: Informe Técnico de Ramsar núm. 3/núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza y Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, Canada.

Dick, B. 2000. Stakeholder analysis. Resource Papers in Action Research. Disponible en: <http://www.scu.edu.au/schools/gcm/ar/arp/stake.html>

Dobson, C. 2006. The Citizen's handbook. Vancouver Citizen's Committee. Canadá. Disponible en: http://www.vcn.bc.ca/citizens-handbook/2_16_visioning.html

Drew, W. M., K. C. Ewel, R. L. Naylor y A. Sirga. 2005. A tropical freshwater wetland: III. Direct use values and other goods and services. *Wetlands Ecology and Management* 13: 685-693.

Ericksen, P. J. y M. Ardón. 2003. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras. *Geoderma* 111: 233-248.

Ernstson, H., S. Barthel, E. Andersson y S. T. Borgström. 2010. Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: the case of Stockholm. *Ecology and Society* 15(4): 28. Disponible en: www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art28/

Fallot, A. 2013. Guía metodológica PARDI para el análisis de dinámicas socioecológicas. CIRAD GREEN. Disponible en: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00933599/document>

Fallot, A. y J. F. Le Coq. 2014. Sistemas socioecológicos: Un enfoque integral para comprender las interacciones de los seres humanos y la naturaleza. Experiencia de modelación participativa en tres territorios de América Latina. *Revista Virtual Redesma* 7:86-95. Disponible en: <http://revistavirtual.redesma.org/vol14/articulo8.php?id=c1>

Fisher, B., R. K. Turner y P. Morling. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68: 643-653.

Flanders, J. 2003. Document Analysis. Brown University. Disponible en: <http://www.wwp.brown.edu>

Folke, C., T. Hahn, P. Olsson y J. Norberg. 2005. Adaptive governance of

social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources* 30: 441-473.

González, J. A., C. Montes, J. Rodríguez y W. Tapia. 2008. Rethinking the Galapagos Islands as a Complex Social-Ecological System: Implications for Conservation and Management. *Ecology and Society* 13 (2): 13. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art13/>

Greller, J. 2006. Greller tips for teachers: using timelines in the classroom. Disponible en: <http://grellerstips.blogspot.com/2006/03/using-timelines-in-classroom.html>

Guijt, I. y E. Hinchcliff (eds.). 1998. Participatory valuation of wild resources: an overview of the hidden harvest methodology. IIED. London.

Hahn, T., L. Schultz, C. Folke y P. Olsson. 2008. Social Networks as a Source of Resilience. En: Norberg, J. y G. Cummings (eds.). *Complexity Theory for a Sustainable Future*. pp. 119-148. Columbia University Press. New York.

Healey, P. 2006. Transformative governance: challenges of institutional adaptation and a new politics of space. *European Planning Studies* 14(3): 299-320.

Hein, L., K. van Koppen, R. de Groot y E. C. van Ierland. 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 57: 209-228.

Hufty, M. 2008. Una propuesta para concretizar el concepto de gobernanza: El marco analítico de la gobernanza. En: Hubert, M. (ed.) *Gobernabilidad y gobernanza en los territorios de América Latina*. IFEA-IRD. La Paz. 637 p.

Huss, W. R. 1988. A move toward scenario analysis. *International Journal of Forecasting* 4: 377-388.

Iapad. Social (Sketch) Mapping. <http://www.iapad.org>

IDS - Institute of Development Studies. 2006. Guidance sheets. Disponible en: <http://www.ids.ac.uk/researchIFAD> Sustainable Livelihoods. (s.f.).

Approaches and methods for institutional analysis. Disponible en: www.ifad.org/sla/background/english/institution.ppt

IISD - International Institute for Sustainable Development (s.f.). Participatory rural appraisal. Disponible en <http://www.iisd.org>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.

Kaplowitz, M. D. 2000. Identifying ecosystem services using multiple methods: Lessons from the mangrove wetlands of Yucatán, México. *Agriculture and Human Values* 17: 169-179.

Klain, S. C. y K. M. A. Chan. 2012. Navigating coastal values: Participatory mapping of ecosystem services for spatial planning. *Ecological Economics* 82: 104-113. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.008>

Kok, K., D. S. Rothman y M. Patel. 2004. Final Report of European and Mediterranean scenarios: upscaling the results from the Target Area scenarios.

ICIS, Maastricht University. Working paper: I04E002.

Kok, K., D. S. Rothman y M. Patel. 2006a. Multi-scale narratives from an IA perspective: Part I. European and Mediterranean scenario development. *Futures* 38: 261-384.

Kok, K., M. Patel, D. S. Rothman y G. Quaranta. 2006b. Multiscale narratives from an IA perspective: Part II. Participatory local scenario development. *Futures* 38: 285-311.

Kumar, S. 2003. Power cycle analysis of India, China and Pakistan in regional and global politics. *International Political Science Review* 24(1): 113-22.

Kvale, S. 1996. *InterViews. An introduction to qualitative research interviewing*. Sage Publications. 326 p.

Maass, J. M., P. Balvanera, A. Castillo, G. C. Daily, H. A. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda y V. J. Jaramillo. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10(1): 17. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/>

MacNamara, C. 1999. General guidelines for conducting interviews. Disponible en: <http://www.managementhelp.org/evaluatn/interview.htm>

Mandondo, A. 1997. Trees and spaces as emotion and norm laden components of local ecosystems in Nyamaropa communal land, Nyanga District, Zimbabwe. *Agriculture and Human Values* 14: 353-372.

- Martín-López, B., E. Gómez-Baggethun, J. A. González, P. L. Lomas y C. Montes.** 2009. The Assessment of Ecosystem Services Provided by Biodiversity: Re-Thinking Concepts and Research Needs. En: Aronoff, J. B. (ed.). Handbook of Nature Conservation. Nova Science Publishers, Inc.
- Martín-López, B., J. A. González, S. P. Vilarly, C. Montes, M. García-Llorente, I. Palomo y M. Aguado.** 2013. Ciencias de la sostenibilidad: Guía docente. Instituto Humboldt, Universidad del Magdalena, Universidad Autónoma de Madrid. Bogotá D. C., Colombia.
- MEA.** 2005a. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Island Press. Washington D. C.
- MEA.** 2005b. Methodology for Developing the MA Scenarios. Chapter 6. En: Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2. Island Press. Washington D. C.
- NARA - National Archives and Records.** (s.f.). Digital classroom, document analysis worksheets. Disponible en: http://www.archives.gov/digital_classroom/lessons/analysis_worksheets/worksheets.html
- Norberg, J., J. Wilson, B. Walker y E. Ostrom.** 2008. Diversity and Resilience of Social-Ecological Systems. En: Norberg, J. y G. Cumming (ed.). Complexity Theory for a Sustainable Future. pp. 46-80. Columbia University Press. New York.
- Ostrom, E.** 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325: 419-422.
- Oteros-Rozas, E., B. Martín-López, T. Daw, E. L. Bohensky, J. Butler, R. Hill, J. Martín-Ortega, A. Quinlan, F. Ravera, I. Ruiz-Mallén, M. Thyresson, J. Mistry, I. Palomo, G. D. Peterson, T. Plieninger, K. A. Waylen, D. Beach, I. C. Bohnet, M. Hamann, J. Hanspach, K. Hubacek, S. Lavorely y S. P. Vilarly.** 2015. Participatory scenario-planning in place-based social-ecological research: Insights and experiences from 23 case studies. *Ecology and Society* 20(4): 32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07985-200432><http://dx.doi.org/10.5751/ES-07985-200432>
- Overseas Development Administration.** 1995. Guidance note on how to do stakeholder analysis of aid projects and programmes. Disponible en: <http://preval.org/es/guidance-note-how-do-stakeholder-analysis-aid-projects-and-programmes>
- Palomo, I., B. Martín-López, C. López-Santiago y C. Montes.** 2011. Participatory scenario planning for protected areas management under the ecosystem services framework: the Doñana social-ecological system in southwestern Spain. *Ecology and Society* 16(1): 23. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art23/>
- Plieninger, T., S. Dijks, E. Oteros-Rozas y C. Bieling.** 2013. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy* 33: 118-129. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013>
- Prats, J.** 2001. El concepto y el análisis de la gobernabilidad. *Revista Instituciones y Desarrollo* 14-15: 239-269.
- Pretty, J. N. y S. D. Vodouhê.** 1997. Using Rapid or Participatory Rural Appraisal. In B. E. Swanson, R. P. Bentz & A. J. Sofranko (Eds.). *Improving Agricultural Extension: A Reference Manual*. Rome: FAO. pp. 67-80.

PUJ - Pontificia Universidad Javeriana.

2015. Caracterización socioecológica de tres ventanas de estudio: ciénaga de Zapatosa, ciénaga de La Virgen, humedales de Paz de Ariporo y Hato Corozal. Informe técnico Departamento de Ecología y Territorio – Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Purdue University Writing Lab. (s.f.).

Field research: conducting an Interview. Disponible en: <https://goo.gl/Z7ZwJq>

Raymond, C. M., B. A. Bryan, D. H. MacDonald, A. Cast, S. Strathearn, A. Grandgirard y T. Kalivas.

2009. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 68(5): 1301-1315. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.006>

Rhoads, B. L., Wilson, D., Urban, M. y E. E. Herricks.

1999. Interactions between scientists and non-scientists in community based watershed management: Emergence of the concept of stream naturalization. *Environmental Management* Vol. 24, No. 3, pp. 297–308.

Rietbergen-McCracken, J. y D. Narayan.

1996. Participation and social assessment, tools and techniques. World Bank. Disponible en: http://www.wds.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64193027&piPK=64187937&theSitePK=523679&menuPK=64187510&searchMenuPK=64187511&siteName=WDS&entityID=000009265_3980624143608

Rodríguez, L. C., U. Pascual y H. M. Niemeyer.

2006. Local identification and

valuation of ecosystem goods and services from Opuntia scrublands of Ayacucho, Perú. *Ecological Economics* 57: 30-44.

Rönnbäck, P., B. Crona y L. Ingwall.

2007. The return of ecosystem goods and services in replanted mangrove forests: perspectives from local communities in Kenya. *Environmental Conservation* 34: 313-324.

Rotmans, J., M. van Asselt, C. Anastasi,

S. Greeuw, J. Mellors, S. Peters, D. Rothman y N. Rijkens. 2000. Visions for a sustainable Europe. *Futures* 32: 809-831.

SCDB - Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

2005. An exploration of tools and methodologies for valuation of biodiversity and biodiversity resources and functions (Nota de la Secretaría Ejecutiva, UNEP/CBD/SBSTTA/11/INF/8). Serie de publicaciones técnicas del CDB.

SIL - Summer Institute of Linguistics.

1999. What is participatory rural appraisal? Disponible en: <http://www.sil.org/lingualinks/literacy/referencematerials/glossaryofliteracyterms/WhatIsTheParticipatoryRuralApp.htm>

Stoker, G.

1998. Governance as theory: five propositions. *International Social Science Journal* 50(155): 17-28.

Swetnam, T. W., C. D. Allen y J. L. Betancourt.

1999. Applied Historical Ecology: Using the past to manage for the future. *Ecological Applications* 9: 1189-1206.

Talawar, S. y R. E. Rhoades.

1998. Scientific and local classification and management of soils. *Agriculture and Human Values* 15: 3-14.

Taylor, S. J. y R. Bogdan (eds.).

1996. Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados. Paidós. Barcelona.

UNEP - United Nations Environment Programme. 2002. Global Environmental Outlook 3, Past, present and future perspectives. UNEP and Earthscan Publications Ltd. 446 p.

Vermeulen, S. y I. Koziell. 2002. Integrating global and local values. A review of biodiversity assessment. International Institute for Environment and Development. London.

Vilardy, S. 2009. Estructura y dinámica de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: una aproximación desde el marco conceptual de los sistemas socio-ecológicos complejos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

Vilardy, S., B. Martín-López y E. Oteros-Rozas. 2011a. Los servicios suministrados por los ecosistemas de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Vilardy, S. y J. A. González (eds.). Repensando la Ciénaga Grande de Santa Marta desde una perspectiva sistémica: distintas miradas para una visión compartida. pp. 46-67. Universidad del Magdalena y Universidad Autónoma de Madrid. Santa Marta, Colombia.

Vilardy, S., B. Martín-López, E. Oteros-Rozas y W. Renan. 2011b. Escenarios de futuro en la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Vilardy, S. y J. A. González (eds.). Repensando la Ciénaga Grande de Santa Marta desde una perspectiva sistémica: distintas miradas para una visión compartida. pp. 172-191. Universidad del Magdalena y Universidad Autónoma de Madrid. Santa Marta, Colombia.

Vilardy, S. P., J. A. González, B. Martín-López, E. Oteros-Rozas, C. Montes. 2012. Los servicios de los ecosistemas de la reserva de biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta. Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica 19: 66-83.

Vilardy, S., Ú. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, C. Aponte et al. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 100 p.

Walker B., S. Carpenter y J. Anderies. 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation Ecology 6: 14.

Walker B., C. S. Holling, S. R. Carpenter y A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and Society 9(2): 5. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>

Wollenberg, E., D. Edmunds y L. Buck. 2000. Using scenarios to make decisions about the future: anticipatory learning for the adaptive comanagement of community forests. Landscape and Urban Planning 47: 65-77.

World Bank. 1996. The World Bank participation sourcebook – methods and tools. Disponible en: <http://goo.gl/PZkOBw>



ANEXOS

ANEXO 10.1.

PRINCIPALES MÉTODOS PROPUESTOS PARA ANÁLISIS DE CRITERIOS SOCIALES, ECONÓMICOS E INSTITUCIONALES¹



Tabla 10.6 . Métodos para análisis de criterios SEI según de Groot *et al.* (2007).

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	BIBLIOGRAFÍA
Métodos de recolección de datos			
Análisis documental	Análisis de todos los tipos de documentos elaborados que podrían afectar a la valoración	Buscar documentos pertinentes, por ejemplo mediante Google™ o bibliotecas, y leerlos. Forma de señalar fuentes, hacer resúmenes y utilizar palabras clave	Flanders (2003)
Entrevistas	Entrevistas con los interesados directos competentes para las políticas (por ejemplo, los encargados de formularlas o llevarlas a la práctica, o aquellos a los que les afecta)	Seleccionar interesados directos, preparar preguntas para las entrevistas, fijar fecha y sitio, asegurar el tiempo suficiente, estar preparado para cuestiones de antecedentes/historia/funcionamiento	Purdue University Writing Lab (s.f.) y MacNamara (1999)
Métodos de evaluación general			
Análisis de interesados directos	Análisis de interesados directos que potencialmente podrían participar en la valoración, verse afectados por ella o influir en la misma	Desarrollo de criterio Actores y bienestar humano	Overseas Development Administration (1995), Dick (2000) y Rietbergen-McCracken y Narayan (1996)
Análisis de medios de subsistencia	Análisis de medios de subsistencia, en relación con la estructura de la comunidad, el empleo, las relaciones de género, etc.	Desarrollo de criterio Actores y bienestar humano	IDS (2006)

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	BIBLIOGRAFÍA
Análisis institucional	Lista de todas las instituciones competentes y su nivel de participación, conectividad	Desarrollo de criterios Actores y bienestar humano e Instituciones y gobernanza	FIDA, Sust. Livelihoods online Workshop. Environment and Natural Resource Management (IDS - Institute of Development Studies 2006).
Análisis de poder	Análisis de la estructura de poder (por ejemplo, encargados de formular políticas, interesados directos poderosos que pueden influir en las políticas, ¿a quiénes afecta?)	Desarrollo de criterio Actores y bienestar humano	Kumar (2003)
Evaluación rural participativa	Pone de relieve el conocimiento local y permite a la población local hacer su propia evaluación, análisis y planes	Estas técnicas se utilizan para recopilar información sobre recursos de la comunidad. Las técnicas incluyen el uso de recorridos por transectos, mapas, calendarios, matrices y diagramas que emplean materiales disponibles localmente	Flanders (2003)
Métodos de interpretación de datos			
Visionado	Imaginar las prioridades de política necesarias	Con la facilitación de un ayudante que habla durante el proceso de visionado	Dobson (2006)
Clasificación de preferencias	Identificación y enumeración por orden de importancia de las estrategias de subsistencia preferidas	Clasificación de preferencias. También denominada clasificación de matriz directa, es un ejercicio por medio del cual las personas identifican lo que valoran y lo que no de una clase de objetos (por ejemplo, especies de árboles o tipos de combustible para cocinar)	World Bank (1996)
Calendarios	El empleo de calendarios para el contexto de las políticas puede dar una idea del proceso de creación histórico de las mismas hasta su uso actual. Las motivaciones de las políticas quedan claras		Greller (2006)
Diagramas de flujo de estrategias	Planificación de estrategias y su dirección para lograr medios de subsistencia sostenibles y mayor capital social		FIDA, Sustainable Livelihoods online Workshop

PARTE IV

Construyendo una
identidad socioecológica



Continuación Tabla 10.6.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	BIBLIOGRAFÍA
Mapas sociales	Elaboración de mapas de la estructura social de todos los interesados directos (lista con líneas de conexión entre ellos; quién se comunica con quién)	Los mapas sociales pueden utilizarse para presentar información sobre distribución, infraestructura, demografía, grupos etnolingüísticos, riqueza, poder, interrelaciones y otras cuestiones	lapad. http://www.iapad.org/
Mapas de tenencia de recursos	Indicación de derechos y propiedad de tierras o recursos	Se muestran estudios de caso y elaboración paso por paso de mapas para una clara comprensión de cómo abordarlos	Guijt y Hinchcliff (1998)
Mapas de movilidad	Indicación de movimientos estacionales, tendencias de migración, etc.	Mapas de movilidad reales con explicaciones claras sobre cómo plasmar de manera precisa la movilidad de interesados directos en mapas	Guijt y Hinchcliff (1998)
Análisis de redes de agentes	Análisis de todos los factores que podrían influir en las acciones de la valoración y de la influencia de dicha valoración en aquellos factores que podrían verse afectados	Análisis y comparación del lenguaje que utilizan los diferentes agentes, como científicos y agricultores. Mientras que los agricultores ven malas hierbas y carrizos en las acequias, los científicos ven sistemas acuáticos con una rica colección de hábitat	Burgess et al. (2000)
Elaboración de mapas de políticas	Distribución (listado) de todas las políticas pertinentes e inserción de líneas de conexión para mostrar cómo afecta cada política a las demás	Análisis de políticas	de Boer y van der Wegen (s.f.)
Clasificación de políticas	Clasificación de las políticas por su nivel de importancia para la valoración	Análisis de políticas	de Boer y van der Wegen (s.f.)

ANEXO 10.2.

PRINCIPALES MÉTODOS UTILIZADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE ACTORES²



Tabla 10.7. Métodos para identificación de actores según de Groot *et al.* (2007).

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	FUENTES / REFERENCIAS
Análisis de documentos y Examen de los datos	Examen de datos existentes sobre posibles interesados directos y/o la cuestión conexas de para qué se necesita el análisis de interesados directos	Alcaldías, ONG locales, organizaciones e instituciones implicadas
Observación	Observación de posibles interesados directos, interacción entre ellos	Rhoads (1999)
Entrevistas	Con miras a una determinación precisa para la selección de interesados directos. Método para estimar el nivel de participación, la estructura de poder, el nivel de influencia, etc.	Purdue University Writing Lab (s.f.) y MacNamara (1999)
Tenencia de los recursos y mapas de propietarios	Se muestran estudios de caso y el cartografiado real paso a paso para tener una idea clara sobre cómo tratar la cuestión	Guijt y Hinchcli (1998)
Diagramas, mapas	Mapas de movilidad real con explicaciones claras sobre cómo plasmar de forma precisa la movilidad de los interesados directos en mapas	Guijt y Hinchcli (1998)



1. Tomado del Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).
2. Tomado del Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).

 **ANEXO 10.3.**

**SERVICIOS PROPORCIONADOS
POR HUMEDALES³**

Los símbolos muestran la magnitud relativa (por unidad de superficie) de cada servicio proveniente de diferentes tipos de ecosistema de humedal, siguiendo

la escala baja ●, media ●● y alta ●●●. El símbolo de cierre de interrogación (?) indica que se desconoce la escala, y las celdas en blanco indican que no se considera aplicable el servicio al tipo de humedal. La información de las siguientes tablas representa la opinión experta para una muestra media mundial de humedales, aunque existirán diferencias locales y regionales en las magnitudes relativas.



Tabla 10.8. Servicios proporcionados por los humedales continentales.

SERVICIOS (COMENTARIOS Y EJEMPLOS)	RÍOS Y ARROYOS TEMPORALES Y PERMANENTES
De aprovisionamiento	
Alimento: producción de pescado, especies silvestres procedentes de la caza, frutas, cereales	●●●
Agua dulce: almacenamiento y retención de agua, provisión de agua para regar y beber	●●●
Fibras, combustibles y otras materias primas: producción de madera, leña turba, forraje, conglomerados	●●
Productos bioquímicos y recursos medicinales	●
Materiales genéticos: genes para resistencia de agentes fitopatógenos	●
Especies ornamentales (por ejemplo: peces de acuario)	●
Regulación de calidad del aire (por ejemplo: captura de partículas de polvo)	
Regulación del clima: regulación de gases con efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos	●
Regímenes hidrológicos: carga/descarga de aguas subterráneas, almacenamiento de agua para agricultura o industria	●●●
Control de contaminación y eliminación de toxicidad: retención y eliminación de nutrientes excesivos y contaminantes	●●●
Protección contra la erosión: retención de suelos y prevención de cambio estructural (por ejemplo: erosión de la costa, corrimiento de riberas, etc.)	●●
Mitigación de riesgos naturales: control de inundaciones, protección contra tormentas	●●
Regulación biológica (por ejemplo: control de plagas y polinización)	●
Culturales y recreativos	
Patrimonio e identidad culturales (sentido de ubicación y pertenencia)	●●



3. Tomado del Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).



Continuación Tabla 10.8.

SERVICIOS (COMENTARIOS Y EJEMPLOS)	RÍOS Y ARROYOS TEMPORALES Y PERMANENTES
Inspiración espiritual y artística: sentimientos personales y bienestar, importancia religiosa	●
Recreativos: oportunidades para el turismo y las actividades recreativas	●
Estéticos: apreciación de las características naturales	●
Educativos: oportunidades para la educación y capacitación formales e informales	●
De apoyo	
Biodiversidad y lugares de cría: hábitat para especies residentes o migratorias	●
Formación de suelos: retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	●
Ciclado de nutrientes: almacenamiento, reciclado, procesamiento y adquisición de nutrientes	●



Tabla 10.9. Servicios proporcionados por los humedales costeros.

SERVICIOS (COMENTARIOS Y EJEMPLOS)	ESTUARIOS Y MARISMAS
De provisionamiento	
Alimento: producción de pescado, algas e invertebrados	●
Agua dulce: almacenamiento y retención de agua, provisión de agua para regar y beber	●
Fibras, combustible y otras materias primas: producción de madera, leña turba, forraje, conglomerados	●
Productos bioquímicos y recursos medicinales	●
Materiales genéticos: medicina, genes para resistencia a agentes patógenos	●
Especies ornamentales (por ejemplo: peces de acuario)	●
De regulación	
Regulación de la calidad del aire (por ejemplo: captura de partículas de polvo)	
Regulación del clima: regulación de gases con efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos	●

	LAGOS ESTACIONALES, MARISMAS Y PANTANOS, INCLUIDAS LLANURAS DE INUNDACIÓN	HUMEDALES ANDINOS DE MONTAÑA Y DE LA TUNDRA	MANANTIALES Y OASIS	HUMEDALES GEOTÉRMICOS	HUMEDALES SUBTERRÁNEOS, INCLUIDOS SISTEMAS DE CUEVAS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS
	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●
	●	●	?	?	
	●	●	●	?	●

	MANGLARES	LAGUNAS (INCLUIDAS SALINAS)	BAJOS INTERMAREALES, PLAYAS Y DUNAS	ALGAS PARDAS	ARRECIFES DE CONCHAS Y ROCOSOS	PRADERAS DE PASTOS MARINOS	ARRECIFES DE CORAL
	●	●	●	●	●		
	●	●	●	●	●		●
	●	●	●	●	●		
	●	?	?	?	?	?	?
	●	?	●	?	?	?	?
	●	?	●	?			
		●	●				
	●	●	●	●		●	●



Continuación Tabla 10.9.

SERVICIOS (COMENTARIOS Y EJEMPLOS)	ESTUARIOS Y MARISMAS
Regímenes hidrológicos: carga/descarga de aguas subterráneas, almacenamiento de agua para agricultura o industria	●
Control de contaminación y eliminación de toxicidad: retención de recuperación y eliminación de nutrientes excesivos y contaminantes	●
Protección contra la erosión: retención de suelos	●
Mitigación de riesgos naturales: control de inundaciones, protección contra tormentas	●
Culturales y Recreativos	
Patrimonio e identidad culturales (sentido de ubicación y pertenencia)	●
Inspiración espiritual y artística: sentimientos personales y bienestar, importancia religiosa	●
Recreativos: oportunidades para el turismo y las actividades recreativas	●
Estéticos: apreciación de las características naturales	●
Educativos: oportunidades para la educación y capacitación formal e informal	●
De apoyo	
Biodiversidad y lugares de cría: hábitat para especies residentes migratorias	●
Formación de suelos: retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	●
Ciclado de nutrientes: almacenamiento, reciclado, procesamiento y adquisición de nutrientes	●

 **ANEXO 10.4.**

**INDICADORES PARA
DETERMINAR EL USO
SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS
DE LOS HUMEDALES**



Tabla 10.10. Matriz de indicadores de uso sostenible para cada servicio ecosistémico prestado por el humedal. Tomado del Manual de valoración de humedales Ramsar (de Groot *et al.* 2007).

SERVICIOS	PROCESOS O COMPONENTES ECOLÓGICOS QUE PROPORCIONAN EL SERVICIO (O INFLUYEN EN SU DISPONIBILIDAD) = FUNCIONES	INDICADOR DE ESTADO (CANTIDAD DE SERVICIO PRESENTE)	INDICADOR DE RESULTADOS (CANTIDAD QUE SE PUEDE USAR O PROPORCIONAR DE FORMA SOSTENIBLE)
De aprovisionamiento			
Alimento: producción de pescado, algas e invertebrados	Presencia de plantas o animales comestibles	Existencias totales o medidas (en kg)	Productividad neta (en kcal/año u otra unidad)
Agua dulce: almacenamiento y retención de agua, provisión de agua para regar y beber	Precipitación o aporte de aguas superficiales	Cantidad de agua (en m3) Calidad del agua en relación con el uso (concentración de nutrientes, metales, etc.)	Entrada de agua neta en m3/año (es decir, entrada de agua menos el agua utilizada por el ecosistema y para otras necesidades)
Fibras, combustible y otras materias primas: producción de madera, leña, turba, forraje, conglomerados, etc.	Procesos bióticos y abióticos que influyen en la calidad del agua (véase depuración de aguas)	Biomasa total (en kg/ha)	Productividad neta (en kg/año)
Productos bioquímicos y recursos medicinales	Presencia de especies o componentes abióticos con uso potencial para combustible o materias primas	Cantidad total de sustancias útiles que pueden extraerse (en kg/ha)	Recolección sostenible máxima

SERVICIOS	PROCESOS O COMPONENTES ECOLÓGICOS QUE PROPORCIONAN EL SERVICIO (O INFLUYEN EN SU DISPONIBILIDAD) = FUNCIONES	INDICADOR DE ESTADO (CANTIDAD DE SERVICIO PRESENTE)	INDICADOR DE RESULTADOS (CANTIDAD QUE SE PUEDE USAR O PROPORCIONAR DE FORMA SOSTENIBLE)
Materiales genéticos: genes para resistencia frente a agentes fitopatógenos	Presencia de especies con material genético potencialmente útil	Valor total como “banco genético” (por ejemplo, número de especies y subespecies)	Recolección sostenible máxima
Especies ornamentales: por ejemplo, peces y plantas de acuario	Presencia de especies o recursos abióticos con uso ornamental	Biomasa total (en kg/ha)	Recolección sostenible máxima
De regulación			
Regulación de la calidad del aire: por ejemplo, captura de partículas de polvo	Capacidad de los ecosistemas para extraer aerosoles y productos químicos de la atmósfera	Índice de superficie foliar, fijación de NO, etc.	Cantidad de aerosoles o productos químicos “extraídos” o efecto sobre la calidad del aire
Regulación del clima: regulación de gases con efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos	Influencia de los ecosistemas en el clima local y mundial por medio de la cubierta terrestre y de procesos con mediación biológica	Balance de gases con efecto invernadero, producción de sulfuro de dimetilo (DMS), características de la cubierta terrestre, etc.	Cantidad de gases con efecto invernadero, etc., fijados o emitidos, efecto sobre parámetros climáticos
Regímenes hidrológicos: carga/descarga de aguas subterráneas, almacenamiento de agua para agricultura o industria	Papel de los ecosistemas (especialmente bosques y humedales) para capturar y liberar gradualmente el agua	Capacidad de almacenamiento de agua en la vegetación, suelo, etc., o en la superficie	Cantidad de agua almacenada e influencia del régimen hidrológico (por ejemplo, irrigación)
Control de la contaminación y eliminación de la toxicidad: retención, recuperación y eliminación de nutrientes excesivos y contaminantes	Papel de la biota y los procesos abióticos en la eliminación o descomposición de la materia orgánica, nutrientes y compuestos de xenón	Desnitrificación (kg N/ha/año), acumulación en plantas (kg), demanda biológica de oxígeno/ha/año, quelación (combinación con metales)	Máxima cantidad de residuos que pueden reciclarse o inmovilizarse de forma sostenible, influencia sobre la calidad del agua o el suelo
Protección contra la erosión: retención de suelos	Papel de la vegetación y la biota en la retención de suelos	Cubierta vegetal, matriz radicular, etc.	Cantidad de suelo retenido o sedimento capturado
Mitigación de riesgos naturales: control de inundaciones, protección costera y contra tormentas	Papel de los ecosistemas en la amortiguación de fenómenos extremos (por ejemplo, protección mediante manglares y arrecifes de coral contra daños causados por huracanes)	Capacidad de almacenamiento de agua (regulación) en m ³ , características estructurales de los ecosistemas	Reducción del peligro de inundaciones y prevención de daños a infraestructuras
Regulación biológica: por ejemplo, control de plagas y polinización	Control de la población mediante relaciones tróficas, papel de la biota en la distribución, abundancia y eficacia de los polinizadores	Número e impacto de las especies para control de plagas, número e impacto de especies polinizadoras	Reducción de enfermedades humanas, plagas del ganado, etc., dependencia de los cultivos de la polinización natural



Continuación Tabla 10.10.

SERVICIOS	PROCESOS O COMPONENTES ECOLÓGICOS QUE PROPORCIONAN EL SERVICIO (O INFLUYEN EN SU DISPONIBILIDAD) = FUNCIONES	INDICADOR DE ESTADO (CANTIDAD DE SERVICIO PRESENTE)	INDICADOR DE RESULTADOS (CANTIDAD QUE SE PUEDE USAR O PROPORCIONAR DE FORMA SOSTENIBLE)
Culturales y recreativos			
Patrimonio e identidad culturales: sentido de ubicación y pertenencia	Rasgos paisajísticos o especies culturalmente importantes	Presencia de rasgos paisajísticos o especies culturalmente importantes (por ejemplo, número de sitios del Patrimonio Mundial -WHS-)	Número de personas que usan los ecosistemas como patrimonio e identidad cultural
Inspiración espiritual y artística: la naturaleza como fuente de inspiración del arte y la religión	Rasgos paisajísticos o especies con valor inspirador para las expresiones artísticas y religiosas del hombre	Presencia de rasgos paisajísticos o especies con valor inspirador	Número de personas que dan significado religioso a los ecosistemas, número de libros, cuadros, etc., que utilizan los ecosistemas como inspiración
Recreativos: oportunidades para el turismo y las actividades recreativas	Rasgos paisajísticos, flora y fauna silvestres atractivas	Presencia de elementos silvestres o paisajísticos con valor recreativo declarado	Número máximo sostenible de personas e instalaciones, uso real
Estéticos: apreciación del paisaje natural (por motivos distintos a las actividades deliberadamente recreativas)	Calidad estética del paisaje, basada por ejemplo en la diversidad estructural, el verdor o la tranquilidad	Presencia de rasgos paisajísticos con apreciación declarada	Valor estético expreso, por ejemplo: número de casas en los límites de zonas naturales, número de usuarios de rutas pintorescas
Educativos: oportunidades para la educación y capacitación formales e informales	Rasgos con valor/ interés científico o educativo especiales	Presencia de rasgos con valor/ interés científico o educativo especiales	Número de visitas de clases, número de estudios científicos, etc.
De apoyo			
Biodiversidad y lugares de cría: hábitat para especies residentes o migratorias	Importancia de los ecosistemas para proporcionar hábitat de reproducción, alimentación o descanso a especies residentes o migratorias (y así mantener un cierto equilibrio ecológico y proceso evolutivo)	Número de especies endémicas residentes, integridad del hábitat, superficie mínima crítica, etc.	Valor ecológico (es decir, diferencia entre el valor de biodiversidad real y potencial), dependencia de especies u otros ecosistemas del área de estudio
Formación de suelos: retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	Papel de las especies o ecosistemas en la formación de suelos	Cantidad de capa superficial de suelo formada (por ejemplo, por ha y año)	Estos servicios no pueden utilizarse directamente pero constituyen la base para la mayoría de los demás, especialmente protección contra la erosión y tratamiento de residuos
Ciclado de nutrientes: almacenamiento, reciclado, procesamiento y adquisición de nutrientes	Papel de las especies, el ecosistema o el paisaje en los ciclos biogeoquímicos	Cantidad de nutrientes (re) ciclados (por ejemplo, por ha/año)	Estos servicios no pueden utilizarse directamente pero constituyen la base para la mayoría de los demás, especialmente protección contra la erosión y tratamiento de residuos



“Los criterios SEI son relevantes en
el momento de entender la
historia y las
relaciones sociales,
institucionales y
normativas
que se dan en torno al humedal”

CAPÍTULO 11

Gestión del riesgo, adaptación al cambio climático y humedales

Gustavo Wilches-Chaux

El enfoque de la gestión del riesgo, aplicado a la multiplicidad de tipos de humedales con los que cuenta el país, busca no solo fortalecer su resiliencia frente a distintos motores de cambio, sino restaurar estos ecosistemas después de los efectos de eventos de origen natural o antrópico que los han deteriorado. La resiliencia efectiva de un ecosistema depende de que su sistema de autorregulación posea la flexibilidad necesaria para responder a la ocurrencia tanto de eventos más probables como de aquellos menos probables. Así, los conocimientos y las sensibilidades esenciales para incorporar la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático en el manejo de humedales son los mismos que se necesitan para realizar una acertada y efectiva gestión ambiental.

Si bien se prevén algunos efectos del cambio climático sobre la dinámica de los eventos hidrometeorológicos, aún es incierto afirmar que como consecuencia del mismo se presenten alteraciones en los fenómenos asociados a la variabilidad climática, ya sean nuevos o conocidos, con alteraciones en su frecuencia y magnitud. Así, es importante recordar que la incertidumbre es inherente a los pronósticos meteorológicos y a los escenarios de cambio climático y que, en consecuencia, la

gestión del riesgo, así como la adaptación al cambio y a la variabilidad climática, constituyen, en gran medida, ejercicios de gestión prospectiva de la incertidumbre.

Este capítulo busca promover la perspectiva de gestión del riesgo de desastres como parte de la identificación de los límites funcionales de los distintos tipos de humedal. No contiene en sí mismo un abordaje metodológico, pero desarrolla los conceptos básicos que pueden ser in-



A. Aguas altas, río
Loretoyacu, Amazonas.
Foto: María Isabel Henao.



corporados en el análisis de criterios, ya sean físicos o socioecológicos, a lo largo del proceso de delimitación.

11.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

11.1.1. DESASTRE

Los desastres no se deben confundir con las dinámicas naturales que los desencadenan, sino que son el resultado de la vulnerabilidad de los territorios a los efectos de las mismas. Enfatizar en que “los desastres no son naturales” es requisito para entender las verdaderas causas que los generan y para poder intervenir sobre ellas. Se suele culpar a la naturaleza por la ocurrencia de desastres, pero esto oculta la verdadera causa de los mismos e impide que se tomen acciones para fortalecer la resiliencia del territorio y evitarlos.

11.1.2. GESTIÓN DEL RIESGO

Algunos de los componentes esenciales de la visión de la gestión del riesgo o gestión del riesgo de desastres que se adopta en este capítulo surgieron en América Latina

en la década de los años 90 del siglo XX y constituyen un salto cualitativo importante frente a lo que hasta ese momento se limitaba a la atención de emergencias y desastres. La gestión del riesgo reconoce la importancia de prepararse para responder adecuada y oportunamente ante situaciones de emergencia y desastres que no hayan podido evitarse, y hace especial énfasis en la necesidad de intervenir efectivamente sobre los factores generadores de los riesgos para impedir, en lo posible, que se conviertan en desastres o para reducir su impacto.

El marco regulatorio en Colombia está dado por la Ley 1523 de 2012¹, que en el Artículo 4 provee una definición de gestión de riesgo acorde con lo ya mencionado². Por su parte, el concepto de riesgo de desastre³ ratifica que el riesgo es una visualización anticipada de lo que podría ocurrir en caso de que llegara a materializarse una amenaza en un territorio que sea vulnerable a sus efectos, por lo cual este es inseparable del concepto de incertidumbre. Si bien la norma menciona que el riesgo de desastres se deriva de la relación entre amenaza y vulnerabilidad, para los fines que se persiguen con este capítulo se asume el riesgo como un producto (no la suma) de ambos factores. Esto



1. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
2. Gestión del riesgo: “proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.
3. Riesgo de desastre: “corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad”.



PARTE IV

Construyendo una identidad socioecológica

permite entender que una intervención adecuada que logre disminuir por lo menos uno de los factores generadores del riesgo (amenaza o vulnerabilidad) también logra reducir el producto/riesgo derivado de la confluencia de ambos. En este capítulo no consideramos la “exposición” como un factor adicional, sino que la incorporamos como parte de la vulnerabilidad frente a una amenaza.

La gestión del riesgo también se ocupa de sistemas de alerta temprana que le permiten a la sociedad estar lista para enfrentar la posible ocurrencia de una emergencia o de un desastre, y para recuperarse posteriormente.



B. Tala de bosques: amenaza de tipo antrópico, Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

C. La mujer como actor clave para identificar estrategias de adaptación al cambio climático.

Foto: Luis Fernando López.

D. Afectaciones sobre el derecho del humedal a que su cauce y sus orillas no sean alteradas.

Foto: Luis Fernando López.

11.1.3. AMENAZA

Una amenaza, definida por la Ley 1523 de 2012⁴, es un fenómeno que al materializarse representa un peligro para un territorio o sistema vulnerable a sus efectos. Esto quiere decir que la condición de amenaza no es intrínseca al fenómeno en sí mismo.

De acuerdo con el origen del proceso o fenómeno, existen tres tipos de amenazas: natural, socionatural y antrópica (Cepredenac 2007). Cuando se presentan de manera simultánea, o unas pueden dar lugar a otras, se dice que son amenazas conca-



B



C

tenadas o interrelacionadas: por ejemplo, cuando los escombros que deja la destrucción generada por un terremoto son depositados en un humedal, con todas las consecuencias que ello implica.

La amenaza de origen natural se origina de un proceso o fenómeno propio de la dinámica de la naturaleza, como un terremoto, una erupción volcánica, una inundación natural, una temporada seca, etc. Cuando las amenazas tienen su origen en dinámicas naturales, resulta casi imposible intervenir para reducirlas, por lo cual la gestión del riesgo debe centrarse en disminuir la vulnerabilidad frente a las mismas. A esto hace referencia la palabra “mitigación” en el campo de la gestión del riesgo⁵.



D

Las amenazas siconaturales son aquellas que de una u otra manera son “disparadas” o incrementadas por intervenciones humanas y cuyos efectos se manifiestan en los ecosistemas. Las intervenciones humanas (motores de cambio) que debilitan la integridad, la diversidad y por ende la resiliencia de los ecosistemas se convierten en generadoras de amenazas contra las comunidades mismas. Tal es el caso, por ejemplo, de un deslizamiento provocado por el manejo inadecuado de las aguas lluvias o residuales en una meseta o ladera, o por la construcción de una carretera en una montaña sin una adecuada gestión ambiental/gestión del riesgo.

Otro ejemplo son las amenazas en que se convierten las “reacciones naturales” del agua cuando se violan sus derechos fundamentales:

- + Derecho a existir: continuidad del ciclo hidrológico (sequía).
- + Derecho a no ser contaminada (pérdida de su valor de uso).
- + Derecho a su propio espacio y a que su cauce y sus orillas o rondas no sean alteradas (desbordamientos, “avalanchas”).
- + Derecho a fluir en superficie como escorrentía y a ser absorbida por infiltración (desbordamientos).



4. Amenaza: “peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”.
5. En el campo del cambio climático el concepto de mitigación hace referencia a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

PARTE IV

Construyendo una identidad socioecológica



- E. Afectaciones sobre el derecho del humedal a no ser contaminado (pérdida de su valor de uso).

Foto: Luis Fernando López.



En el caso de las amenazas siconaturales, la gestión del riesgo debe buscar tanto la reducción de la vulnerabilidad (mitigación) como la intervención sobre el componente de origen humano que desencadena o incrementa la magnitud del fenómeno natural que se convierte en amenaza.

Las amenazas de origen antrópico son eventos o procesos generados directamente por actividades humanas sin intención expresa de causar daños como los accidentes industriales, o bien con la intención expresa de producirlos.

Las amenazas concatenadas (Figura 11.1) son aquellos fenómenos de carácter natural o antrópico que surgen como consecuencia de un primer evento natural desencadenante. En muchas ocasiones estas amenazas resultantes son las principales causantes de las pérdidas humanas y materiales que constituyen el desastre.

En los análisis de riesgos que pueden llegar a pesar sobre los humedales resulta indispensable tener en cuenta este tipo de amenazas, al igual que para determinar los factores e interacciones que deben ser fortalecidos para aumentar la resiliencia de los ecosistemas frente a amenazas potenciales identificadas y aquellas no previstas.

11.1.4. VULNERABILIDAD

Definida como la susceptibilidad (fragilidad física, económica, social, ambiental

o institucional) que tiene un territorio o un sistema de ser afectado negativamente por un evento físico peligroso que se presente⁶. Se asume, de acuerdo a los objetivos propuestos en el presente texto, como: Incapacidad de un sistema para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea, su “inflexibilidad” o incapacidad para adaptarse a ese cambio. La vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico, es decir, surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular. El resultado de esa interacción es el “bloqueo” o incapacidad de la comunidad para responder adecuadamente ante la presencia de un riesgo determinado, con el consecuente desastre.

11.1.5. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

La Ley 1523 de 2012, en su Artículo 4, define “adaptación al cambio climático” como el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos, la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la



- 6 Vulnerabilidad, de acuerdo con la Ley 1523 de 2012, se define como: “susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”.

AMENAZA concatenada



TERREMOTO DEL MUNICIPIO DE PÁEZ DURANTE UNA FUERTE TEMPORADA INVERNAL

JUNIO 6 DE 1994



+ de 3000 desplazamientos registrados por Ingeominas



Avalancha que en algunos lugares del cañón alcanzó **70 metros** de altura



1200 personas muertas y desaparecidas.
40.000 hectáreas de suelo destruidas



Figura 11.1. Ejemplo que muestra cómo el fenómeno natural que inicialmente genera el desastre también genera amenazas concatenadas, que en últimas son las que más daños causan.



F



F. Derecho del humedal a fluir en superficie, Ciénaga Grande de Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

G. Necesidades básicas insatisfechas como vulnerabilidad de la comunidad, Valle del Cauca.

Foto: Luis Fernando López.

H. Humedal como espacio de oportunidades para la recreación y la educación ambiental, Beté, Chocó.

Foto: Luis Fernando López.

vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.

En general, la gestión del riesgo es una herramienta esencial para la adaptación a la variabilidad climática y al cambio climático.

Por su parte, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) define la adaptación como “aquellas iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático”.

11.1.6. ADAPTACIÓN BASADA EN ECOSISTEMAS

De acuerdo con el CONPES 3700, que establece la Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia y con la necesidad de elaborar un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) (DNP s.f.), la adaptación basada en ecosistemas se define como aquella que “integra el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en una estrategia de adaptación general que ayuda a las comunidades humanas a adaptarse a los impactos adversos del cambio climático”.

Esta aproximación se soporta en el manejo sostenible, conservación y restauración de ecosistemas para proveer servicios que les permitan a las personas adaptarse tanto a la variabilidad climática actual como al cambio climático. El objetivo es mantener e incrementar la “resiliencia” de los ecosistemas, lo que al final se traduce en una reducción de su vulnerabilidad y por ende de las personas que dependen de ellos. En este capítulo entendemos que la adaptación debe lograrse en los territorios, los cuales surgen de la interacción permanente entre dinámicas naturales (ecosistémicas, incluyendo las hidrometeorológicas) y sociales, económicas e institucionales.

11.2. MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL

La Ley 1523 de 2012, ya citada para efectos de las definiciones en el apartado anterior, actualiza lo establecido en el Decreto 919 de 1989, en el que se creó el primer Sistema Nacional para la Prevención de Desastres. Dicha disposición establece que el análisis y evaluación del riesgo implica la consideración de las causas y fuentes de este, sus consecuencias y la probabilidad de que ellas puedan ocurrir. Así, el análisis y evaluación del riesgo es el modelo que relaciona la amenaza y la vulnerabilidad con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Los resultados de ese análisis se concretan en escenarios de riesgo. Además, allí se estima el posible valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se definen los tipos de intervención y el alcance de la reducción del riesgo, así como la preparación para la respuesta y recuperación de acuerdo con criterios de seguridad territorial o resiliencia socioecosistémica previamente establecidos.

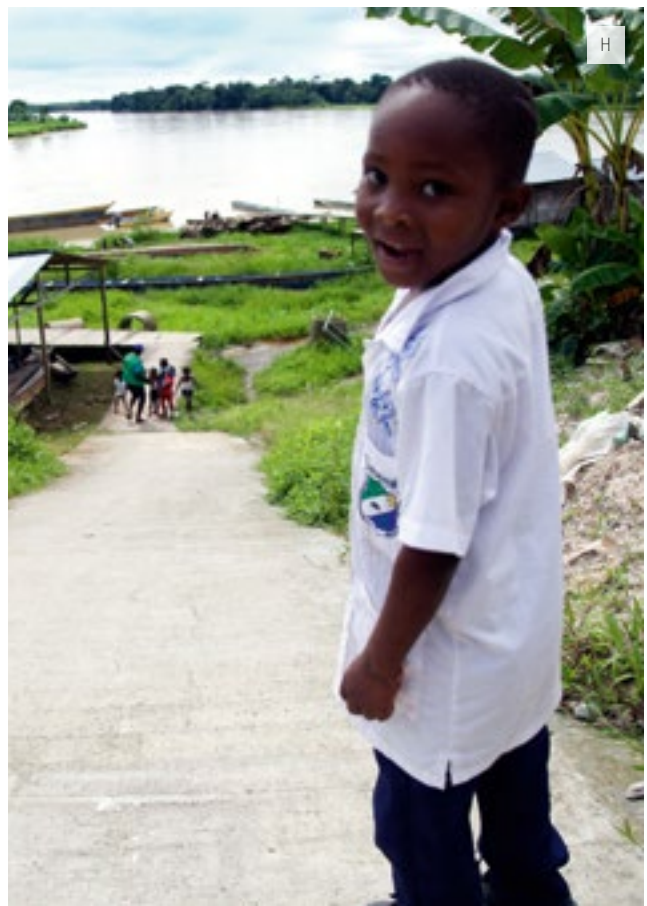
A su vez, a raíz de los efectos del fenómeno de La Niña del 2010 y 2011, la Ley 1523 de 2013 reorganiza las competencias de los entes territoriales en cuanto la gestión del riesgo de desastres y esta-

blece que los municipios, departamentos y corporaciones autónomas deberán concurrir para efectuar las acciones oportunas en este sentido.

De manera importante, el Artículo 31 de la ley mencionada define la colaboración entre entes territoriales y las corporaciones autónomas, así como la relación entre gestión ambiental, adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres, de la siguiente manera:

Las corporaciones autónomas regionales como integrantes del sistema nacional de gestión del riesgo (...) apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo. **Parágrafo 1°.** El papel de las corporaciones autónomas regionales es complementario y subsidiario respecto a la labor

de alcaldías y gobernaciones, y estará enfocado al apoyo de las labores de gestión del riesgo que corresponden a la sostenibilidad ambiental del territorio (...). **Parágrafo 2°.** Las corporaciones autónomas regionales deberán propender por la articulación de las acciones de adaptación al cambio climático y la de gestión del riesgo de desastres en su territorio, en virtud que ambos procesos contribuyen explícitamente a mejorar la gestión ambiental territorial sostenible. **Parágrafo 3°.** Las corporaciones autónomas regionales como integrantes de los consejos territoriales de gestión del riesgo, en desarrollo de los principios de solidaridad, coordinación, concurrencia y subsidiariedad positiva, deben apoyar a las entidades territoriales que existan en sus respectivas jurisdicciones en la implementación de los procesos de gestión del riesgo de acuerdo con el ámbito de su competencia y serán corresponsables en la implementación.



11.3. CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

11.3.1. GESTIÓN DEL RIESGO Y GESTIÓN AMBIENTAL

¿Qué diferencia existe en la práctica entre gestión ambiental y gestión del riesgo?. La primera es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio (Red de Desarrollo Sostenible de Colombia s.f.).

La gestión del riesgo de desastres, por su parte, involucra un componente correctivo y prospectivo, que tiene como objetivo primordial intervenir sobre los factores de riesgo. De este modo coincide con los propósitos y las estrategias de una gestión ambiental integral bien entendida y coherentemente ejecutada. A su vez, tiene un componente reactivo cuyo fin es responder adecuada y oportunamente para remediar los daños que haya generado un desastre que no haya podido evitarse.

La gestión ambiental también tiene un componente reactivo que algunas veces está centrado en la atención a la emergencia (que no se excluye, como por ejemplo cuando se moviliza de urgencia para reducir los efectos del derrame de petróleo en un cuerpo de agua) y otras en la recuperación de los ecosistemas donde haya ocurrido un desastre. En los casos en los que la resiliencia socioecosistémica haya resultado damnificada por la ocurrencia de un evento de origen natural, socionatural o antrópico, los enfoques y las herramientas de la dimensión reactiva de la gestión del riesgo se constituyen como herramientas claves para la gestión ambiental.

El objetivo común de los procesos de gestión territorial (que incluyen ges-

ción ambiental, gestión del riesgo y adaptación al cambio climático, y que no son excluyentes sino que constituyen un *continuum*) es fortalecer la seguridad territorial (Wilches-Ch. 2016) o resiliencia socioecosistémica de los territorios en donde se llevan a cabo.

11.4. LOS HUMEDALES Y LA GESTIÓN DEL RIESGO DESDE UNA PERSPECTIVA SOCIOECOLÓGICA

La incorporación de la adaptación al cambio climático en la gestión de humedales tiene por objeto fortalecer la resiliencia efectiva de los ecosistemas, la cual depende de que su sistema de autorregulación posea la flexibilidad necesaria para responder a la ocurrencia tanto de eventos más probables como de aquellos menos probables.

Se propone identificar cuáles son esas porciones y dinámicas del humedal que sustentan tanto su resiliencia “interna” como su capacidad para fortalecer la resiliencia de los territorios de los cuales forma parte. Se trata también de identificar y fortalecer los factores críticos y las interacciones que le permiten al ecosistema ser resiliente es decir, amortiguar los efectos de dinámicas externas (derivadas del cambio o de la variabilidad climática, o de otros procesos) y los mecanismos de autorregulación que posibiliten su recuperación y adaptación a nuevas circunstancias y tensionantes.

La Figura 11.2 muestra de qué manera las “vulnerabilidades” del humedal se traducen en el debilitamiento de su resiliencia, lo cual a su vez genera amenazas contra las comunidades humanas.

Así mismo, las “vulnerabilidades” de la comunidad generan amenazas contra los humedales, que a su vez crean amenazas contra las comunidades (Figura 11.3).

Es importante que las autoridades ambientales y otros actores que de una u otra manera tienen a su cargo la gestión de los humedales posean una buena caracteriza-



PALAFITO

Adaptación de las comunidades humanas al humedal.

Foto: Luis Fernando López.



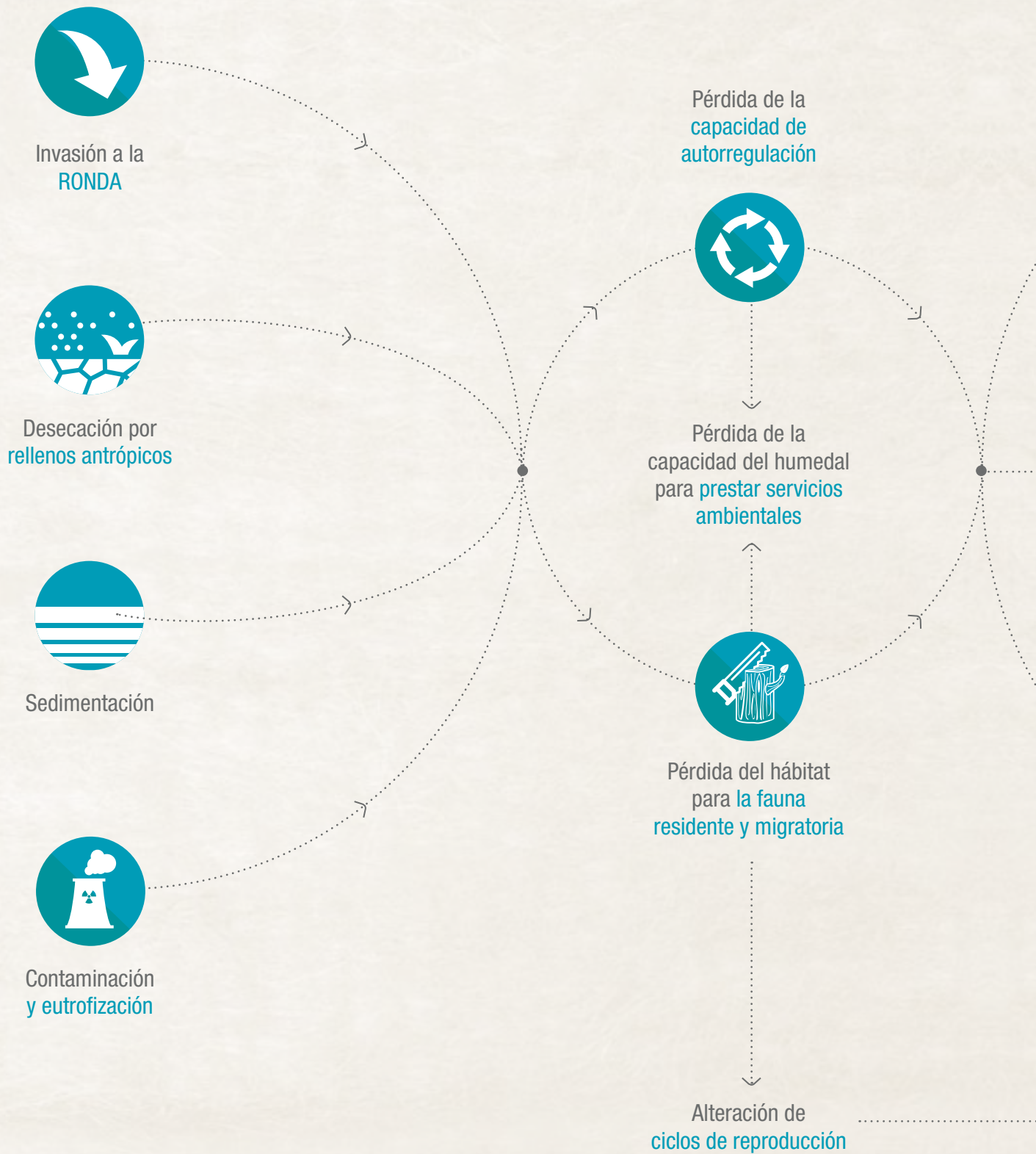
“La seguridad territorial

considera que el *territorio humedal* surge de la interacción permanente entre

ecosistemas y comunidades,

y que este posee sus propios sistemas de autorregulación que determinan su resiliencia”

REDES DE CAUSALIDAD: humedal - comunidad



1

VULNERABILIDADES DEL HUMEDAL

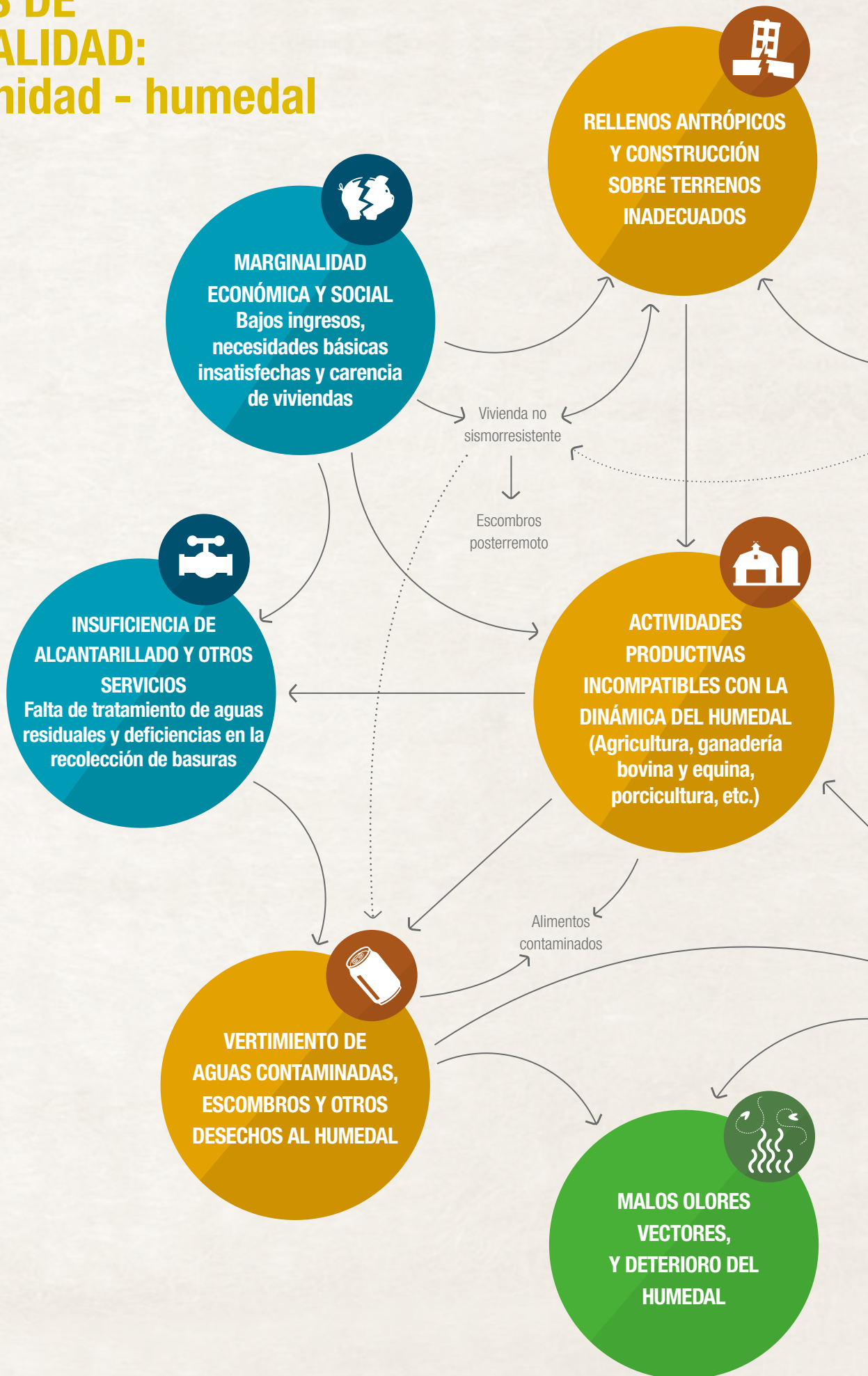
2

AMENAZAS PARA LA COMUNIDAD



Figura 11.2. Ejemplos de redes de causalidad entre vulnerabilidades y amenazas.

REDES DE CAUSALIDAD: comunidad - humedal





- 1** VULNERABILIDADES DE LA COMUNIDAD
- 2** AMENAZAS PARA EL HUMEDAL
- 3** AMENAZAS PARA LA COMUNIDAD

!
Figura 11.3. Vulnerabilidades de la comunidad como generadoras de amenazas para los humedales.

ción y comprensión de su estructura funcional, de la cual depende su resiliencia socioecosistémica. De esa manera podrán interactuar oportuna y adecuadamente con los ecosistemas tanto en situaciones normales como en escenarios de emergencia o desastre, en los cuales es necesario evaluar el daño que un evento haya podido general sobre esa resiliencia.

11.5. LA SEGURIDAD TERRITORIAL

La propuesta para la inclusión efectiva de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático con enfoque desde la resiliencia en la gestión de humedales giran alrededor del concepto de seguridad territorial.

Este concepto-herramienta parte de considerar, por un lado, que el territorio “humedal” surge de la interacción permanente entre ecosistemas y comunidades y, por otro, que este posee sus propios sistemas de autorregulación que determinan su resiliencia. De esta misma condición surge la necesidad de garantizar que el territorio se reconozca como un actor activo en las decisiones que las comunidades humanas toman sobre el mismo y que intereses y derechos sean tenidos en cuenta

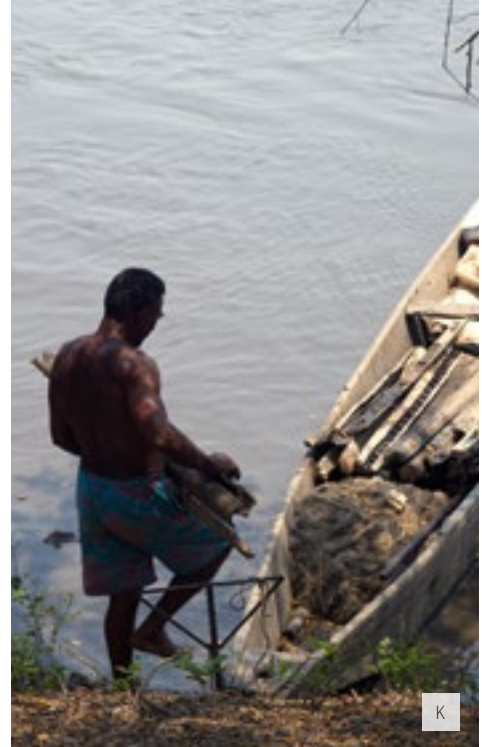
en esas decisiones. En este sentido, el concepto de “territorio seguro” coincide plenamente con el de socioecosistema.

Un territorio seguro es aquel capaz de ofrecerles seguridad integral tanto a los ecosistemas como a las comunidades (lo cual incluye a sus instituciones), y esa capacidad se origina de la interacción dinámica y permanente entre cada uno de los factores. Es importante que cada factor, que por lo general coincide con uno o más actores del territorio, sea fuerte, pero más importante es la fortaleza de las interacciones e interdependencias que los vinculan entre sí.

De esas interacciones surge una red cuya fortaleza, basada en la flexibilidad, es esencial para que los humedales absorban sin traumatismos el impacto de cambios ocurridos en el interior del territorio o en su entorno (resistencia), así como para recuperarse oportuna y adecuadamente (resiliencia) cuando no hayan podido resistir totalmente el impacto del cambio si se ha generado algún daño al sistema.

Como ya se mencionó, la incertidumbre es un factor fundamental a tener en cuenta, especialmente cuando la adaptación se refiere a escenarios que de alguna manera son inciertos. La clave de esa gestión prospectiva de la incertidumbre radica en que cualquier intervención que





surja de la gestión ambiental, de la gestión del riesgo o del propósito de adaptar el territorio al cambio climático fortalezca la resiliencia de los actores y su capacidad para reconformar el tejido de la seguridad territorial (resiliencia socioecosistémica), de manera que pueda absorber el impacto de cambios conocidos e inesperados: amenazas de todo tipo o motores de cambio. Así, el humedal como ejemplo de red de la seguridad territorial, resultado de todas las interacciones descritas, debe fortalecerse como un territorio seguro y resiliente.

11.5.1. EL HUMEDAL COMO FUENTE DE AMENAZAS PARA EL TERRITORIO

Así como el humedal natural o artificial puede ser simultáneamente un territorio seguro y a la vez un factor importante para la resiliencia socioecosistémica del territorio más amplio del cual forma parte, también puede convertirse en fuente de amenazas para ese espacio, sus comunidades e incluso para otros ecosistemas. Esto ocurre cuando el humedal ha perdido su resiliencia socioecosistémica, normalmente debido a

alteraciones como consecuencia de actividades humanas arbitrarias.

En humedales artificiales existe el doble reto de garantizar que el ecosistema esté en capacidad de resistir sin traumas los efectos de distintas dinámicas de origen natural, socionatural o antrópico, pero sobre todo de evitar que se convierta en fuente de amenazas para el territorio del cual ha entrado a formar parte. El ideal es que el humedal artificial se consolide como una ventaja comparativa para la capacidad del territorio en su adaptación a la variabilidad y al cambio climático.

La manera de lograrlo es mediante estudios de impacto ambiental adecuados, conjuntamente con diagnósticos ambientales de alternativas elaborados con participación real y efectiva de todos los actores que de una u otra manera puedan resultar afectados por las transformaciones que generará el nuevo humedal en el territorio.

El enfoque ético y técnico con que el proyecto se diseñe, se ejecute y posteriormente se administre debe contribuir a mejorar integralmente las condiciones de las cuales dependen los distintos actores que se relacionan con el humedal y con el territorio más amplio del cual forma parte.



- I. Humedal como respuesta de la interacción permanente entre ecosistema y la comunidad, Beté, Chocó. Foto: Luis Fernando López.
- J. Marginalidad económica y social como vulnerabilidad de la comunidad, ciénaga de La Virgen, Bolívar. Foto: Luis Fernando López.
- K. Pescadores: actores del humedal y del territorio, Banco Magdalena, Magdalena. Foto: Luis Fernando López.



LITERATURA

Cepredenac - Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. 2007.

Glosario actualizado de términos en la perspectiva de la reducción de riesgo a desastres. Glosario CRID. Disponible en: <http://cambioclimatico.cridlac.org/glosario>

DNP - Departamento Nacional de Planeación. s.f. **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).**

Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/ambiente/Paginas/plan-nacional-de-adaptacion.aspx>

Red de Desarrollo Sostenible de Colombia. s.f. Comunidad gestión ambiental.

Disponible en: <http://www.rds.org.co/gestion/>

Wilches-Ch., G. 2016. El concepto-herramienta de la seguridad territorial y la gestión de humedales. En prensa.



→ Disminución de la actividad pesquera producto de la alteración de ciclos de reproducción, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena.
Foto: Luis Fernando López.



Libro finalizado en
mayo de 2016



