

**GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL
ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS
EN COLOMBIA**

Bogotá, 2018

MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
LUIS GILBERTO MURILLO URRUTIA

VICEMINISTRO DE POLÍTICAS Y NORMALIZACIÓN AMBIENTAL
WILLER EDILBERTO GUEVARA HURTADO

DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO
JAIRTON DÍEZ DÍAZ
DIRECTOR

DIRECCIÓN DE BOSQUES, BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
CESAR REY ANGEL
DIRECTOR

EQUIPO TÉCNICO
Claudia Liliana Buitrago Aguirre, Sergio Andrés Salazar Galán.

OFICINA ASESORA JURÍDICA
Claudia Fernanda Carvajal Miranda, Héctor Abel Castellanos Pérez.

AGRADECIMIENTOS

Colaboradores equipo de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Claudia Patricia Pineda González, Carlos Arturo Álvarez, Luis Alfonso Escobar Trujillo, Ricardo Arnold Baduin Ricardo, Diana Marcela Moreno Barco, Luz Francy Navarro Cuervo, Tania Fernanda Santos Santos, Edgar Olaya Ospina, Gina Paola Gallo Gil, Javier Eduardo Posada Muñoz, Walter Leonardo Niño Parra, Juan Sebastián Hernández, Andrés Felipe Rojas, Hilda María Palacio Betancur, Juan Diego González Parra, Hernando Ovalle, Oscar Hernán Manrique, Natalia María Ramirez.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Jaime Ignacio Vélez Upeguí, Verónica Botero Fernández, José Humberto Caballero Acosta, Oscar Mesa Sánchez, Marleny Durango López, Laura Flórez Botero, Miriam Benjumea Hernández, Jenny Machado, José David Ramírez Abraham, Mario Alberto Jimenez Jaramillo, Henry Garzón Sánchez Jose David Ramirez, Abraham John Jairo Gallego, José Manuel Mojica Vélez, Carolina Neme, Carlos Alberto Zarate Yepes, Clara Inés Villegas Palacio

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	9
1 GENERALIDADES	11
1.1..... Antecedentes.....	11
1.2..... Propósito de la Guía.....	12
2 MARCO CONCEPTUAL	13
2.1..... Procesos geomorfológicos y fluviales	16
2.2..... Cuerpos de agua en el sistema fluvial	23
2.2.1 Nacimientos.....	23
2.2.2 Tipos de ríos.....	23
2.2.3 Sistemas lénticos.....	29
2.2.4 Desembocaduras de ríos al mar	32
3 MARCO METODOLÓGICO	33
3.1..... Fase 0. Acciones previas	35
3.2..... Fase 1. Delimitación del cauce permanente o de la línea de mareas máximas.....	36
3.3..... Fase 2. Definición del límite físico y de estrategias para el manejo ambiental de la ronda hídrica	36
3.3.1 Definición del límite físico.....	36
3.3.2 Definición de estrategias para el manejo ambiental	37
4 FASE 0: ACCIONES PREVIAS	38
4.1..... Priorización de cuerpos de agua para el acotamiento de su ronda hídrica	38
4.1.1 Criterios de priorización.....	38
4.1.2 Metodología para realizar el análisis multicriterio de priorización.....	41
4.2..... Recopilación de información secundaria	42
4.2.1 Información requerida.....	42
4.2.2 Fuentes de información.....	43
4.3..... Alistamiento institucional	45
4.3.1 Comisión conjunta	45
4.3.2 Diseño de la estrategia de participación	45
4.3.3 Diseño conceptual de la base de datos geográfica	45
4.3.4 Programación de actividades	45
5 FASE 1: DELIMITACIÓN DEL CAUCE PERMANENTE O DE LA LÍNEA DE MAREAS MÁXIMAS	46
5.1..... Delimitación del cauce permanente en sistemas lóticos.....	46
5.1.1 Identificar preliminarmente las formas del terreno asociadas al cauce permanente	48

5.1.2	Delimitar el ancho del cauce permanente y verificarlo en campo.....	50
5.1.3	Delimitar el cauce permanente del sistema lótico	50
5.2.....	Delimitación del cauce permanente en sistemas lénticos.....	50
5.2.1	Identificar y clasificar el sistema léntico desde la macroescala	52
5.2.2	Delimitar el cauce permanente desde las formas del terreno.....	52
5.2.3	Identificar en campo descriptores	52
5.2.4	Delimitar el cauce permanente desde la amplitud del pulso de inundación	52
5.2.5	Delimitar el cauce permanente del sistema léntico	54
5.3.....	Delimitación de la línea de mareas máximas.....	54
6	FASE 2: DEFINICIÓN DEL LÍMITE FÍSICO Y DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO AMBIENTAL DE LA RONDA HÍDRICA.....	55
6.1.....	Definición del límite físico.....	55
6.1.1	Delimitación del componente geomorfológico	55
6.1.2	Delimitación del componente hidrológico.....	71
6.1.3	Delimitación del componente ecosistémico	89
6.1.4	Definición del límite físico de la ronda hídrica	103
6.2.....	Directrices para el manejo ambiental de las rondas hídricas	103
6.2.1	Generalidades	103
6.2.2	Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011	104
6.2.3	Identificación de actores.....	106
6.2.4	Identificación de servicios ecosistémicos.....	107
6.2.5	Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas.	108
6.3.....	De la remisión de los resultados del acotamiento de las rondas hídricas y de sus estrategias para el manejo ambiental a los municipios y distritos.....	110
7	SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN.....	112
7.1.....	Indicadores para sistemas lóticos	112
7.1.1	Índice de calidad del bosque de ribera (QBR)	112
7.1.2	Índice de evaluación del bosque de ribera (RFV)	116
7.1.3	Otros indicadores	121
7.2.....	Indicador del estado y estructura de la ronda hídrica en sistemas lénticos.....	121
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
	ANEXO I. FORMATOS PARA ENTREVISTA CON COMUNIDADES.....	132
	Anexo I.1. Formato para inundaciones fluviales lentas	132
	Anexo I.2. Formato para avenidas torrenciales	133
	ANEXO II. FORMATOS PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS.....	134
	Anexo II. 1. Formato para inundaciones fluviales lentas	134
	Anexo II. 2. Formato para avenidas torrenciales	135
	ANEXO III. CRITERIOS MÍNIMOS A CONSIDERAR PARA LA OCUPACIÓN DE RONDAS HÍDRICAS	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Criterios para determinar el componente geomorfológico de las rondas hídricas en corrientes de montaña.....	61
Tabla 6-2. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en corrientes de piedemonte.....	62
Tabla 6-3. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en corrientes de llanura.....	62
Tabla 6-4. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en desembocaduras.....	69
Tabla 6-5. Preguntas por utilizar en ejercicios participativos de análisis de transectos.....	79
Tabla 6-6. Insumos base para la delimitación del componente ecosistémico.....	94
Tabla 6-7. Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.....	97
Tabla 6-8. Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje. Fuente: Londoño (2001).	98
Tabla 6-9. Cálculo de densidades de drenaje para diferentes cuencas de Colombia a escala 1:25000.	98
Tabla 6-10. Rangos de clasificación de áreas aferentes. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.	99
Tabla 7-1. Grado de cobertura de la zona de ribera. Fuente: FEM (s.f.).....	113
Tabla 7-2. Estructura de la cobertura. Fuente: FEM (s.f.)	113
Tabla 7-3. Calidad de la cobertura. Fuente: FEM (s.f.).....	114
Tabla 7-4. Tipo geomorfológico según la puntuación. Fuente: adaptado de FEM (s.f.).....	114
Tabla 7-5. Grado de naturalidad del cauce.....	115
Tabla 7-6. Interpretación de la calificación.....	116
Tabla 7-7. Criterios para la evaluación de la continuidad longitudinal.....	118
Tabla 7-8. Criterios para la evaluación de la continuidad transversal	118
Tabla 7-9. Criterios para la evaluación de la complejidad	119
Tabla 7-10. Criterios para la evaluación de la regeneración natural	119
Tabla 7-11. Código cualitativo para la determinación del estado final del bosque de ribera a partir del índice RFV.....	120
Tabla 7-12. Código de asignación del valor final del índice RFV a partir de la puntuación de los cuatro indicadores parciales.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas. Fuente: adaptado de Poff et al. (1997).	13
Figura 2-2. Ejemplos de dinámicas dentro del sistema fluvial. Adaptado desde http://www.mdba.gov.au/ .	17
Figura 2-3. Zonas del sistema Fluvial de acuerdo con Schumm (1977). Fuente: Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	18
Figura 2-4. Corrientes de montaña. Parte alta del Sistema Fluvial. Corrientes encañonadas con lecho en roca y alto gradiente. Quebrada Tahamí, municipio de Olaya, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	20
Figura 2-5. Material transportado y depositado en la avenida fluvio-torrencial ocurrida entre la noche del 31 de marzo y la madrugada del 1 de abril de 2017. Quebrada Taruca, municipio de Mocoa, Putumayo. Foto tomada por Sergio Salazar.	20
Figura 2-6. Vista general de un cauce de montaña con abundante carga producto de su comportamiento torrencial. Quebrada El Oro, municipio de Sabanalarga, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	21
Figura 2-7. Avenida torrencial ocurrida en entre la noche del 17 y la madrugada del 18 de mayo del 2015. Quebrada Liboriana, municipio de Salgar, Antioquia. Foto tomada por Jafed Naranjo.	21
Figura 2-8. Patrón de drenaje sinuoso confinado de un río de montaña. Río Penderisco, municipio de Urrao, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	22
Figura 2-9. Patrón de río trenzado confinado en corrientes de montaña. Río Herradura, municipio de Abriaquí, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	22
Figura 2-10. Esquematización de un río recto de montaña con su forma típica en planta.	25
Figura 2-11. Delimitación de la extensión (franjas color lila y azul que representan sectores con depósitos de material grueso y fino respectivamente) del evento ocurrido entre el 31-03 y 01-04-2017 en el	25
Figura 2-12. Esquematización de un río sinuoso.	26
Figura 2-13. Tramo sinuoso del río Cauca donde se pueden observar los meandros abandonados (con y sin agua). Fuente: Google Earth (2017)	27
Figura 2-14. Esquematización de un río trenzado.	27
Figura 2-15. Río Trenzado en el Piedemonte llanero de Colombia. Fuente: Google Earth (2017).	28
Figura 2-16. Esquematización de un río anastomosado.	28
Figura 2-17. Tramo anastomosado del río Magdalena. Fuente: Google Earth (2017)	29
Figura 2-18. Lagunas de origen glaciar en Parque Nacional de los Nevados. Fuente: Google Earth (2017).	30
Figura 2-19. Complejos de humedales que interactúan con la dinámica de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge (imagen del 30/12/2011). Fuente: Google Earth (2017).	30
Figura 2-20. Lagunas costeras a los dos márgenes del río Magdalena en su desembocadura en Barranquilla. Fuente: Google Earth (2017)	31
Figura 2-21. Vista parcial del delta externo del río Atrato en el Golfo de Urabá. Fuente: Google Earth (2017).	32
Figura 2-22. Llanuras mareales en el Pacífico. Fuente: Google Earth (2017)	32
Figura 3-1. Elementos constituyentes de la ronda hídrica de acuerdo con el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 para sistemas: lóticos (a) y lénticos (b). Imágenes adaptadas de FISRWG (1998).	33
Figura 3-2. Componentes físico-bióticas mínimas a ser consideradas para definir el límite físico de las rondas hídricas desde su funcionalidad. * El componente denominado “Hidrológico” se entiende en adelante como el componente que resume las funciones hidrológico-hidráulicas de la ronda hídrica.	34
Figura 3-3. Fases y actividades para el acotamiento de la ronda hídrica y el establecimiento de las estrategias para su manejo ambiental.	35
Figura 3-4. Componentes físico-bióticos para fijar el límite físico de la ronda hídrica en sistemas lóticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	37
Figura 3-5. Componentes físico-bióticos para definir el límite físico de la ronda hídrica en sistemas lénticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	37

Figura 5-1. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente en sistemas lóticos	47
Figura 5-2. Esquematización de la delimitación del ancho de cauce permanente a partir de Imágenes de Satélite. a) Sistema de alta pendiente (>2.5 %). (b) Sistema de planicie (<2.5 %). Fuente: Google Earth.	48
Figura 5-3. Geometría hidráulica hacia aguas abajo del ancho de banca llena. Fuente: Jiménez (2015)	49
Figura 5-4. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente en sistemas lénticos	51
Figura 5-5. Estimación de la amplitud del pulso de inundaciones desde los niveles medios mensuales multianuales en la estación Mapiripán (32097010) para la serie temporal 1983-2012. Fuente: Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	53
Figura 5-6. Modelo Digital de elevación del Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	53
Figura 5-7. Cauce permanente del Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo, trazado sobre modelo digital de elevación. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	54
Figura 6-1. Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico.	57
Figura 6-2. Relación de invarianza para el radio de curvatura R_c .	59
Figura 6-3. Componente geomorfológico (línea naranja) en la parte alta de una cuenca.	63
Figura 6-4. Componente geomorfológico (línea naranja) para zonas con cambios de pendiente. A) de mayor a menor pendiente. B) de menor a mayor pendiente.	64
Figura 6-5. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos sinuosos en corrientes de montaña.	66
Figura 6-6. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos trenzados en corrientes de montaña.	66
Figura 6-7. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos anastomosados en corrientes de montaña.	66
Figura 6-8. Componente geomorfológico (línea naranja) para corrientes trenzadas en piedemontes.	67
Figura 6-9. Componente geomorfológico (línea naranja) para corrientes sinuosas en llanuras.	68
Figura 6-10. Componente geomorfológico (línea naranja) en corrientes anastomosadas en llanuras.	68
Figura 6-11. Componente geomorfológico de la ronda hídrica para un delta interno.	69
Figura 6-12. Componente geomorfológico (línea naranja) para un delta externo.	70
Figura 6-13. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en un estuario.	70
Figura 6-14. Llanura de inundaciones en condiciones naturales (A) y sobre elevación en condiciones alteradas (B: la diferencia de niveles no debe superar 30 cm y la de velocidades no mayor a 10%) para la avenida de 100 años de período de retorno. Adaptado de Godesky (2006).	74
Figura 6-15. Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico	76
Figura 6-16. Cartografía social de habitantes del río Chicagua, Depresión Momposina.	78
Figura 6-17. Esquema de niveles máximos de inundación para diferentes períodos de retorno (T_r) en años: a) sistema lótico; b) sistema léntico. Imágenes adaptadas de FISRWG (1998).	79
Figura 6-18. Esquematización de disponibilidad de información hidroclimatológica.	81
Figura 6-19. Cruce de información hidrológica y testimonios de la comunidad asentada en el corredor aluvial. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012	82
Figura 6-20. Sistemas escalón-pozo, o sistemas transicionales rápidas-pozo. Hs representa la altura de la caída, Ls la separación cresta a cresta, z la caída entre crestas y s la profundidad de socavación en el pozo. (Jiménez y Wohl, 2013)	84
Figura 6-21. Esquematización de la longitud mínima y nivel de detalle para una adecuada caracterización morfológica de ríos Trenzados (Tomada y modificada de Egozi y Ashmore, 2008).	84
Figura 6-22. Sistemas de planicie. (Minambiente y CORNARE, 2016).	85

Figura 6-23. Componente hidrológico de la ronda hídrica en un sistema lótico. Ejemplo del cuerpo de agua principal de la Quebrada el Perro, Manizales (Minambiente y UNAL, 2013).	86
Figura 6-24. Componente hidrológico de la ronda hídrica de un sistema léntico: Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.....	89
Figura 6-25. Efectos del ancho de la franja riparia en: a) el microclima; b) favorecimiento de procesos biológicos. Adaptado de Chen (1991).	91
Figura 6-26. Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico.....	93
Figura 6-27. Identificación de zonas de vida (ZV) de acuerdo con Holdridge (1987).....	95
Figura 6-28. Determinación de la densidad de drenaje por unidad geomorfológica (U).	98
Figura 6-29. Esquema de delimitación del componente ecosistémico (línea verde).....	99
Figura 6-30. Límite físico de la ronda hídrica, trazado a partir del cauce permanente, resultado de la superposición de los componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.	103
Figura 6-31. Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual a 30 metros y el resto es hasta el límite de la envolvente de los tres componentes en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.....	105
Figura 6-32. Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual al componente hidrológico (< 30 metros) y el resto es hasta el límite de la envolvente de los otros dos componentes (geomorfológico y ecosistémico) en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.	106
Figura 7-1. Puntuación para el índice QBR de acuerdo con los tipos de desnivel de las márgenes del cuerpo de agua y la existencia de islas dentro del cauce permanente. Adaptado de FEM (s.f.) ...	115
Figura 7-2. Izquierda: a) Superficie de análisis en la aplicación del índice RFV. Tomado de Magdaleno et al., (2010). Derecha: b) Separación del tramo de estudio en al menos cinco (5) secciones. Tomado de García (2014).	117

INTRODUCCIÓN

El artículo 206 (Rondas Hídricas) de la Ley 1450 de 2011 - Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para Todos”, establece que *“Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual debe realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el gobierno nacional”*. Dichos criterios fueron definidos por el Decreto 2245 de 2017 cuyo desarrollo deberá ser contemplado en una Guía técnica, la cual será adoptada por resolución del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La presente Guía, en cumplimiento de lo dispuesto en el Decreto 2245 de 2017, establece los criterios para definir el orden de prioridades para el inicio del acotamiento de las rondas hídricas, desarrolla los criterios para definir desde donde se acota y hasta donde llega su límite físico y define las directrices para su manejo ambiental por parte de las Autoridades Ambientales competentes. Los criterios fueron probados en diferentes casos de estudio en el territorio nacional y retroalimentados con los aportes de entidades del Sistema Nacional Ambiental, así como de las sugerencias recibidas en las consultas públicas del documento realizadas en mayo de 2017 y abril de 2018.

El enfoque metodológico para el desarrollo de los criterios tiene como principio rector la funcionalidad de las rondas hídricas, en la medida que éstas son áreas en que se dan los intercambios de agua, sedimentos y nutrientes que dan sustento a la interacción de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos a lo largo de las cuencas hidrográficas. Considerando que su objeto es de protección y conservación, las mismas deben tener un manejo ambiental que permita orientar aprovechamientos sostenibles de los recursos naturales renovables y evitar la generación de condiciones de riesgo al evitar la exposición de personas, bienes y servicios en dichas áreas que, en general, son frecuentemente inundables.

El enfoque está planteado para ser desarrollado en varias fases: fase 0, acciones previas, que involucra el alistamiento institucional de la Autoridad Ambiental competente (priorización, recopilación de información secundaria, revisión de necesidad de realizar comisión conjunta, diseño de la estrategia de participación y de la base de datos geográficas así como la programación de actividades); fase 1, delimitación del cauce permanente (para el caso de sistemas lóticos y lénticos) o de la línea de mareas máximas (para el caso de cuerpos de agua afectados por la dinámica marina); iii) definición del límite físico y de estrategias para el manejo ambiental. De manera complementaria se presenta unos indicadores mínimos a ser considerados en seguimiento y evaluación de la implementación de los resultados del proceso.

Para la definición del límite físico se deben tener en cuenta como mínimo tres aspectos físico-bióticos relacionados con el entendimiento de la dinámica natural del cuerpo de agua: el **geomorfológico** (geoformas y procesos morfodinámicos asociados a la dinámica de los sistemas lénticos y lóticos), el **hidrológico** (niveles máximos alcanzados por los cuerpos de agua en condiciones de régimen hidrológico considerando la variabilidad climática) y **ecosistémico** (utilizando la vegetación de ribera como variable indicadora de la salud del ecosistema o como referente para su restauración en caso de no existir). Dentro del análisis, se deberán considerar las intervenciones antrópicas en las que afectan la funcionalidad para los tres aspectos físico-bióticos.

La Guía consta de los siguientes capítulos. El capítulo 1 contiene las generalidades del proceso, lo cual incluye antecedentes y el propósito de la Guía. El capítulo 2 desarrolla el marco conceptual, que soporta los criterios para el acotamiento de las rondas hídricas mediante el marco metodológico presentado en el capítulo 3. Los capítulos 4 al 6 orientan el proceso mediante fases (acciones previas; delimitación del cauce permanente y de la línea de mareas máximas; definición del límite físico y de estrategias para el manejo ambiental) y sus actividades específicas. En el capítulo 7 se

desarrollan los indicadores mínimos a considerar en el seguimiento y evaluación de la efectividad de las estrategias para el manejo ambiental que se establezcan. Finalmente, se presentan el listado de referencias bibliográficas que se tuvieron como soporte, así como tres anexos relacionados con formatos de levantamiento de información en campo (Anexo I) para eventos de inundaciones y avenidas torrenciales y su respectiva sistematización (Anexo II), así como unos criterios técnicos mínimos a considerar en los casos de actividades que puedan alterar el funcionamiento del conjunto cauce permanente y ronda hídrica (Anexo III).

1 GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH (MAVDT, 2010) tiene como objetivo principal el de garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz del agua, gestión que se debe articular a los procesos de ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

En la PNGIRH se establecieron seis objetivos (1. Oferta; 2. Demanda; 3. Calidad; 4. Riesgo; 5. Fortalecimiento Institucional; y 6. Gobernabilidad), con sus respectivas estrategias y líneas estratégicas para ser implementadas mediante el Plan Hídrico Nacional.

El artículo 206 (Rondas hídricas) de la Ley 1450 de 2011 (hoy vigente, según lo dispuesto en el artículo 267 de la Ley 1753 de 2015), dispuso que *"Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional."* El mencionado artículo 83 del Decreto-Ley 2811 de 1974 establece que *"Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado: a.- El álveo o cauce natural de las corrientes; b.- El lecho de los depósitos naturales de agua; c.- La playas marítimas, fluviales y lacustres; d.- Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho (subrayado fuera de texto); e.- Las áreas ocupadas por los nevados y por los cauces de los glaciares; f.- Los estratos o depósitos de las aguas subterráneas."*

Teniendo en cuenta que las rondas hídricas se acotan tanto para sistemas lóticos (e.g. ríos) como para lénticos (e.g. lagos)¹, se tienen igualmente como referentes la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia (MMA, 2002) y la Política Nacional para la gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios ecosistémicos – PNGIBSE (Minambiente, 2012). La Política relacionada con los humedales interiores tiene como objetivo general el de propender por su conservación y uso sostenible con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socio-culturales, como parte integral del desarrollo del País, a través de tres objetivos específicos: 1) integrar los humedales del país en los procesos de planificación de uso del espacio físico, la tierra, los recursos naturales y el ordenamiento del territorio, reconociéndolos como parte integral y estratégica del territorio, en atención a sus características propias, y promover la asignación de un valor real a estos ecosistemas y sus recursos asociados, en los procesos de planificación del desarrollo económico; 2) fomentar la conservación, uso sostenible y rehabilitación de los humedales del país de acuerdo con sus características ecológicas y socio económicas; y 3) promover y fortalecer procesos de concienciación, y sensibilización a escala nacional, regional y local, respecto a la conservación y uso sostenible de humedales.

Por otro lado, la PNGIBSE está orientada a *"Promover la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos, de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada ..."*. Este propósito se cumplirá con el desarrollo de los seis ejes temáticos identificados: I. Biodiversidad, conservación y cuidado de la naturaleza; II. Biodiversidad, gobernanza y creación de valor público; III. Biodiversidad, desarrollo económico y calidad de vida; IV. Biodiversidad, gestión del conocimiento tecnología e información; V.

¹ De acuerdo con OMM y UNESCO (2012), el sistema léntico es *"un hábitat de agua dulce caracterizado por aguas en calma o quietas"* mientras el sistema lótico es *"un hábitat de agua dulce fluyente"*

Biodiversidad, gestión del riesgo y suministro de servicios Ecosistémicos; VI. Biodiversidad, corresponsabilidad y compromisos globales.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en cumplimiento de sus funciones como rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, adelantó entre 2012 y 2016 el proceso de construcción y retroalimentación del desarrollo de los criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. El punto de partida fue un marco conceptual y metodológico diseñado con el acompañamiento técnico de la Universidad Nacional de Colombia (Minambiente y UNAL, 2012) y tomando como insumo las experiencias internacionales en gestión de zonas de ribera así como las nacionales existentes relacionadas con las figuras normativas preexistentes (e.g. CORNARE, 2006; AMVA et al., 2007; CORNARE, 2011; CARDER, 2011; CORPOCALDAS, 2012). Tal enfoque fue probado en diferentes casos de estudio² para cuerpos de agua con condiciones contrastantes desde el punto de vista climático, del paisaje, de la dinámica hidrológica y sedimentológica, así como de los niveles de alteración morfológica del conjunto cauce-ribera.

1.2 Propósito de la Guía

En esta guía se da alcance a lo establecido en el Decreto 2245 de 2017 desarrollando los criterios para el acotamiento de las rondas hídricas por parte de las Autoridades Ambientales competentes a través de un enfoque metodológico compuesto por fases con sus respectivas actividades y métodos de referencia. Tal desarrollo de los criterios orientará la definición del límite físico de la ronda hídrica basándose en sus principales atributos de funcionalidad. Igualmente, se establecen unas directrices para el manejo ambiental de las rondas hídricas a través de estrategias que apunten al logro del objeto de conservación estableciendo con ello los atributos del determinante ambiental.

² Quebrada la Mosca en jurisdicción de CORNARE, quebrada el Perro en jurisdicción de CORPOCALDAS, río Chichimene en jurisdicción de CORMACARENA (Minambiente y UNAL, 2013), trece tramos de la cuenca alta y media del río Magdalena (Hidroconsulta, 2015), trece cuerpos de agua en el área urbana de Cartagena (Hidroconsultores, 2015).

2 MARCO CONCEPTUAL

El presente Capítulo es la base teórica recopilada de la literatura técnica nacional e internacional, la cual soporta el marco metodológico (Capítulo 3) y el desarrollo del mismo en los Capítulos que le siguen (Capítulos 4, 5 y 6).

La ronda hídrica es conocida a nivel internacional como zona riparia o ribereña, región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático, es decir, un ecotono. En tal sentido, son las franjas contiguas a los cuerpos de agua naturales continentales, estén en movimiento (ríos, quebradas, arroyos) o relativamente estancados (lagos, lagunas, pantanos, esteros), y el flujo sea continuo, periódico o eventual durante el año hidrológico. Dichas zonas se convierten en unas de las porciones más dinámicas del paisaje (Swanson et al., 1988), lugar de máxima interacción entre los medios terrestre y acuático, y convirtiéndose en un corredor a través de regiones (Malanson, 1993). En dichas zonas se dan transferencias de agua, nutrientes, sedimentos, materia orgánica y organismos (Gregory et al., 1991), siendo uno de los hábitats biofísicos más diversos, dinámicos y complejos en la capa terrestre (Naiman et al., 1993). Igualmente, estas zonas están entre las de mayor valor en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos y como soporte de la biodiversidad (Opperman et al., 2009).

Como un resultado de las propiedades dinámicas de este ecotono, cada zona de ribera (ronda hídrica) tiene unas características propias y una capacidad de soportar niveles de estrés naturales o antropogénicos (Buckhouse y Elmore, 1993). La distribución general y el establecimiento de comunidades de fauna y flora es un reflejo de los procesos dinámicos. Las inundaciones en particular tienen resultados no sólo en el arrastre de biota establecida, sino también en la acumulación de substratos donde la colonización y sucesión de especies vegetales empieza de nuevo. A través del tiempo, estos eventos crean complejos patrones de suelo y dinámicas del agua subterránea que direccionan el desarrollo de la vegetación de ribera y de comunidades animales especializadas. Como fue señalado por Junk et al. (1989), en climas tropicales y templados, el pulso de las inundaciones es la principal causa responsable de la existencia, productividad e interacciones de la biota en los sistemas fluviales. En tal sentido, el pulso de las inundaciones contribuye a mejorar la productividad biológica y mantener la diversidad en el sistema, donde los principales agentes son las plantas, nutrientes, detritos y sedimentos (Bayley, 1995). El régimen natural de flujo puede ser considerado como la "variable maestra" que limita la distribución y abundancia de especies y regula la integridad ecológica en los sistemas fluviales ya que condiciona muchas características físico-químicas tales como temperatura, geomorfología del cauce y diversidad de hábitats (Poff et al., 1997). Un resumen gráfico de ello puede verse en la Figura 2-1.

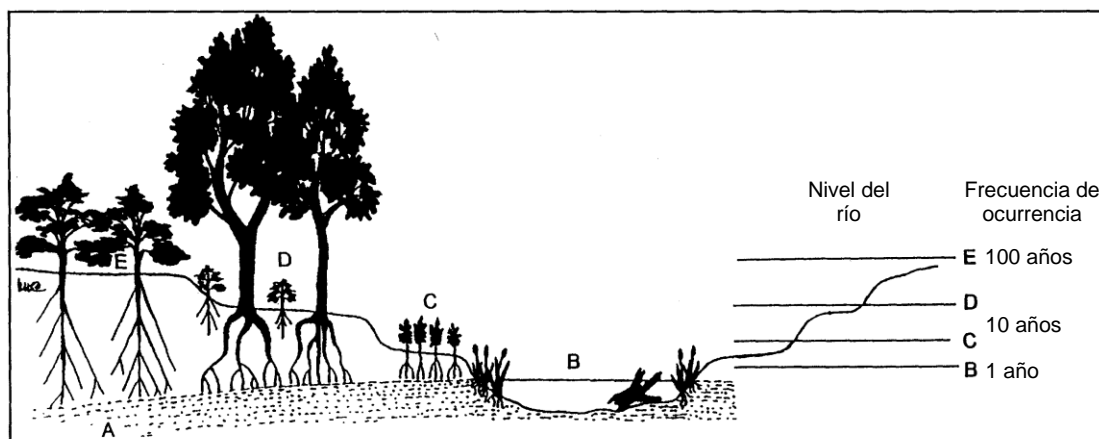


Figura 2-1. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas. Fuente: adaptado de Poff et al. (1997).

En la Figura 2-1 se aprecia que tanto la vegetación riparia como el flujo base son alimentados por los niveles freáticos (A). Crecientes de diferente magnitud y frecuencia mantienen diversidad de la vegetación riparia y el hábitat acuático: pequeñas crecidas que transportan sedimentos finos mantienen la alta productividad bentónica y posibilitan hábitat para peces (B); crecientes intermedias inundan las terrazas bajas permitiendo el establecimiento de especies pioneras, además de acumular materia orgánica dentro del cauce ayudando a mantener su forma (C); grandes crecidas inundan terrazas aluviales permitiendo el establecimiento de especies de sucesión (D); inundaciones raras arrastran material que puede permitir el establecimiento de hábitat para diversas especies (E).

Uno de los elementos fundamentales que contribuye a diferenciar las zonas riparias, de las áreas pertenecientes a los ecosistemas terrestres, es la dinámica del cuerpo de agua adyacente. Debido a la dinámica de flujo el sistema puede ser lótico o léntico. Para el caso de los sistemas lóticos, en función de los tipos de corrientes (permanente, intermitente, efímera)³ las zonas riparias pueden clasificarse de acuerdo con Johnson et al. (1984) en: a) áreas hidroriparias, asociadas con corrientes permanentes o intermitentes, en general presencia de suelos hídricos o sustratos que nunca o cortos períodos de tiempo están secos, así como vegetación hidrofítica; b) áreas mesoriparias asociadas con corrientes intermitentes o efímeras, donde los suelos no son hídricos y hay sustratos que permanecen secos estacionalmente, la vegetación no siempre está presente y si la hay ésta puede ser una mezcla de vegetación riparia, facultativa (se encuentra en áreas riparias y laderas) y no riparia; c) áreas xeroriparias, asociadas a corrientes efímeras, donde los suelos no son hídricos y están secos gran parte del año, lo cual hace que existan condiciones locales de humedad del suelo debido a los eventos de lluvia, por lo que en éstas hay presencia de vegetación riparia facultativa y no riparia.

Sintetizando, entre las características más relevantes de las zonas de ribera o rondas hídricas, se tienen las siguientes:

- i. En los sistemas lóticos, de naturaleza lineal, las riberas juegan un rol fundamental en la ecología del paisaje. Los valles de los ríos conectan las cabeceras con las zonas bajas proporcionando espacios para la transferencia de agua, nutrientes, sedimentos, materia orgánica particulada y organismos. Dichos flujos no son sólo hacia aguas abajo de la red de drenaje, sino también hacia las llanuras inundables, por lo que se convierten en rutas importantes en la dispersión de plantas y animales, y provee corredores para especies migratorias (Gregory et al., 1991). En tal sentido, estas zonas están sometidas a la dinámica del flujo hídrico lateral durante los períodos de aguas altas; tienen una elevada proporción perímetro/área, manteniendo una interacción con los ecosistemas adyacentes; existe una gran densidad y diversidad de vida salvaje (García-Arias, 2015). La dimensión lateral de los sistemas lóticos, así como la mayoría de la dimensión vertical, están contenidos en este hábitat ripario, por esto puede soportar una alta biodiversidad, proteger el cauce de los cambios temporales y retener grandes perturbaciones, además de proporcionar refugio y alimento a la vida silvestre (Munné et al., 2003). Los pulsos de inundación en estos sistemas modifican los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, la productividad de las macrófitas y la diversidad biológica, entre otros. Sin embargo, esto ocurre únicamente si existe conectividad entre el cuerpo de agua y la ribera (Basílico, et al., 2016).
- ii. La vegetación de ribera juega un rol en diferentes procesos: en la retención de nutrientes transportados por las inundaciones periódicas, almacenándolos durante largos períodos y aportándolos al cuerpo de agua cuando el aporte aluvial es escaso; controla la cantidad y tipo de materia orgánica terrestre que se deposita en el cuerpo de agua; influencia las fuentes alimenticias para especies vertebradas alóctonas y autóctonas, lo cual se ve reflejado en la estructura trófica de los ensambles de invertebrados (Gregory et al., 1991); brinda mayor estabilidad a las márgenes por el efecto de la zona radicular; actúa como

³ Las corrientes permanentes o continuas son masas de agua que por lo general fluyen en un cauce natural sin interrupción espacio-temporal durante el año hidrológico. Por otro lado, las corrientes intermitentes y efímeras varían de la anterior por la discontinuidad del flujo a lo largo del año. Mientras las intermitentes fluyen en períodos del año (e.g. período húmedo), las efímeras sólo lo hacen en respuesta a eventos de precipitación.

reguladora de las condiciones microclimáticas, en especial de la temperatura de las aguas por efecto de la sombra, lo cual tiene especial relevancia en períodos de aguas bajas al permitir una mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua y un descenso en la disponibilidad de nutrientes, procesos clave para el logro de un equilibrio adecuado del ecosistema fluvial (Lowrance et al., 1985 ; Johnson, 2004 ; Rayne et al., 2008); la intensidad de radiación solar que llega al cuerpo de agua es mediada por la vegetación riparia, lo cual tiene influencia directa en la luz disponible para los productores primarios acuáticos; la vegetación de ribera ofrece abundantes y diversos recursos alimenticios para consumidores acuáticos y terrestres, que para el caso de los ecosistemas acuáticos la mayor fuente alimenticia viene de la zona de ribera (Gregory et al., 1991).

- iii. Sirven de barrera frente a contaminantes producidos en los distintos usos del suelo, convirtiéndose en zonas de amortiguamiento de los impactos humanos sobre el cauce fluvial (Lowrance et al., 1998; Altier et al., 2002); juegan un rol clave en la protección de los cuerpos de agua frente a la contaminación difusa (inclusive procesos de desnitrificación cuando el nivel freático es poco profundo); contribuyen a mejorar la calidad de cuerpos de agua degradados; intervienen en las condiciones químicas del agua en diversos procesos, directos como la absorción, e indirectos como el suministro de materia orgánica a cauces y suelos, y la modificación del movimiento del agua y estabilización del suelo (Dosskey et al., 2010).
- iv. La productividad de biota acuática está directamente ligada con el grado de complejidad geomorfológico y biológico de la ribera. Las riberas son el mayor determinante de fuentes alimenticias y hábitats de vertebrados acuáticos. En los tramos de cabecera, éstas controlan fuentes alimenticias alóctonas y autóctonas para los consumidores invertebrados, los cuales son la base alimenticia para los peces predadores; igualmente éstas controlan las fuentes de recursos de peces herbívoros y de los que se alimentan de detritos (Gregory et al., 1991). De acuerdo con Pusey y Arthington (2003), las riberas tienen un rol fundamental en la regulación de transferencia de energía (radiación solar) al sistema acuático y en los intercambios de materia orgánica e inorgánica entre los ecosistemas acuático y terrestre, como condicionantes de las dinámicas tróficas, y en particular de los peces como especies en los niveles altos de la cadena alimenticia.

Lo anteriormente planteado es válido en condiciones prístinas, sin embargo, modificaciones en el cauce natural del río a través de canalizaciones, muros, obras de drenaje han reducido la capacidad de estos ríos en la retención de entradas de material particulado y disuelto (Gregory et al., 1991). Como consecuencia, se da una alteración en la funcionalidad de procesos geomorfológicos e hidráulicos, vegetación riparia y biota acuática asociados a los procesos de retención de materiales en la zona de ribera. Se ha encontrado, sobre estudios en el neotrópico, que diferencias entre cauces naturales, con y sin bosque ripario, han demostrado la importancia de dicha zona como un agente indirecto sobre la dieta de especies de peces en tramos de cabecera de cuenca. Tales resultados sugieren que la estructura y composición de la vegetación riparia puede afectar significativamente las comunidades de peces (Leite et al., 2015). El incremento de tasas de transferencia de energía térmica entre la atmósfera y el ambiente acuático, en la ausencia de una zona riparia intacta, puede potencialmente alterar la reproducción de peces por la desincronización del régimen térmico con factores regionales, tales como el régimen de flujo, así como tiene efectos directos sobre las tasas de mortalidad, morfología de los cuerpos, resistencia a las enfermedades y tasas de crecimiento (Pusey y Arthington, 2003).

Considerando que las riberas son zonas frecuentemente inundables de manera natural, la ocupación antrópica de éstas hace que se generen condiciones de vulnerabilidad y riesgo a eventos de inundaciones (lentas o súbitas), debido a la exposición de personas, bienes, servicios y/o actividades económicas. La circulación y almacenamiento de energía, agua, sedimentos, nutrientes, entre otros, han sido el atractivo principal para el desarrollo de un gran número de actividades humanas que se concentran alrededor de los cuerpos de agua o que se benefician directa o indirectamente de su dinámica (Rosgen, 1994).

A lo largo de la historia, la humanidad ha tendido a establecerse en las zonas de ribera debido principalmente a la fertilidad de sus suelos y al rol de los ríos como corredores de transporte, sin embargo, el hecho de ser zonas inundables ha propiciado la construcción de estructuras para el control de inundaciones, lo cual ha generado complejas interacciones y retroalimentaciones en los procesos hidrológicos y sociales en las llanuras inundables ocupadas (Di Baldassarre et al., 2013). La percepción de seguridad que este tipo de estructuras generó a las sociedades, alentó a nuevas ocupaciones de zonas inundables, incrementando con ello las posibilidades de nuevos y mayores daños. Hashimoto et al. (1982) alertaban de los imprudentes desarrollos socio-económicos en áreas parcialmente protegidas por presas o muros debido a la imagen y sensación de seguridad que éstas ofrecían, lo cual traía como consecuencia nuevas áreas susceptibles de daños potenciales, ya fuese debido a inundaciones y/o por el fallo en dichas estructuras. A partir de las experiencias en medidas de protección frente a inundaciones en el mundo moderno, se puede concluir que la rotura de diques ha causado algunos de los mayores desastres mundiales (Plate, 2002).

Para percibir y comprender las variaciones significativas de las riberas, así como para la gestión de éstas, es esencial el conocimiento de cuatro componentes físicos: procesos de formación del relieve, suelo, agua y vegetación (Lewis et al., 2003). Por lo anterior, la delimitación funcional de la ronda hídrica es la más ampliamente utilizada desde el punto de vista del manejo ambiental, haciendo el vínculo ecológico producido por el intercambio entre los ecosistemas terrestres y acuáticos, pudiendo estudiarse en el marco de los procesos geomorfológicos y fluviales (Gregory et al., 1991; García-Arias, 2015). Una perspectiva ecológica de las zonas de ribera provee una rigurosa base para identificar objetivos de manejo, evaluación de actuales usos de la tierra y desarrollo de recursos alternativos en el futuro (Gregory et al., 1991). Entender el funcionamiento del sistema fluvial resulta crucial para decidir cuáles de estas funciones han de ser prioritariamente conservadas, protegidas o restauradas para garantizar un funcionamiento armónico con las necesidades de ocupación de las sociedades humanas (Rosgen, 1994).

2.1 Procesos geomorfológicos y fluviales

Los sistemas acuáticos continentales comprenden una gran variedad de hábitats y ecosistemas. Uno de los esquemas más utilizado para su clasificación, los divide de acuerdo con el flujo de agua en sistemas lóticos y lénticos. Hay casos muy comunes en la naturaleza en que ambos tipos de cuerpos de agua hacen parte de un sólo sistema geomorfológico en el que se dan relaciones complejas entre ambos, como es el caso del sistema fluvial, en especial en los tramos de bajo gradiente y de desembocadura de grandes ríos. En estos casos, la dinámica de los sistemas lótico y léntico es altamente interdependiente.

El sistema fluvial es entendido como el conjunto de geoformas, procesos morfodinámicos, cauces, escorrentías y movimiento de sedimentos en ladera, redes de drenaje y zonas de sedimentación, relacionados entre sí por el proceso de flujo de agua, sedimentos y nutrientes entre las partes del conjunto. En tal sentido, comprende las interrelaciones de las diferentes tipologías de sistemas lóticos y lénticos presentes en las cuencas hidrográficas del país. Como muchos de los sistemas geomorfológicos, el fluvial está compuesto por subsistemas relacionados entre sí de manera jerárquica (Charlton, 2008). El sistema fluvial transporta materiales y energía, dando lugar a sistemas de relieve con unidades y procesos específicos que dan origen al paisaje fluvial.

El sistema fluvial es un sistema altamente no lineal y complejo que incluye subsistemas o componentes hidrológicas, hidráulicas, geológicas, edafológicas, climatológicas, biológicas y los efectos causados por las actividades humanas. En la Figura 2-2 se muestran algunos ejemplos de diferentes dinámicas dentro del sistema fluvial: la conectividad entre el río y su planicie inundable depende de diferentes períodos y eventos de inundaciones, condicionando los ciclos de las especies; la variabilidad de flujo es muy importante para la formación de hábitats dentro del cauce, ofrece señales biológicas para las especies, así como permite el transporte e intercambio de nutrientes y sedimentos; la extensión y profundidad de las inundaciones están relacionadas con la provisión de hábitat para la biota; la frecuencia de las inundaciones aporta diferentes requerimientos del hábitat; la conectividad longitudinal a lo largo de la red drenaje permite el movimiento de sedimentos y

nutrientes a través de la cuenca y entre cuencas hidrográficas, así como las rutas de migración o propagación de especies.

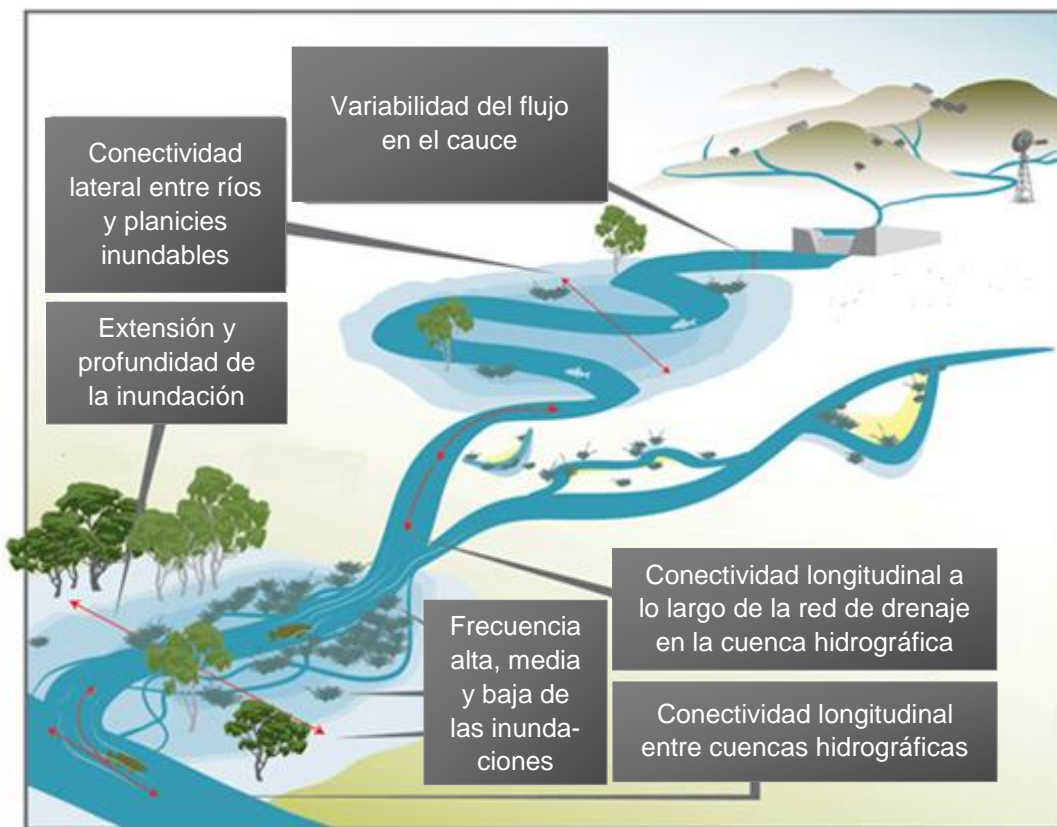


Figura 2-2. Ejemplos de dinámicas dentro del sistema fluvial. Adaptado desde <http://www.mdba.gov.au/>.

Entre los aspectos relevantes de la estructura del sistema fluvial, se encuentran las dimensiones y forma del cauce, la forma y vegetación de las orillas y las riberas, el tipo de material en cauce y riberas, la tipología de flora y fauna acuática. Entre los elementos clave del funcionamiento del sistema fluvial se tiene el régimen natural de flujo (Figura 2-1), y el de sedimentos, la estabilidad de las orillas, los procesos de arrastre de biota y de regeneración de la vegetación riparia, la dinámica, estructura y composición del ecosistema acuático, y en particular de las comunidades de peces que dependen de los equilibrios en las interacciones entre el cauce y la ribera. La vegetación de ribera tiene una clara relación con la dinámica geomorfológica, en la medida que las características hidromorfológicas (e.g. geoformas y profundidades de la inundación) condicionan las dinámicas sucesionales vegetales y a su vez estas estructuras vegetales tienen impactos mecánicos en las propiedades del flujo y la dinámica de sedimentos (Corenblit et al., 2007).

Para la gestión de sistemas fluviales se requiere el conocimiento de las interacciones de los ciclos del agua y de sedimentos, en la medida que su suministro y transporte por los cuerpos de agua es fundamental para las condiciones del sistema teniendo influencia sobre la calidad del agua, el régimen térmico, el hábitat y las comunidades acuáticas, la estabilidad del cauce y los eventos extremos naturales (Wohl et al., 2015). El esquema de hábitat físico en sistemas fluviales comprende un rango de procesos relacionados con el régimen de sedimentos, los cuales determinan la morfología del cauce, heterogeneidad y condiciones del lecho, régimen de alteración para la biota, estructura de las comunidades, y calidad del agua. Muchos organismos acuáticos y riparios dependen de ciertos tamaños y distribución de tamaños del material del lecho para varias etapas de la vida. En la vegetación riparia, los lugares de depósito de sedimentos finos son sitios claves de

colonización, los tamaños de los sedimentos influyen la capacidad de retención de humedad, y a su vez la de la retención del agua por las plantas (Merritt, 2013).

Un esquema idealizado de los sistemas fluviales, independientemente del tamaño y la escala de análisis, muestra una conformación en tres partes o zonas (Figura 2-3), cada una de las cuales cumple una función principal en el proceso natural de la corriente de transportar agua y sedimentos (Schumm, 1977). En la zona 1 o cuenca de drenaje, ocurre principalmente la captación del agua de precipitación y la escorrentía; se produce principalmente erosión en las vertientes e incisión en los cauces, pero también puede darse transporte y acumulación temporal de sedimentos como funciones secundarias. En la Zona 2, también conocida como zona de transferencia, ocurre principalmente el transporte de sedimentos, y las actividades de erosión, incisión y sedimentación transitoria se dan de manera subordinada. La Zona 3, o de sedimentación, se da cuando la corriente transfiere su carga de agua y sedimentos a otro cuerpo de agua o finalmente al mar. En esta zona se considera que la erosión y el transporte son procesos secundarios.

El modelo anteriormente descrito, entendiendo que es una simplificación, resulta de interés para el análisis ya que en corrientes naturales es difícil encontrar esta linealidad de procesos. En Colombia, una corriente típica puede pasar alternativamente entre varias de las zonas descritas en el modelo, dependiendo de la gran variabilidad de condiciones geológicas, geomorfológicas, hidroclimáticas y ecosistémicas. Se puede pasar de una zona predominantemente de erosión (Zona 1) a una de transporte (Zona 2) y pasar de nuevo a otra donde predominan de nuevo la erosión y la incisión del cauce. Es necesario tener en cuenta también la gran variabilidad que impone la existencia de regiones naturales diversas como las que se tienen en el país. El tránsito de las corrientes entre regiones genera complejidades o variantes de tener en cuenta en el momento de acotar las rondas hídricas; más adelante se mencionarán algunos de estos casos ya que la modificación de las distintas variables tiene su expresión morfológica en los tipos de ríos que se reconocen. Dependiendo del rango y la ubicación geomorfológica de la corriente, las funciones referidas pueden cambiar de manera significativa.

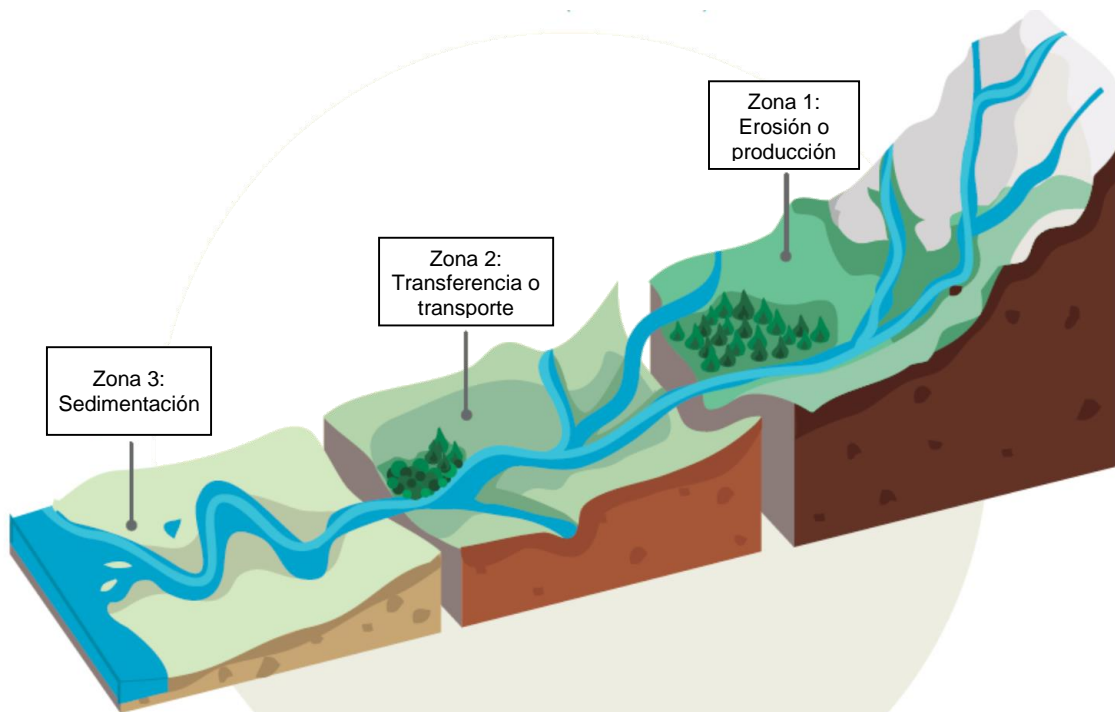


Figura 2-3. Zonas del sistema Fluvial de acuerdo con Schumm (1977). Fuente: Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

Con el propósito de entender el funcionamiento del sistema fluvial en el contexto de esta Guía, se hará en primer lugar, una presentación general de sus componentes principales. Posteriormente, se presentará una clasificación geomorfológica de los tipos de cuerpos de agua continentales que en general existen en Colombia, ya que su forma es la expresión visible de las distintas interrelaciones entre las variables que concurren en el proceso de transporte de agua y sedimentos como función principal del sistema.

Uno de los componentes principales del sistema fluvial es el cauce. Éste sirve de soporte físico para el tránsito de caudales y la generación, transporte y depósito de los sedimentos originados en la cuenca. Igualmente, éste sirve de hábitat para las especies acuáticas y de transición, así como para las especies migratorias estacionales. De acuerdo con la forma del cauce, cumple diferentes funciones biológicas a diferentes escalas. A la macroescala, de kilómetros a centenares de kilómetros, la morfología fluvial determina la distribución y abundancia de hábitats y refugios y las posibilidades de dispersión para las especies de mayores requerimientos espaciales, como los peces migratorios. A la escala de tramo o sección fluvial, de menos de 1 kilómetro, la heterogeneidad de formas en el lecho, como la abundancia de rápidos y pozas, determina la diversidad de hábitats y, en consecuencia, la diversidad de organismos. A escala de unos pocos metros a centímetros, la distribución de distintos tipos de sedimento influye en las conexiones entre el agua superficial y la hiporréica, o en la estabilidad y crecimiento del biofilm. En cada una de estas escalas, la pendiente, la rugosidad del cauce, el caudal y la velocidad de la corriente establecen condiciones acordes al gradiente fluvial, desde la cabecera hasta la desembocadura (Elosegui y Sabater, 2009).

En las zonas montañosas de las cordilleras, la Sierra Nevada y serranías, predominan ríos y corrientes de alto gradiente en los cuales son dominantes la erosión de vertientes y bancas y la incisión de cauces. El transporte de sedimentos es generalmente rápido y estacional, con grandes acumulaciones temporales de carga gruesa en cauces y llanuras, dando lugar a episodios de gran energía y peligrosidad para los habitantes asentados en zonas propensas a este tipo de proceso conocido generalmente como avenidas torrenciales. Los ríos y corrientes de mayor rango forman depósitos de materiales, conformando en ocasiones abanicos de tamaño variable y de dinámica dependiente de la del río principal. De manera general, las corrientes que se encuentran en este segmento del sistema fluvial tienen cauce único bifurcado de manera variable y no tienen verdaderas llanuras de inundación. En las partes bajas, cuando se acercan a la corriente receptora, pueden tener acumulaciones de sedimentos de espesor y extensión variables e incluso se pueden encontrar terrazas aluviales estrechas. En la Figura 2-4 se ilustra este tipo de corrientes.

Las dimensiones de las cuencas en esta parte del sistema fluvial pueden variar enormemente, dependiendo de su rango y de la ubicación en el sistema montañoso colombiano. Por ser corrientes de cauce único, y en la mayoría de los casos sin llanura de inundación, en el análisis funcional de la ronda hídrica se debe incluir el cauce de la corriente más el encañonamiento que define el último segmento de pendiente, generalmente fuerte, que da paso a un segmento de menor inclinación que pertenece a la vertiente. Hay que aclarar que, aunque el segmento encañonado no necesariamente será inundado, si es posible que en él se generen procesos erosivos y movimientos en masa que afectan la dinámica del cauce por aporte de sedimentos y detritos. Si la corriente tiene, en alguno de sus tramos, llanura de inundación o zonas de acumulación de sedimentos diferenciable geomorfológicamente, éstas deberán ser incluidas en su totalidad para el análisis.

En la “zona de producción”, donde la mayoría de los drenajes de la cuenca se originan, se producen grandes cantidades de sedimentos, aportados por la erosión de las vertientes en roca y material saprolítico que llegan a la corriente como consecuencia de erosión, movimientos en masa, erosión lateral o la incisión del cauce. Hay transporte de sedimentos por los cauces y puede darse sedimentación menor y temporal en las llanuras de inundación, cuando las hay, y en las confluencias con corrientes o ríos mayores. El alto gradiente de los cauces permite que estas corrientes puedan transportar grandes volúmenes de sedimentos en la forma de avenidas torrenciales, lo cual representa peligrosidad alta en caso de existir habitantes y sus bienes en la ronda hídrica (ver Figura 2-5).

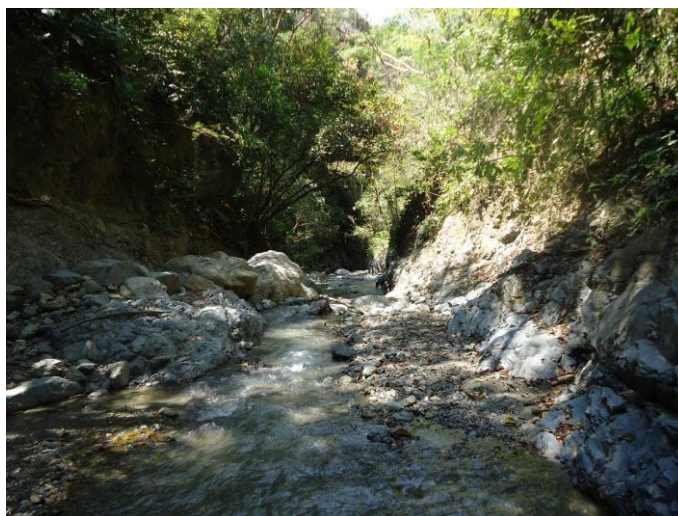


Figura 2-4. Corrientes de montaña. Parte alta del Sistema Fluvial. Corrientes encañonadas con lecho en roca y alto gradiente. Quebrada Tahamí, municipio de Olaya, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.



Figura 2-5. Material transportado y depositado en la avenida fluvio-torrencial ocurrida entre la noche del 31 de marzo y la madrugada del 1 de abril de 2017. Quebrada Taruca, municipio de Mocoa, Putumayo. Foto tomada por Sergio Salazar.

La evidencia geomorfológica de procesos, como los descritos anteriormente, son las acumulaciones de sedimentos de granulometría muy variada que pueden asemejarse a llanuras de inundación en el contexto de valles estrechos o de lechos amplios con abundante carga compuesta por gravas e incluso bloques de gran tamaño (Figura 2-6). Cuando se presentan cambios de gradiente en estas corrientes de montaña, se pueden presentar acumulaciones de sedimentos en forma de abanicos internos o de desembocadura en cauces de mayor jerarquía. Por las grandes energías involucradas son áreas de especial atención puesto que en muchas zonas montañosas coinciden con las pocas zonas de topografía suave, razón por la cual tienden a ser ocupadas con asentamientos humanos (Figura 2-7).



Figura 2-6. Vista general de un cauce de montaña con abundante carga producto de su comportamiento torrencial. Quebrada El Oro, municipio de Sabanalarga, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.



Figura 2-7. Avenida torrencial ocurrida en entre la noche del 17 y la madrugada del 18 de mayo del 2015. Quebrada Liboriana, municipio de Salgar, Antioquia. Foto tomada por Jafed Naranjo.

El sistema fluvial no es lineal y es posible encontrar, en zonas de la montaña andina, tramos de bajo gradiente donde las corrientes adquieren un patrón sinuoso confinado, con baja capacidad de transporte de sedimentos, dando lugar a estrechas llanuras de inundación. Como en los demás ríos sinuosos, la tendencia es a la erosión lateral y la corriente puede generar un típico patrón de meandros. En las áreas montañosas donde existen altiplanos, este patrón de comportamiento puede formar amplias llanuras aluviales sujetas a la inundación estacional y periódica. En este caso se encuentran ríos y corrientes de zonas de altiplanos como puede ser el caso del río Bogotá en Cundinamarca, el río Negro en el altiplano central de Antioquia y el río Penderisco en la cordillera Occidental (Figura 2-8).

Un caso particular son los cuerpos de agua que nacen en los complejos volcánicos de la cordillera Central pueden convertirse en amenazas para personas, bienes e infraestructura, debido a la probabilidad que tienen de transportar flujos de lodo iniciados por la actividad volcánica (lahares), por el deshielo de glaciares, o por una combinación de estos fenómenos (e.g. evento del 13 de

noviembre de 1985 en Armero, Tolima). En estos casos, el análisis que se establezca en el acotamiento de rondas hídricas deberá considerar los mapas de amenaza volcánica oficiales producidos por el Servicio Geológico Colombiano o por entidades oficiales.



Figura 2-8. Patrón de drenaje sinuoso confinado de un río de montaña. Río Penderisco, municipio de Urrao, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.

Muchas de las corrientes de montaña al desembocar en los ríos mayores pueden formar un patrón trenzado debido al abrupto cambio de gradiente en tramos relativamente cortos, provocando la sedimentación de grandes volúmenes de carga que el río no puede mover fácilmente. Es frecuente también que generen abanicos aluviales cuya dinámica está regida por la interacción del río afluente que aporta la carga y el río principal que aporta la capacidad de movilización de estos sedimentos. En la Figura 2-9 se presenta un patrón trenzado de río de montaña confinado y de baja sinuosidad. Estos sedimentos son luego movilizados por la red de cauces hacia la llamada zona de transferencia, donde éstos y el piedemonte se unen, y en donde la producción de sedimentos no es abundante. A medida que el río se acerca a su desembocadura, su gradiente se reduce y la energía disponible para trasportar sedimentos disminuye en la zona de almacenamiento. Finalmente, sólo los sedimentos más finos alcanzan a llegar al océano, mientras que los sedimentos gruesos tienden a ser depositados aguas arriba; de hecho, sólo una porción variable de todo el sedimento que es producido en una cuenca de drenaje alcanza a salir de ella.



Figura 2-9. Patrón de río trenzado confinado en corrientes de montaña. Río Herradura, municipio de Abriaquí, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.

2.2 Cuerpos de agua en el sistema fluvial

Desde el punto de vista de los procesos geomorfológicos y fluviales, existe una amplia tipología de cuerpos de agua, los cuales están interconectados como parte del sistema. En los siguientes numerales se realiza una descripción de los principales cuerpos de agua continentales existentes en Colombia sobre la base de consideraciones geomorfológicas y teniendo en cuenta el criterio de clasificación entre lóticos y lénticos.

2.2.1 Nacimientos

Lugar en el que el agua emerge de forma natural desde una roca o el suelo y fluye hacia la superficie o hacia una masa de agua superficial (“manantial” en OMM y UNESCO, 2012) y que puede ser el origen de un río (“fuente” en OMM y UNESCO, 2012). De acuerdo con el instructivo para diligenciar el Formulario Único Nacional de Aguas Subterráneas – FUNIAS (IDEAM et al., 2009), se entiende por Manantial *“surgencia superficial de agua de origen subterráneo que se produce a través de planos de estratificación, discontinuidades de las rocas como fracturas, grietas o cambios de litología en lugares donde la superficie topográfica corta al nivel freático”*. De acuerdo con el modo de emerger a superficie y según la naturaleza de los conductos por los que corre el agua, permanencia y medio de surgencia, los manantiales pueden tener las siguientes características según IDEAM et al., (2009):

- **Tipo de manantial:** de acuerdo con su modo de emerger a superficie,
 - **Por Goteo:** Surgencia superficial de agua de origen subterráneo por medio de gotas.
 - **Por Filtración:** Cuando el agua se introduce en la tierra a través de arenas y gravas.
- **Permanencia:** de acuerdo con la duración del flujo en el tiempo,
 - **Manantial perenne:** es un manantial cuyo flujo de agua es continuo en el tiempo.
 - **Manantial estacional:** es aquel que fluye solamente en condiciones de clima húmedo, con precipitación de lluvia abundante.
 - **Manantial intermitente:** también llamado manantial episódico o periódico es aquel cuyo flujo de agua normalmente ocurre en espacios cortos de manera más o menos regular.
- **Medio de surgencia:** según la naturaleza de los conductos por los que corre el agua,
 - **Rasgo kárstico:** son formas en la superficie que aparecen en regiones calizas como resultado del ataque químico del agua con anhídrido carbónico disuelto a las calizas, que provoca su destrucción.
 - **Fractura (o fisura):** en los que el agua se aloja siguiendo diaclasas, fallas o planos de exfoliación.
 - **Contacto:** unión de dos unidades de permeabilidad diferente.

2.2.2 Tipos de ríos

En este numeral se hará la descripción de los principales tipos de ríos que se identifican en Colombia. La clasificación que se usa es geomorfológica, la cual es el resultado combinado del complejo conjunto de variables que interviene en el proceso fluvial. La forma del río y el proceso fluvial evolucionan simultáneamente y operan mediante ajustes permanentes hasta alcanzar algún grado de estabilidad (Rosgen, 1994). Cualquier cambio que se dé, en una o varias variables o en su forma superficial, produce afectaciones en el conjunto del sistema. Los cambios pueden darse por razones naturales como la variabilidad climática, pero más comúnmente por las intervenciones antrópicas.

En geomorfología, se utiliza el concepto de río o corriente para describir o hablar de un sistema de aguas continentales, dominado esencialmente por el flujo permanente o semipermanente de agua y sedimentos y en cuyo proceso se genera un conjunto de geoformas asociadas que conforman el sistema fluvial. En términos de gestión y restauración fluvial, en las últimas décadas ha emergido la hidromorfología como una disciplina que enlaza la geomorfología y la hidrología teniendo como foco la consideración de las características físicas y procesos predominantes. Al respecto ver revisiones de métodos en Rinaldi et al. (2013) y Belletti et al. (2015), así como una propuesta de clasificación jerárquica multiescalar en Gurnell et al. (2016).

En aras de la simplicidad, se propone una clasificación en cuatro tipos principales, advirtiendo que dadas las complejidades en el medio físico colombiano pueden darse situaciones intermedias que deben integrar criterios combinados. Es necesario recordar que existe una relación directa entre la forma del cauce y las variables hidrológicas, sedimentológicas, geomorfológicas y vegetación riparia. Los cambios o modificaciones que se hagan en una o varias de las variables tendrán repercusión en el conjunto, pudiéndose modificar sustancialmente las condiciones fundamentales del sistema fluvial (e.g. transporte y almacenamiento de agua y sedimentos), lo que a su vez tendrá repercusiones en el funcionamiento del sistema y los servicios ecosistémicos que éste presta.

El sistema fluvial está conformado por un gran número de geoformas relacionadas con el río o con las vertientes. La clasificación se concentra principalmente en las formas del cauce y en menor grado de la llanura de inundación. Los cauces constituyen la geoforma principal, siempre presente, aunque pueden tener un número importante de variantes dependiendo de la escala de análisis y de las variaciones en la dinámica de la corriente con el tiempo. Los cauces son el resultado directo del proceso mecánico del transporte de un fluido como el agua y un sólido como los sedimentos, y es el espacio mínimo que requiere la corriente para su trabajo principal de transportarlos (Goudie, 2004). En ese proceso ocurre erosión del lecho y los bordes del cauce y puede darse igualmente sedimentación de sólidos que le dan su forma característica. En el cauce propiamente dicho, se pueden distinguir varios elementos que contribuyen en el proceso dinámico de su ajuste a lo largo del tiempo: la vaguada (“thalweg” en la literatura técnica en inglés), que es la franja más profunda, o los puntos más bajos de éste por donde corre más frecuentemente el fluido; cauces secundarios por donde discurre flujo ocasionalmente; bancas o bordes que marcan el límite con las llanuras de inundación, cuando las hay, o con las vertientes de la cuenca de drenaje, así como su flujo subterráneo. De acuerdo con los materiales que transportan los cauces, éstos pueden tener lechos en roca o en depósitos acumulados por el mismo río. Los primeros son más comunes en corrientes de montaña, mientras que los segundos pueden encontrarse en casi todos los ambientes geomorfológicos.

Un río o corriente puede transitar sus caudales por uno o varios cauces al mismo tiempo, o en diferentes tiempos, dependiendo de los caudales y las cargas de sedimentos que a su vez están relacionadas con la estacionalidad o periodicidad de las lluvias. De acuerdo con esto, la clasificación a efectos de la presente Guía, es a partir de dos grupos de unidades morfológicas: i) el cauce permanente, el cual funciona transportando o acumulando los caudales durante la mayor parte del año hidrológico; y ii) llanura inundable moderna, conformada por el conjunto de cauces que sirven para el tránsito de los caudales altos de diferentes períodos hidrológicos e involucra la zona riparia, sistemas lénticos asociados, e incluso la llanura inundable ocupada antrópicamente. A continuación, se describen los principales tipos de ríos considerando su configuración morfológica ya que permite diferenciar la forma en que ocurren procesos morfodinámicos.

2.2.2.1 Ríos rectos de montaña

Aunque en la mayoría de los ambientes en el mundo se considera que los ríos rectos son poco comunes, esto no es válido para la geomorfología montañosa del país. Muchos de los ríos cordilleranos tienen la condición de tener la longitud del valle aproximadamente igual a la del cauce; son ríos de fuerte gradiente, comúnmente encañonados, de fuertes vertientes y con una alta capacidad de transporte de agua y sedimentos de manera estacional, variando significativamente de acuerdo con las oscilaciones del clima tropical (Figura 2-10). Los tamaños de este tipo de ríos varían en gran medida, dependiendo de la condición geomorfológica.

Por su condición de alto gradiente, no tienen extensas zonas de ocupación durante las crecientes; sus llanuras de inundación son estrechas o incluso inexistentes, por lo que los procesos de flujo y transporte de sedimentos se concentran en cauces únicos, fáciles de determinar.

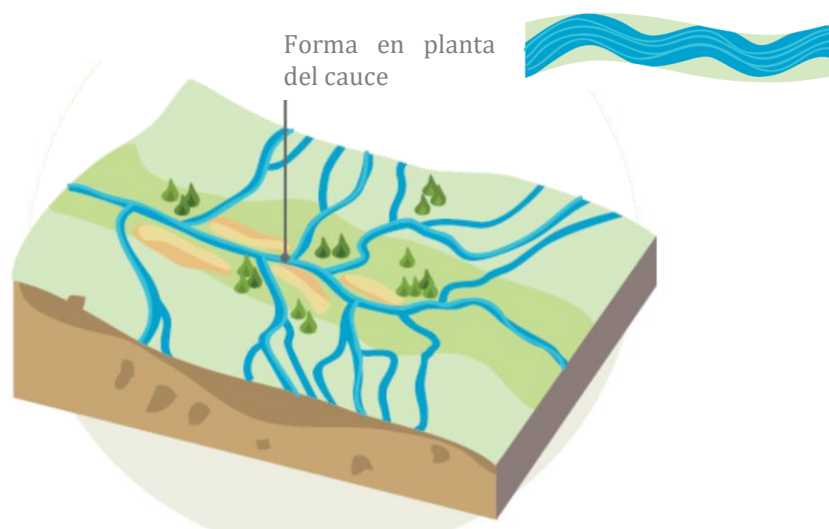


Figura 2-10. Esquemmatización de un río recto de montaña con su forma típica en planta.

Estos sistemas presentan comúnmente comportamiento torrencial, lo que les da una gran capacidad de transporte de sólidos. Muchas de las ciudades cordilleranas están cruzadas por corrientes que pueden clasificarse como rectas. Ejemplos recientes de comportamiento torrencial de este tipo pueden encontrarse en los medios de información en cada periodo de lluvias. El arrastre y depósito de gruesos volúmenes de sedimentos cobran numerosas vidas en las distintas regiones de montaña del país donde hay asentamientos humanos en zonas de cambio de gradiente de estos sistemas (e.g. abanicos aluviales). Un ejemplo de ello fue el evento ocurrido el 18 de mayo de 2015 en el casco urbano y suburbano del municipio de Salgar en el departamento de Antioquia donde una avenida torrencial iniciada en los Farallones de Citará y transportada por la cuenca de la quebrada la Liboriana, afluente del río Barroso, tuvo un saldo de víctimas superior a 90 personas. La vereda más afectada, llamada las Margaritas, fue construida en un tramo donde la corriente presenta un ensanchamiento, lo que dio lugar a una acumulación de sedimentos gruesos producto de eventos anteriores del mismo tipo. Similar comportamiento fue el del evento ocurrido los días 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en Mocoa, con un saldo trágico de más de 300 personas muertas, desaparecidos y gran parte de la ciudad afectada (Figura 2-11).

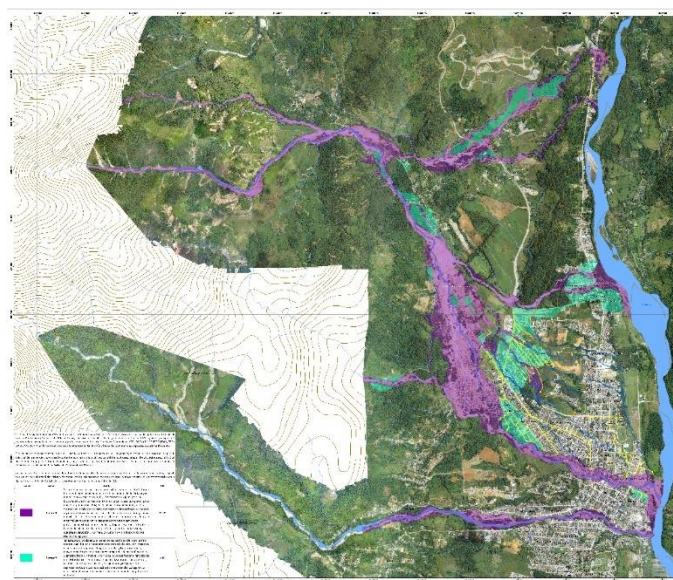


Figura 2-11. Delimitación de la extensión (franjas color lila y azul que representan sectores con depósitos de material grueso y fino respectivamente) del evento ocurrido entre el 31-03 y 01-04-2017 en el Municipio de Mocoa - Departamento de Putumayo. Fuente: Resolución 0477 de 2017 CORPOAMAZONÍA.

Los cambios abruptos de pendiente en los ríos de montaña, contribuye a que se den cambios en las condiciones de flujo de confinado a no confinado lo que produce una divergencia del mismo y una reducción en su velocidad por la reducción de la pendiente. La cantidad de material que pueden transportar y depositar hace que se formen elementos cónicos con una sección transversal convexa, lo que se conoce como abanicos aluviales (Charlton, 2008). Estas zonas donde se presentan acumulaciones de sedimentos son rasgos necesarios por considerar en el análisis de su dinámica.

2.2.2.2 Ríos sinuosos

Los ríos sinuosos se desarrollan en zonas con bajos gradientes, en diferentes tipos de rocas y sustratos aluviales. Se encuentran asociados a corrientes de energía moderada y pueden tener carga desde gravas hasta arcillas.

Dependiendo de su ubicación geomorfológica tienden a tener una longitud del cauce mucho mayor a la longitud del valle en que se alojan, lo que puede dar lugar a una clasificación de éstos con base en índices de sinuosidad que comparan ambas longitudes; entre más bajo es el gradiente, como en el caso de las grandes llanuras del país, el índice tiende a ser mayor. Por su poca capacidad de incisión, son ríos y corrientes que migran lateralmente formando grandes llanuras de inundación, que incluyen una amplia diversidad de geoformas, dentro de las cuales se encuentran los distintos tipos de sistema lénticos que son interdependientes de la dinámica fluvial (Figura 2-12).

Normalmente están restringidos a un sólo cauce que cambia constantemente de longitud por variabilidad de la sinuosidad, dependiendo de la dinámica de los meandros. Pueden inundar grandes áreas por períodos de tiempo largos, cumpliendo así con procesos de fertilización o contaminación de suelos dependiendo de las condiciones particulares de las coberturas y usos de la tierra de la cuenca hidrográfica y de calidad del agua. Las condiciones de fertilidad de los suelos, de sus amplias llanuras de inundación, han atraído el desarrollo de un gran número de actividades humanas, que se ven perturbadas periódicamente por el fenómeno de la inundación lenta que les caracteriza si con ésta no se ha dado el proceso de adaptación social.

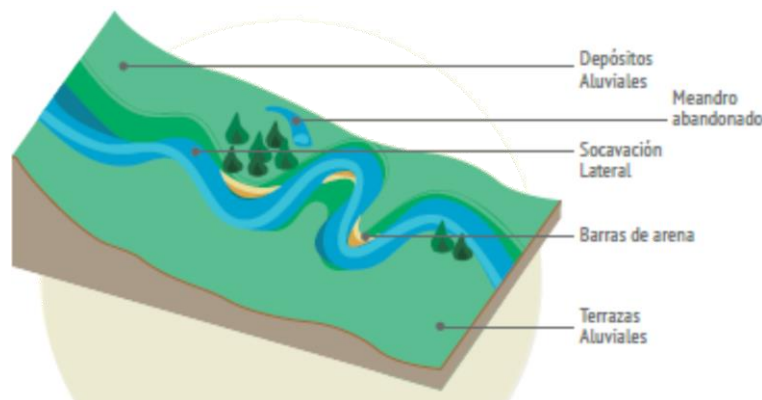


Figura 2-12. Esquemmatización de un río sinuoso.

Para el caso colombiano se encuentran ríos con características de sinuosos en varias condiciones geomorfológicas, los cuales van desde valles de fondo plano y bajo gradiente en los altiplanos de montaña alta, como puede ser: el río Bogotá a su paso por la denominada sabana del mismo nombre; el río Penderisco en el tramo del municipio de Urrao en Antioquia; el río Cauca en el tramo comprendido en parte de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca en la depresión entre las cordilleras Central y Occidental. Aunque se pueden reconocer variaciones en esta tipología de ríos, su comportamiento es muy similar en las distintas regiones donde se presentan.

Este tipo de dinámica fluvial es la más característica de las grandes planicies del Pacífico como los ríos San Juan y Patía; del Caribe como el Atrato, parte baja del Sinú, el San Jorge, el Cesar; el Magdalena; en la Orinoquía y la Amazonía en los tramos comprendidos entre los abanicos de

pie demonte y sus desembocaduras. En el caso de los ríos de la cuenca del Orinoco son comúnmente ríos sinuosos de índice alto pero cuyas llanuras de inundación son del tipo confinado por estar encajadas en los grandes altiplanos bajos. En la Figura 2-13 se muestra un tramo sinuoso de un río de llanura.

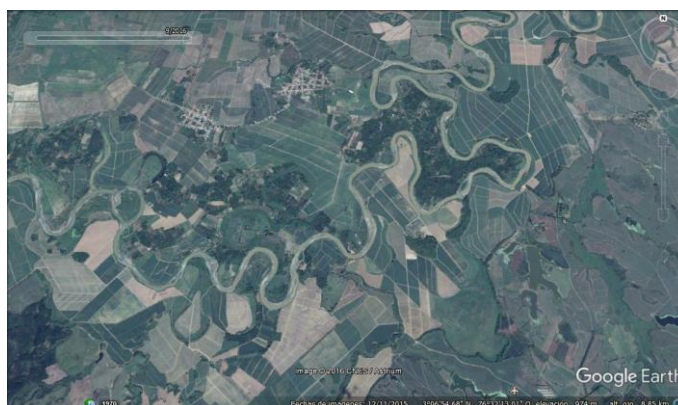


Figura 2-13. Tramo sinuoso del río Cauca donde se pueden observar los meandros abandonados (con y sin agua). Fuente: Google Earth (2017)

Estos ríos tienen una amplia variabilidad lateral y tienden a dejar gran cantidad de meandros e incluso cauces abandonados, también conocidos como paleocauces que pueden ser ocupados de nuevo por la corriente, dado el tipo de dinámica. Dependiendo de las regiones, los meandros abandonados pueden ser conocidos como madres viejas o lagos en media luna. Estos ríos suelen tener amplias llanuras de inundación con muchos tipos de geoformas fluviales dentro de las cuales se destacan los cuerpos de agua lénticos “aislados” o en forma de complejos, los cauces de “bypass”, los diques naturales, entre otros.

2.2.2.3 Ríos trenzados

Los ríos trenzados se dan donde la corriente tiene más carga que capacidad debido a condiciones hidromorfológicas. Están caracterizados por cauces amplios y relativamente superficiales, en los cuales el flujo se divide y se junta a través de barras (Figura 2-14). La apariencia de los ríos trenzados varía de acuerdo con los cambios en las condiciones del flujo. Durante grandes flujos, muchas de las barras se sumergen parcial o totalmente, dando la apariencia de ser de un solo cauce; mientras que con pequeños flujos las partes más amplias de las barras quedan expuestas. Para que estas barras sean formadas, se requiere una abundante cantidad de material de arrastre. Gran parte de este material lo aporta el sector de captación de la cuenca, en las partes más altas, con algunas contribuciones de la erosión lateral. Las barras temporales están formadas por materiales tamaño grava y arena, pero puede haber hasta tamaño arcilla en volúmenes menores.

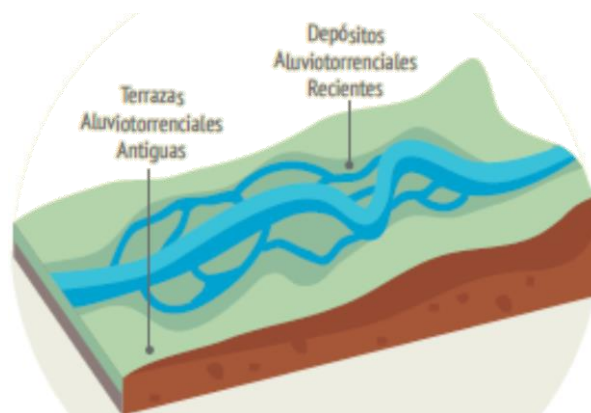


Figura 2-14. Esquemmatización de un río trenzado.

Los ríos trenzados son altamente dinámicos, con cambios frecuentes en la posición de cauces y barras. La modificación mediante la disección y el re-trabajo de las barras y la formación y crecimiento de nuevas barras, ocurre en períodos relativamente cortos que pueden variar en días o meses. En Colombia es común esta dinámica en las zonas de piedemonte tanto interno como externo. Tienen comportamiento trenzado los ríos que forman grandes abanicos cuando cambian de manera abrupta sus gradientes al cambiar de unidad geomorfológica. Como ejemplos de este comportamiento se pueden citar los ríos de montaña que desembocan al río Cauca en el departamento del Valle del Cauca, los tramos de piedemonte de los ríos de las cuencas del Amazonas y el Orinoco (Figura 2-15), y algunos ríos menores de piedemontes internos en su desembocadura al Cauca y al Magdalena.

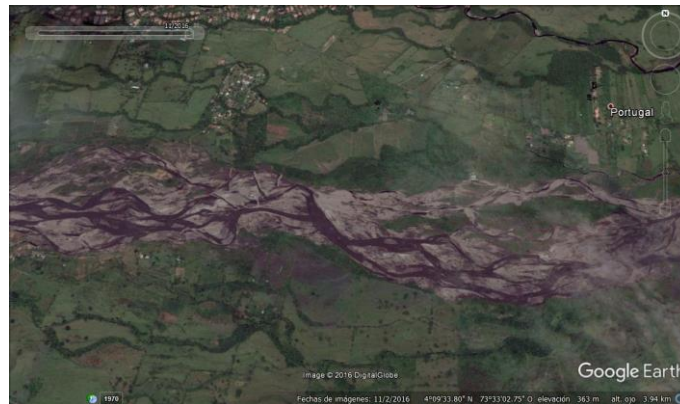


Figura 2-15. Río Trenzado en el Piedemonte llanero de Colombia. Fuente: Google Earth (2017).

2.2.2.4 Ríos anastomosados

Este tipo de corriente es más común en donde hay condiciones de equilibrio entre la carga y la capacidad de la corriente. Los ríos anastomosados son aquellos donde el flujo tiende a dividirse en varios cauces que pueden variar ligeramente con las épocas de lluvia y sequía. En general son de bajo gradiente con altas cargas de sedimentos. En Colombia son relativamente escasos si se les compara con los otros tres tipos discutidos. Los cauces separados se denominan brazos, los cuales comúnmente cortan la llanura de inundación, dividiéndola en varias islas alargadas; cada uno de estos brazos puede ser recto, sinuoso o igualmente anastomosado (Figura 2-16).

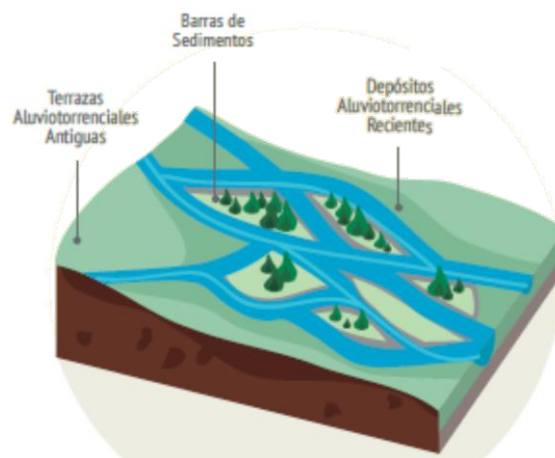


Figura 2-16. Esquematización de un río anastomosado.

A diferencia de los ríos trenzados, las tasas de migración lateral son típicamente muy bajas. Las barras, conocidas comúnmente como islas dada su condición de semipermanentes, son una característica generalmente estable y dependiendo de las condiciones climáticas, pueden estar cubiertas de vegetación y son utilizadas para agricultura transitoria, edificaciones permanentes e incluso se da el caso de servir de plataforma para explotaciones petroleras en algunas zonas del río Magdalena. Nuevos brazos pueden aparecer cuando las aguas rompen uno de los brazos existentes incizando la llanura de inundación, mientras que otros cauces son abandonados a medida que el flujo se reparte en otros lugares o cuando son rellenos por sedimentos. Los ríos anastomosados representan el tipo de río más diverso entre los cuatro principales que existen. En Colombia se pueden identificar dentro de este tipo algunos de los tramos del río Cauca y el Magdalena Medio (Figura 2-17), especialmente el comprendido entre Honda y San Pablo. Debido a la gran cantidad de sedimentos que transporta, tiene numerosas barras y cauces los cuales son ocupados diferentemente dependiendo de los caudales que mueve el río en las distintas épocas del año hidrológico. Tienen un cauce principal que es el más profundo y por el cual circulan los caudales líquidos y sólidos durante todo el año. Los cauces secundarios están a diferentes profundidades menores que el cauce principal y por tanto son ocupados por el flujo a medida que aumenta el caudal.

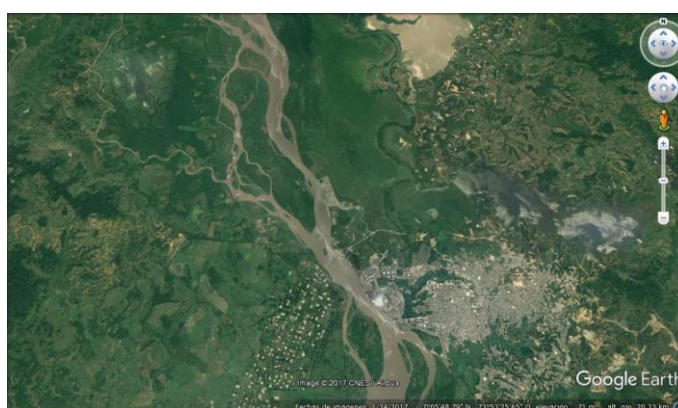


Figura 2-17. Tramo anastomosado del río Magdalena. Fuente: Google Earth (2017)

2.2.3 Sistemas lénticos

Para el alcance de la presente Guía se trabaja con la definición clásica de sistemas lénticos. Dicha definición permite una clara diferenciación de los sistemas lóticos para efectos de gestión, permitiendo a su vez delimitar las tipologías de sistemas lénticos que interactúan con los lóticos para diferentes condiciones hidromorfológicas.

Para la clasificación de humedales de Colombia se han desarrollado diferentes instancias de trabajo que han permitido establecer que el humedal es un tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua (temporal y permanentemente) y que da lugar a un tipo característico de suelo y organismos adaptados a estas condiciones (ver Jaramillo et al., 2015).

Los aspectos relacionados con el origen y funcionamiento de los sistemas lénticos están sujetos a las características geomorfológicas e hidrológicas que definen las fuentes del agua, su transporte y almacenamiento. Así mismo, bajo este enfoque, la vegetación y los suelos corresponden a manifestaciones de dicho funcionamiento, a partir de las cuales también se determinan aspectos relacionados con el estado y funcionalidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan a continuación algunas consideraciones geomorfológicas que se deben tener en cuenta para el análisis del comportamiento de estos sistemas a efectos del acotamiento de su ronda hídrica.

2.2.3.1 *Sistemas lénticos interiores*

Sistemas que tienen un espejo de agua permanente o que mantienen un área saturada la mayor parte del año hidrológico. Pueden ser aislados, como algunos lagos y lagunas de alta montaña, o presentarse en forma de sistemas interconectados entre sí y con los ríos, los cuales son conocidos como complejos de humedales. En general se encuentran en la región Andina del país y su clasificación depende del proceso que les dio origen. Los hay de origen glaciar en la alta montaña andina (Figura 2-18) y la Sierra Nevada de Santa Marta, y los generados por depresiones morfológicas, por razones tectónicas o por obstrucciones geológicas permanentes de cauces de ríos. La forma de estos tipos de cuerpos de agua depende principalmente de las condiciones hidromorfológicas y el relieve circundante. Algunos de estos cuerpos de agua pueden tener en sus alrededores acumulaciones de sedimentos lacustres fácilmente reconocibles, por su baja o nula inclinación y por su composición.



Figura 2-18. Lagunas de origen glaciar en Parque Nacional de los Nevados. Fuente: Google Earth (2017).

2.2.3.2 *Sistemas lénticos relacionados con la dinámica fluvial*

2.2.3.2.1 *Ciénagas*

Sistemas de poca profundidad, y generalmente asociados a la dinámica fluvial. Se pueden encontrar como cuerpos de agua individuales, separados en las llanuras de inundación de ríos de planicie, aunque lo más frecuente es encontrarlas como conjuntos o complejos interconectados entre sí y con el río por cauces de diverso tipo (Figura 2-19), mediante los cuales reciben y entregan agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes al y desde el sistema principal.

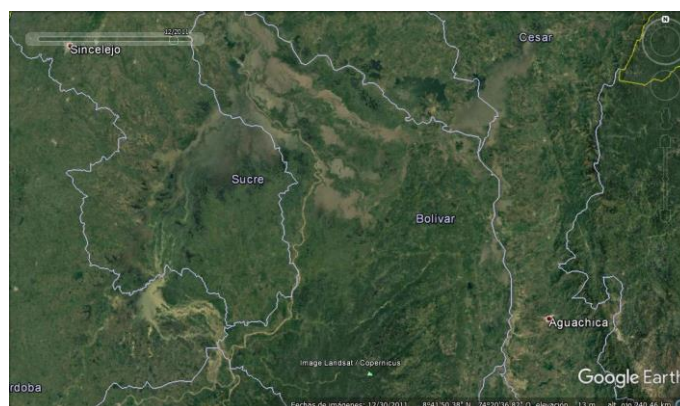


Figura 2-19. Complejos de humedales que interactúan con la dinámica de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge (imagen del 30/12/2011). Fuente: Google Earth (2017).

Estos complejos tienen funciones hidrológicas y geomorfológicas que responden a condiciones particulares como bajos gradientes y grandes caudales, razón por la cual actúan como reguladoras del sistema hídrico y hábitat físico para el recurso hidrobiológico. En especial, los peces desarrollan allí una fase clave de su ciclo biológico.

Por su dinámica son cambiantes con el tiempo por estar sometidos a procesos naturales de inundación y sedimentación. Este tipo de sistemas lénticos tiene ciclos de vida que dependen de variables naturales y antrópicas por lo que es difícil predecir cuáles de éstos permanecerán más en el tiempo, cuáles se colmatarán de sedimentos, y cuál nuevo aparecerá como consecuencia de la dinámica de los procesos que en estas zonas ocurre. Por las condiciones anotadas, estos sistemas o “complejos” adquieren una relevancia mayor como ecosistemas de especial importancia y como fuente de servicios ecosistémicos para las comunidades asentadas en su entorno.

2.2.3.2.2 *Meandros abandonados*

Sistemas que corresponden a antiguos brazos o cauces de ríos sinuosos principalmente, pero que debido a la dinámica de estas corrientes han quedado aislados. Sin embargo, éstos al encontrarse en la llanura aluvial del río, actúan como reguladores de crecientes, y son indicadores de la amplitud mínima que puede tomar el río en uno de estos eventos (ver Figura 2-13).

2.2.3.3 *Sistemas lénticos relacionados con la dinámica litoral*

Sistemas correspondientes al gran sistema marino costero colombiano. Los nombres que se proponen corresponden con una clasificación geomorfológica. Aunque las geoformas costeras pueden tener una amplia variación, se proponen los siguientes términos que pueden agrupar gran parte de las posibles subdivisiones.

2.2.3.3.1 *Lagunas costeras*

Las lagunas costeras ("lagoons" en inglés) son cuerpos de agua separados del océano por alguna barrera como un banco de arena, un arrecife de coral, o una isla barrera. Éstos intercambian ciertas cantidades de agua con el mar cuando las mareas sobrepasan la barrera que los separa, o se abren de manera natural “bocas”, y las aguas saladas ingresan a la laguna; tienen suministro de agua dulce proveniente de corrientes y de agua lluvia (Figura 2-20). Este tipo de cuerpos de agua se considera más común en el mar Caribe por sus condiciones micro mareales.

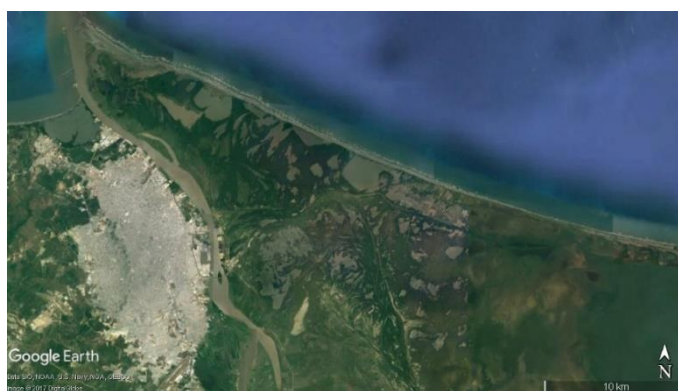


Figura 2-20. Lagunas costeras a los dos márgenes del río Magdalena en su desembocadura en Barranquilla.
Fuente: Google Earth (2017)

2.2.3.3.2 *Planicies de Marea*

Cuerpos de agua en litorales de meso o macro mareas, como en el Pacífico colombiano, que se caracterizan por la inundación regular y secular de la marea, que transporta sedimentos finogranulares tipo arena y lodos, que se depositan en las llanuras mareales existentes entre los cauces. También están asociados a la geomorfología de la Plataforma continental en especial donde

las pendientes son bajas o suaves. Este tipo de cuerpos de agua pueden estar asociados a los márgenes de estuarios, bordes deltaicos o litorales abiertos sometidos a oleajes suaves. Éstos tienen vegetación característica de aguas salobres. Su funcionalidad depende de la interacción entre los cauces de marea y las planicies lodosas, siendo la tipología de vegetación y los suelos rasgos identitarios de sus dinámicas.

2.2.4 Desembocaduras de ríos al mar

Las desembocaduras pueden ser de varios tipos y distintos niveles de complejidad. Generalmente se reconocen deltas y estuarios, y las que pasan de las serranías costeras directamente al mar.

Desde el punto de vista del área de influencia de los deltas internos, ésta debe considerar el sistema en su conjunto (sistemas lénticos asociados). Para los deltas externos, el área de influencia es todo el delta debido su gran dinámica y variabilidad en el tiempo. Ejemplo de estos deltas externos son el delta de Tinajones donde el Sinú desemboca en el golfo de Morrosquillo y el delta del río Atrato (Figura 2-21).

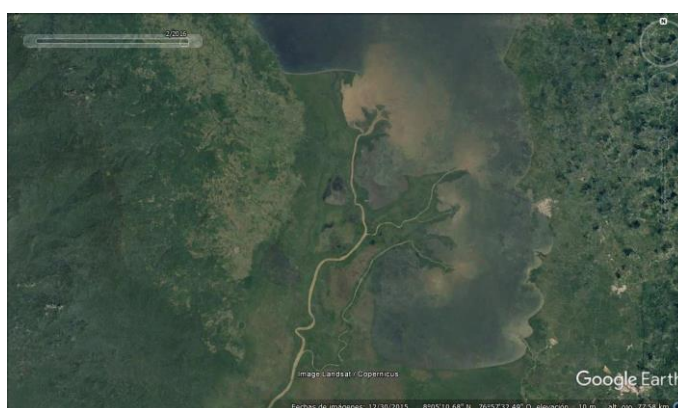


Figura 2-21. Vista parcial del delta externo del río Atrato en el Golfo de Urabá. Fuente: Google Earth (2017).

Cuando la desembocadura ocurre en forma de estuario, como es más frecuente en el Pacífico, el área de influencia directa corresponde con el estuario y las llanuras mareales que se forman en sus alrededores (Figura 2-22). Éstas son fácilmente de representar cartográficamente siguiendo los sistemas de cauces de marea y llanuras de lodo entre éstos, en los cuales regularmente se acumulan los sedimentos arenosos.

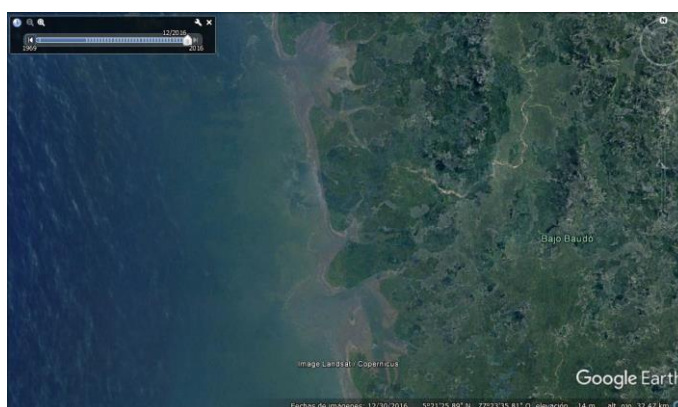


Figura 2-22. Llanuras mareales en el Pacífico. Fuente: Google Earth (2017)

3 MARCO METODOLÓGICO

En este Capítulo se realiza una descripción del marco metodológico para el acotamiento de las rondas hídricas y de la definición de estrategias para su manejo ambiental, como un proceso compuesto por fases y actividades. En tal sentido, aquí sólo se presenta el alcance de cada fase. El desarrollo de cada una de éstas se presenta en los capítulos posteriores, estableciendo los criterios y el respectivo procedimiento para su aplicación.

El proceso está orientado desde la perspectiva de la funcionalidad de las rondas hídricas. Para ello, se consideran los principales procesos biogeofísicos y la alteración antrópica de sus funciones, siendo de especial relevancia los procesos geomorfológicos y fluviales. En la Figura 3-1 se esquematizan los elementos constituyentes de las rondas hídricas para sistemas lóticos y lénticos considerando lo establecido en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011. Tal esquematización aplica igualmente para cuerpos de agua continentales, relacionados con la dinámica litoral (lénticos) o desembocaduras al mar (lóticos), en donde técnicamente aplica el concepto de "línea de mareas máximas" debido a la influencia del mar en su dinámica.

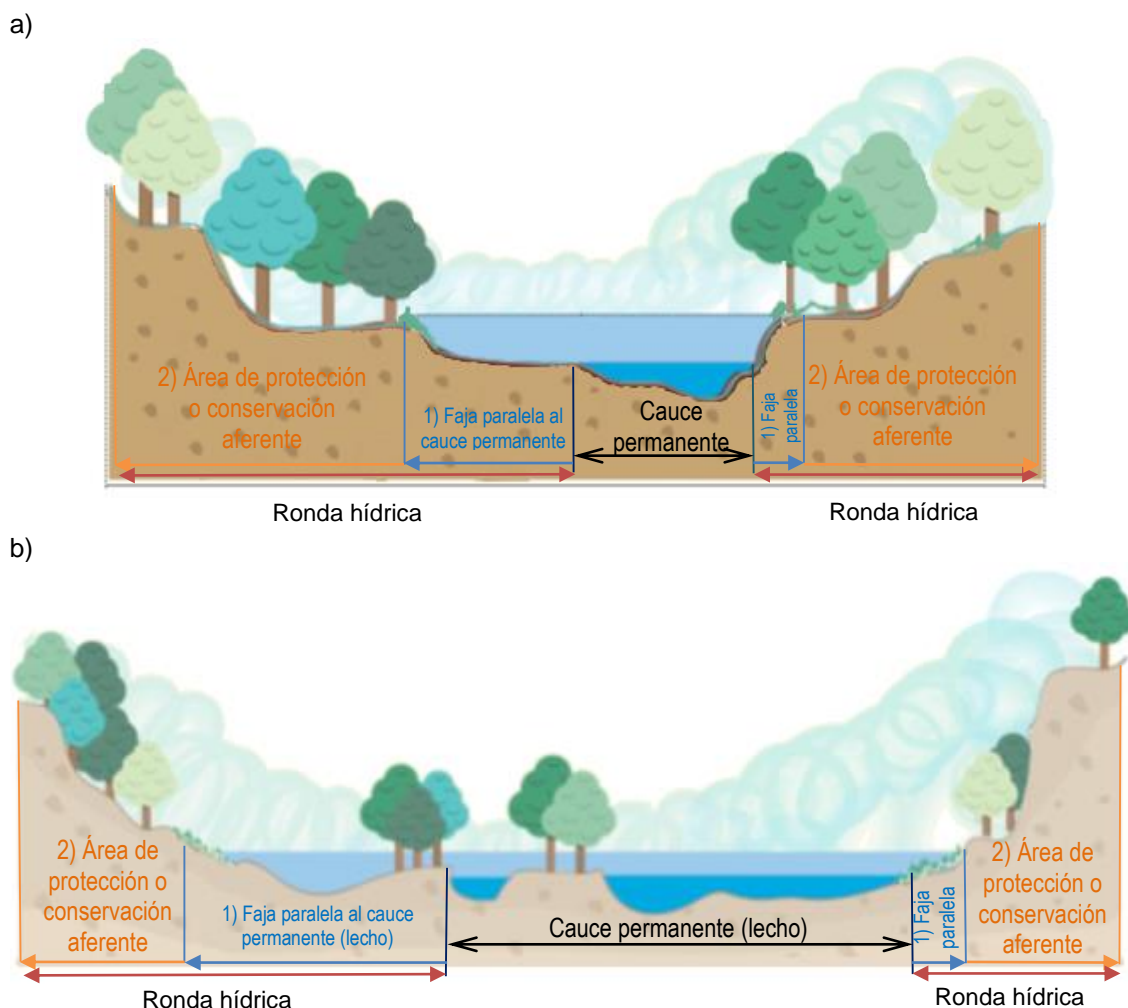


Figura 3-1. Elementos constituyentes de la ronda hídrica de acuerdo con el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 para sistemas: lóticos (a) y lénticos (b). Imágenes adaptadas de FISRWG (1998).

El funcionamiento del sistema fluvial requiere de continuidad longitudinal y conectividad vertical y lateral entre el cauce y la ribera, y que ésta sea bañada de agua, de sedimentos y de nutrientes durante los eventos de inundaciones. En tal sentido, la ronda hídrica se convierte en el espacio necesario para que puedan darse sin restricciones las funciones: geomorfológicas, hidrológico-hidráulicas y ecosistémicas (Figura 3-2). Por ello, la ronda hídrica puede variar ampliamente entre sectores, dependiendo de la dinámica particular del cuerpo de agua y de las condiciones geomorfológicas de su entorno.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos físico-bióticos, el marco metodológico considera en primer lugar la perspectiva funcional para definir el límite físico de la ronda hídrica, dentro del cual se definirán las estrategias para el manejo ambiental pertinentes considerando las condiciones actuales del estado de su funcionalidad, así como de los beneficios que perciben los humanos como reflejo de sus interacciones con ellas.

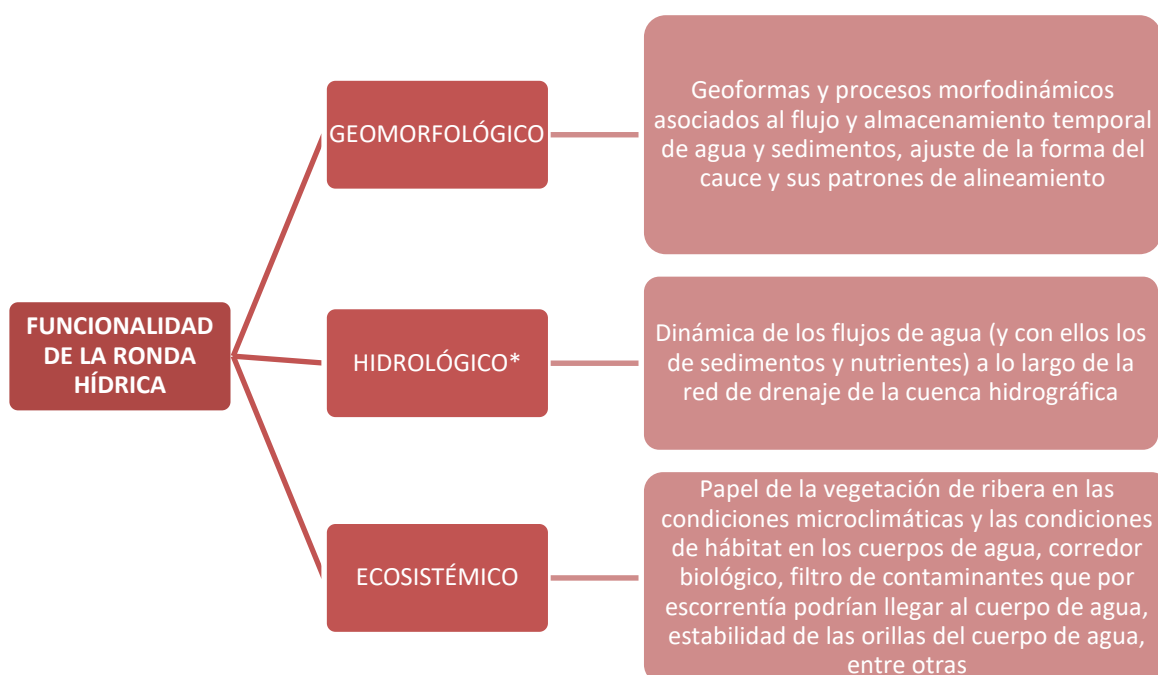


Figura 3-2. Componentes físico-bióticas mínimas a ser consideradas para definir el límite físico de las rondas hídricas desde su funcionalidad. * El componente denominado "Hidrológico" se entiende en adelante como el componente que resume las funciones hidrológico-hidráulicas de la ronda hídrica.

El acotamiento de la ronda hídrica y el establecimiento de las estrategias para el manejo ambiental dentro de la misma comprende varias fases: acciones previas, delimitación del cauce permanente o de la línea de mareas máximas, definición del límite físico y de estrategias para el manejo ambiental (Figura 3-3). Cada una de estas fases comprende una serie de actividades enunciadas en la Figura 3-3 y desarrolladas en cada uno de los capítulos posteriores.

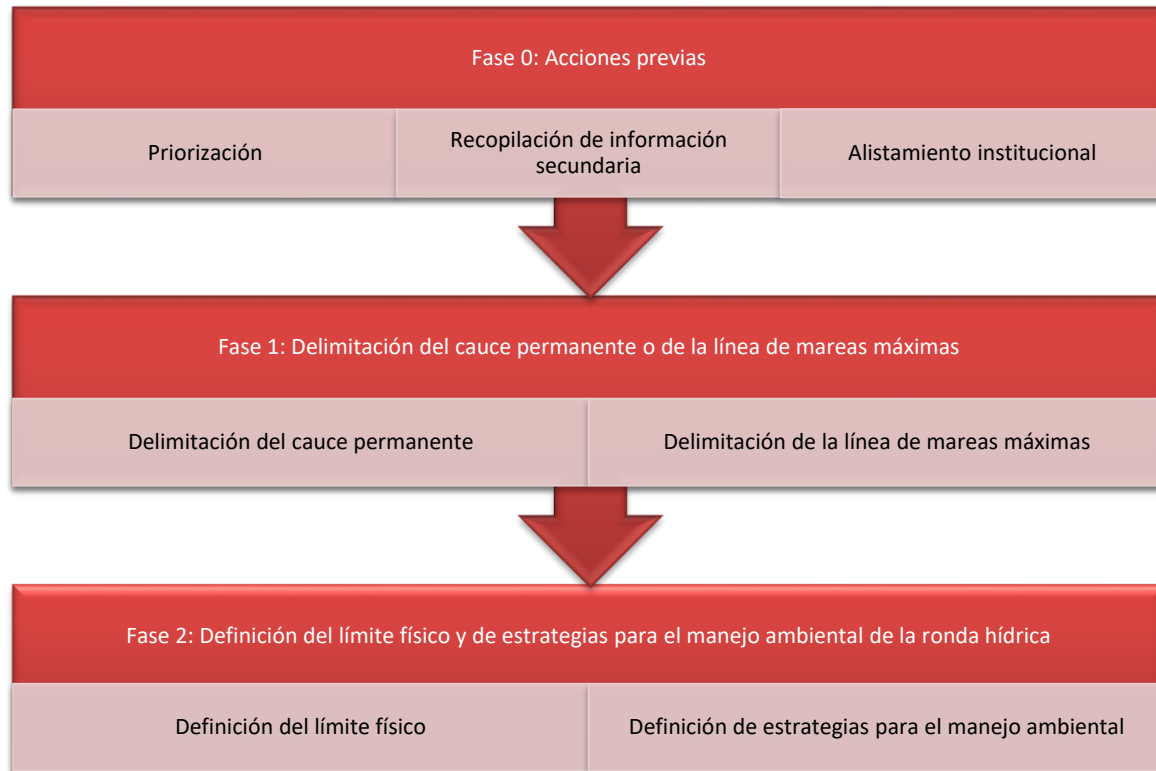


Figura 3-3. Fases y actividades para el acotamiento de la ronda hídrica y el establecimiento de las estrategias para su manejo ambiental.

Toda la información cartográfica analizada deberá ser organizada en una base de datos geográfica estructurada desde los estándares que utilice la Autoridad Ambiental competente en el proceso y compatible con los estándares utilizados en los diferentes subsistemas relacionados del Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC. Se deberá utilizar el marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA–SIRGAS, datum adoptado oficialmente para Colombia, o el que le sustituya. La visualización de la información cartográfica deberá ser compatible con Sistemas de Información Geográfica de uso libre y gratuito.

A continuación, se presenta el alcance de cada una de estas fases y sus actividades, las cuales serán desarrolladas en los siguientes capítulos.

3.1 Fase 0. Acciones previas

Esta Fase se orienta a establecer las condiciones óptimas para el inicio del acotamiento de las rondas hídricas. Considerando la diversidad y multiplicidad de procesos geomorfológicos y fluviales asociados a la ribera de los cuerpos de agua existentes en el país, así como su estado de alteración por acciones humanas, es necesario establecer un marco de prioridades de intervención sostenida en el tiempo.

Una vez la Autoridad Ambiental competente empieza el proceso por el orden de prioridades establecido, la siguiente actividad está relacionada con la recopilación de información secundaria de aspectos físico-bióticos y socio-económicos que sea de utilidad para las siguientes fases. Sobre la base de la información recopilada se realizará un diseño de la estrategia de participación con los actores interesados, así como un análisis de necesidades respecto a personal cualificado, adquisición de información y tiempos estimados para el proceso, siendo el soporte para la actividad denominada alistamiento institucional. En ésta se fijan los roles, cronograma y presupuestos

designados para el inicio del acotamiento de la ronda hídrica del cuerpo de agua (o los cuerpos de agua) establecido (s).

3.2 Fase 1. Delimitación del cauce permanente o de la línea de mareas máximas

La ronda hídrica se acota a partir de "*la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos*". En tal sentido se debe delimitar la franja de terreno desde la cual se acotará la ronda hídrica considerando las particularidades de los sistemas lóticos (e.g. ríos) y lénticos (e.g. lagos) como se explica a continuación:

i) en sistemas lóticos (Figura 3-1a), el cauce permanente es el correspondiente a banca llena o el cauce natural activo, el cual tiene capacidad hidráulica para transitar el flujo de caudales asociados a la ocurrencia de eventos de crecientes propias de la dinámica hidrológica de un período intranual normal, es decir, los eventos producidos principalmente por el paso de la zona de convergencia intertropical. Para delimitar dicho cauce permanente se utilizan criterios asociados a la geomorfología y la dinámica hidrológico-hidráulica en las cuencas hidrográficas;

ii) en sistemas lénticos (Figura 3-1b), se entiende como cauce permanente el límite del lecho frecuentemente ocupado por el agua, el cual es el mínimo para mantener el funcionamiento y resiliencia del ecosistema. Para fijarlo, se deben considerar criterios relacionados con la geomorfología (e.g. cubeta) y la hidrología (e.g. niveles máximos asociados a la dinámica hidrológica de un período intranual normal); en los casos que sea necesario, información adicional desde las evidencias en campo de la existencia de suelos hidromórficos y vegetación hidrofítica;

iii) en cuerpos de agua continentales afectados por la dinámica marina, la elevación máxima promedio anual debido a la dinámica ordinaria de las mareas (marea alta o pleamar y marea viva o sicigial).

3.3 Fase 2. Definición del límite físico y de estrategias para el manejo ambiental de la ronda hídrica

La ronda hídrica tiene los siguientes elementos constituyentes (Figura 3-1): "*la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho, y el área de protección o conservación aferente*". El punto de partida es definir el límite físico desde el punto de vista funcional y establecer dentro de éste las estrategias para su manejo ambiental.

3.3.1 Definición del límite físico

La primera actividad de esta fase es caracterizar y fijar los límites, a partir del cauce permanente (de sistemas lénticos o lóticos) o de la línea de mareas máximas (en cuerpos de agua continentales afectados por la dinámica marina), desde el punto de vista del funcionamiento físico-biótico (incluye criterios desde lo geomorfológico, hidrológico y ecosistémico). En la Figura 3-4 se esquematiza el límite hasta donde llega cada uno de los componentes físico-bióticos mínimos a considerar en sistemas lóticos. Igualmente, se presenta en la Figura 3-5 el esquema similar para sistemas lénticos.

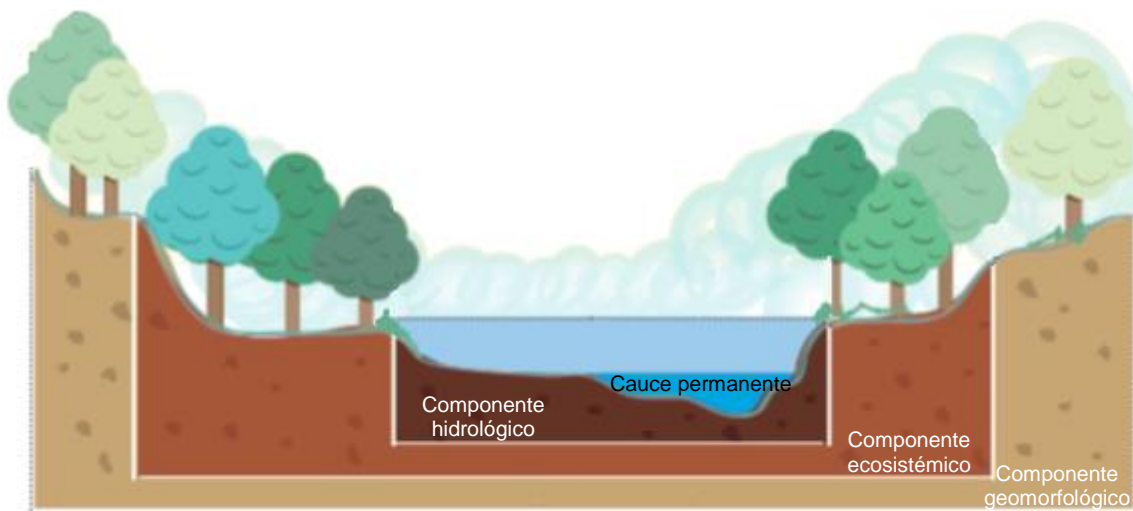


Figura 3-4. Componentes físico-bióticos para fijar el límite físico de la ronda hídrica en sistemas lóticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

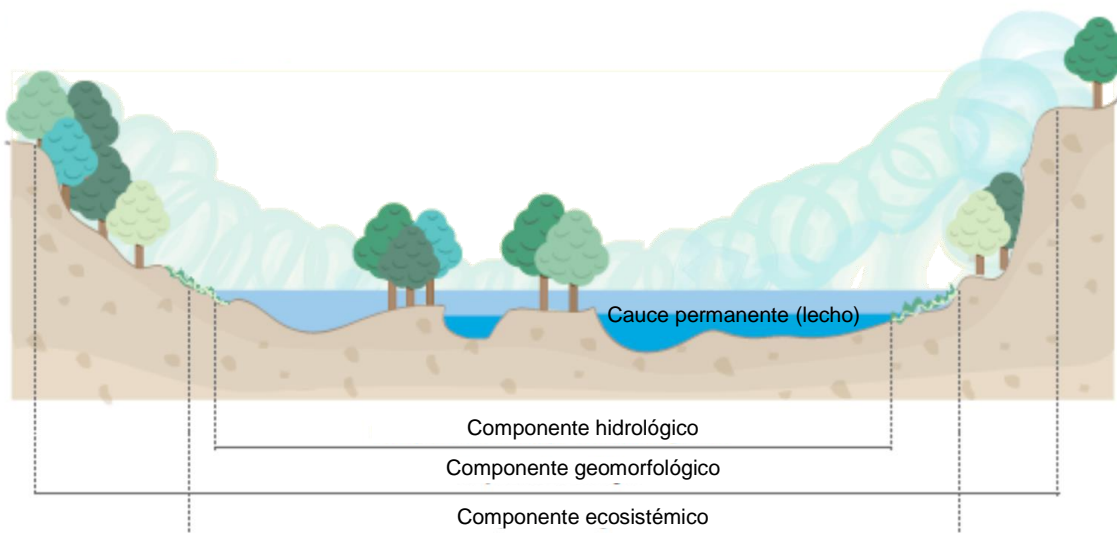


Figura 3-5. Componentes físico-bióticos para definir el límite físico de la ronda hídrica en sistemas lénticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

El límite físico de la ronda hídrica es el resultado de la envolvente que genera la superposición de los tres componentes preponderantes de las características físico-bióticas de este ecotono desde el punto de vista funcional: geomorfológicas, hidrológicas y ecosistémicas.

3.3.2 **Definición de estrategias para el manejo ambiental**

Esta actividad tiene como alcance considerar unas directrices mínimas para el manejo ambiental de la ronda hídrica a través de estrategias de preservación, restauración o usos sostenibles. Para ello, se deben identificar los actores y servicios ecosistémicos, así como los elementos constituyentes (*la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho y el área de protección o conservación aferente*) de la ronda hídrica con base en los resultados del proceso de delimitación del límite físico de la ronda y el desarrollo de la estrategia de participación.

4 FASE 0: ACCIONES PREVIAS

En este Capítulo se presentan las acciones preliminares del acotamiento de las rondas hídricas, razón por la cual se ha denominado Fase 0.

4.1 Priorización de cuerpos de agua para el acotamiento de su ronda hídrica

La acción de priorizar le permite a las Autoridades Ambientales competentes definir el orden mediante el cual acotará la ronda hídrica, gradual y sostenidamente en el tiempo, de los cuerpos de agua de su jurisdicción. Considerando que el marco metodológico orientador del proceso se basa en una perspectiva funcional, considerando las condiciones socio-culturales que han dado lugar a procesos de co-evolución del paisaje y la sociedad, los criterios de priorización deben estar enfocados en la misma dirección. En tal sentido, se debe realizar un análisis multicriterio que permita realizar una valoración que arroje los órdenes de prioridad.

Como punto de partida se debe considerar la información oficial de cuerpos de agua lóticos (indiferente si son permanentes, estacionales o efímeros) y lénticos a escala de trabajo, como mínimo, 1:25000 dentro la respectiva subzona hidrográfica o nivel subsiguiente de la zonificación hidrográfica nacional. La red de drenaje se estructurará hasta el nivel que sea identificable en la escala de trabajo teniendo en cuenta los casos particulares que surjan en el proceso de priorización. Igualmente, se incorporará la información oficial de sistemas lénticos identificables a la escala de trabajo que la Autoridad Ambiental decida a partir de la mínima establecida (1:25000).

4.1.1 Criterios de priorización

Se establecen unos criterios mínimos los cuales han sido agrupados de acuerdo con los aspectos que les dan origen para su posterior ponderación.

4.1.1.1 *Criterios relacionados con instrumentos de gestión ambiental (C₁)*

En esta categoría se encuentran un listado mínimo de los instrumentos de gestión ambiental que tienen relación directa o indirecta con las rondas hídricas. Este grupo tendrá un peso del 30% en la ponderación.

4.1.1.1.1 *Cuerpos de agua con procesos en curso o actos administrativos de la Autoridad Ambiental competente relacionados con la gestión de áreas que puedan ser coincidentes con las de la ronda hídrica*

En la perspectiva de armonizar las disposiciones definidas en la Guía con otras antecedentes relacionadas con la gestión de áreas que puedan ser coincidentes con las de la ronda hídrica, la autoridad ambiental competente realizará el respectivo análisis que les permita tomar las decisiones a que haya lugar y puntuar con este criterio para su priorización.

4.1.1.1.2 *Cuerpos de agua priorizados para el acotamiento de rondas hídricas desde un Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA adoptado o en proceso de formulación*

El artículo 2.2.3.1.6.12. del Decreto 1076 de 2015, que trata de las medidas para la administración de los recursos naturales renovables, establece que “*En la fase de formulación se deberá definir e identificar los recursos naturales renovables que deben ser objeto de implementación de instrumentos de planificación y/o administración por parte de las autoridades ambientales competentes, tales como: (...) 13. Cuerpos de agua priorizadas para la definición de ronda hídrica*”.

4.1.1.1.3 *Planes de Ordenamiento del recurso hídrico - PORH adoptados o en formulación*

El PORH, como instrumento de planificación para la administración del recurso hídrico, es la estrategia central trazada para el logro del Objetivo 3 (Calidad) de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Con dicho instrumento se pretende avanzar en el control de la

contaminación de los cuerpos de agua y en el aprovechamiento del agua desde un punto de vista sostenible.

Considerando que el estado de las rondas hídricas está relacionado con las condiciones de calidad del cuerpo de agua, por el efecto de la entrada de luz, sombra, intercambio de sedimentos, nutrientes, detritos, así como del efecto de prevención de entrada de contaminantes al cuerpo de agua, acotar las rondas hídricas de estos cuerpos de agua, contribuirá al cumplimiento de los objetivos de calidad trazados para el corto, mediano y largo plazo.

4.1.1.1.4 Cuerpos de agua con objetivos de calidad definidos

En los casos en los que el cuerpo de agua no cuente con ninguno de los instrumentos de planificación mencionados anteriormente, pero ha sido identificado como elemento estratégico en el marco de la definición de objetivos de calidad, las consideraciones mencionadas en el inciso final del numeral anterior son aplicables. Igualmente es válido para cuerpos de agua que tienen definidos objetivos de calidad.

4.1.1.1.5 Cuerpos de agua con reglamentación de vertimientos

En los casos en los que el cuerpo de agua cuente con reglamentación de vertimientos, las consideraciones mencionadas respecto a la relación de la calidad del agua con el acotamiento de rondas hídricas señaladas en el párrafo final del numeral 4.1.1.2 son aplicables. Esto es igualmente válido para cuerpos de agua que se encuentren en proceso de reglamentación.

4.1.1.1.6 Cuerpos de agua con reglamentación del uso de las aguas

En los casos en los que los cuerpos de agua tengan una reglamentación del uso de las aguas, las consideraciones mencionadas respecto a la relación de la calidad del agua con el acotamiento de rondas hídricas señaladas en el párrafo final del numeral 4.1.1.2 son aplicables. Esto es igualmente válido para cuerpos de agua que se encuentren en proceso de reglamentación.

4.1.1.1.7 Humedales con Plan de Manejo o en proceso de formulación

La ronda hídrica en los sistemas de humedales contribuye con el mantenimiento de la funcionalidad de estos cuerpos de agua, su aporte a la biodiversidad y prestación de servicios ecosistémicos.

4.1.1.1.8 Cuerpos de agua en el marco de distinciones internacionales (RAMSAR, AICAS, reservas de biosfera)

Mantener la funcionalidad de la ronda hídrica en estos cuerpos de agua contribuye a alcanzar los objetivos de dichas estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica.

4.1.1.2 Criterios relacionados con aspectos físico-bióticos (C₂)

En esta categoría se encuentran un listado mínimo criterios relacionados con aspectos funcionales de la ronda hídrica desde el punto de vista ecológico. Este grupo tendrá un peso del 30% en la ponderación.

4.1.1.2.1 Nacimientos o cuerpos de agua que abastecen acueductos rurales o urbanos

Reconociendo que las rondas hídricas son un área clave para la regulación hídrica, mantener su funcionalidad contribuye con el mantenimiento de los procesos hidrológicos de los que depende la oferta hídrica para consumo humano.

4.1.1.2.2 Existencia de vegetación de ribera nativa

La vegetación de ribera cumple un rol central en la funcionalidad de las rondas hídricas. Mantenerla contribuye con el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que prestan estos ecotonos.

4.1.1.2.3 *Presencia de fauna o flora de tipo endémica o en alguna categoría de amenaza*

El mantenimiento de la funcionalidad de las rondas hídricas y sus servicios ecosistémicos, tiene especial relevancia en la disponibilidad y calidad de hábitat físico de especies de flora o fauna endémicas o en alguna categoría de amenaza (en peligro crítico de extinción -CR, en peligro de extinción-EN y vulnerable - VU según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN) presentes en la misma.

Se tiene como referencia la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o la que la modifique o sustituya la cual establece *el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera*.

4.1.1.2.4 *Presencia de especies migratorias*

El mantenimiento de la funcionalidad de las rondas hídricas y sus servicios ecosistémicos tiene especial relevancia en la disponibilidad y calidad de hábitat físico para especies migratorias, y en particular para las especies ícticas en sistemas lóticos.

Cuando ya se haya puntuado en el criterio de humedales con categoría RAMSAR o cuerpos de agua con categoría AICAS, el presente criterio no deberá considerarse.

4.1.1.3 *Criterios relacionados con aspectos socio-culturales (C₃)*

En esta categoría se encuentran un listado mínimo criterios relacionados con aspectos funcionales de la ronda hídrica desde el punto de vista socio-cultural enfocado a la prevención de conflictos socio-ambientales y la prevención del riesgo por el desarrollo de fenómenos de inundaciones o avenidas torrenciales. Por ello, este grupo tendrá un peso del 40% en la ponderación.

4.1.1.3.1 *Cuerpos de agua con zonas de ribera en las que existan problemáticas o conflictos ambientales*

En los archivos de la Autoridad Ambiental competente se tiene el registro de las quejas, reclamos, peticiones y solicitudes mediante las cuales se pueden identificar problemáticas o conflictos ambientales asociados a las rondas hídricas.

4.1.1.3.2 *Cuerpos de agua que discurren por zonas urbanas o de expansión urbana*

El acotamiento de rondas hídricas en cuerpos de agua que discurren por zonas urbanas consolidadas y zonas de expansión urbana se convierte en una medida de prevención de riesgos por inundación.

4.1.1.3.3 *Cuerpos de agua con llanuras inundables, valles o abánicos aluviales con ocupación antrópica*

El acotamiento de la ronda hídrica, en estas condiciones particulares, se convierte en una medida de prevención de riesgos por inundación.

4.1.1.3.4 *Cuerpos de agua con cauces naturales alterados priorizados para su renaturalización*

Actualmente, existe una tendencia en la gestión ambiental urbana en la renaturalización o apertura de cauces naturales intervenidos. La restauración del cauce permanente del cuerpo de agua deberá venir acompañada de la restauración del funcionamiento de su ronda hídrica.

4.1.1.3.5 *Cuerpos de agua en áreas de influencia de proyectos de desarrollo económico de interés nacional o con altos impactos sobre el régimen hidrológico y las rondas hídricas*

Entrarán en esta categoría los proyectos denominados de "interés nacional" o los que tienen impactos directos significativos sobre el régimen hidrológico y las rondas hídricas tales como: centrales hidroeléctricas de regulación o a filo de agua, mega-minería, explotación de hidrocarburos, embalses, trasvases entre subzonas hidrográficas y niveles subsiguientes objeto de POMCA (Minambiente, 2013). Igualmente, podrán entrar otros proyectos, que por sus impactos en la

funcionalidad de la ronda hídrica deberán ser considerados por la Autoridad Ambiental competente (ejemplos de ello pueden ser los distritos de riego, puertos fluviales, adecuaciones hidráulicas, minería aluvial o de material de arrastre).

4.1.2 Metodología para realizar el análisis multicriterio de priorización

La Autoridad Ambiental competente deberá organizar la base de datos de cuerpos de agua en su jurisdicción tomando como referencia mínima: i) en sistemas lénticos, el mapa nacional de humedales escala 1:100000 (Minambiente et al., 2017); ii) para sistemas lóticos, la escala de trabajo para la consideración de la red de drenaje debe ser como mínimo de 1:25000. Sin embargo, si cuenta con cartografía de mayor nivel de detalle que le permita categorizar los cuerpos de agua, ésta debe ser utilizada.

Para la organización de los cuerpos de agua se deberá utilizar la codificación que viene desde la Zonificación Hidrográfica Nacional hasta el nivel de subzonas hidrográficas (IDEAM, 2013a) y niveles subsiguientes objeto de POMCA (Minambiente, 2013). Igualmente, cuando aplique se deberá proseguir con la codificación, por parte de la Autoridad Ambiental competente, de los niveles menores a los niveles subsiguientes.

Una primera aproximación de priorización puede ser la asignación de código binario a cada uno de los criterios que serán los mínimos a considerar. En cada criterio se evaluará si se cumple o no la condición. Cuando se cumpla el criterio evaluado la asignación será un valor de uno (1), de lo contrario será cero (0).

Una vez se realice dicha asignación, se realizará la sumatoria por grupo de criterios (C_1 , C_2 y C_3) a los cuales se le asigna su respectiva ponderación siguiendo la siguiente fórmula:

$$P_x = (C_1 * \sum_1^i c_i) + (C_2 * \sum_1^n c_n) + (C_3 * \sum_1^m c_m) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

P_x = Valor de la priorización de un cuerpo de agua dentro del total de cuerpos de agua de una jurisdicción

C_1 = 0.30 (Peso ponderado del grupo de criterios 1)

C_2 = 0.30 (Peso ponderado del grupo de criterios 2)

C_3 = 0.40 (Peso ponderado del grupo de criterios 3)

C_i = valores asignados a cada criterio del grupo de criterios 1

C_n = valores asignados a cada criterio del grupo de criterios 2

C_m = valores asignados a cada criterio del grupo de criterios 3

Al final cada cuerpo de agua tendrá un valor asignado de priorización. Si se organizan los cuerpos de agua, por mayor a menor valor, tal listado dará las prioridades de inicio y desarrollo del acotamiento de las rondas hídricas en cada jurisdicción definiendo el número a realizar cada año para su incorporación en el respectivo plan de acción. En los casos que haya cuerpos de agua con igual valor de la sumatoria, y la Autoridad Ambiental competente requiera tener un orden de prioridades unívoco, se podrán asignar como criterios de diferenciación adicionales a estos cuerpos de agua, los que estén relacionados funcionalidad de la ronda hídrica, resolución de problemáticas, prevención de riesgos u otros que se consideren pertinentes para la adecuada administración de los recursos naturales renovables en las rondas hídricas.

4.2 Recopilación de información secundaria

Como paso previo al acotamiento de la ronda hídrica del cuerpo de agua priorizado al que se iniciará el proceso, la Autoridad Ambiental competente deberá recopilar y analizar la información disponible y pertinente de fuentes secundarias y de otros instrumentos de gestión ambiental conforme a los requerimientos establecidos en el Capítulo 6.

4.2.1 Información requerida

Para el acotamiento de las rondas hídricas se requiere contar con información cartográfica con una adecuada resolución que permita caracterizar las condiciones físico-bióticas así como de su prestación de servicios ecosistémicos. La información mínima requerida durante el proceso se lista a continuación:

- a. Información batimétrica del cuerpo de agua priorizado.
- b. Información topográfica de detalle con una precisión en la vertical de: en áreas rurales 20 cm o mayor precisión, y en áreas urbanas 10 cm o mayor precisión.
- c. Imágenes de sensores remotos y fotos aéreas disponibles para diferentes períodos históricos desde las más antiguas.
- d. Modelo Digital de Elevación - MDE desde el que se pueda caracterizar morfológicamente la red de drenaje y base para el estudio hidrológico. El tamaño adecuado de pixel para la consideración de procesos geomorfológicos e hidrológicos es de 10 metros de lado (Zhang y Montgomery, 1994). Sin embargo, para la cuantificación de atributos morfológicos de la corriente tales como la amplitud del cinturón de meandros (en sistemas meándricos), la extensión de la llanura potencialmente inundable, el grado de confinamiento, entre otros, se recomienda un tamaño de pixel menor o igual a cuatro veces el ancho promedio de banca llena medido o estimado.
- e. Información de eventos de inundaciones fluviales lentas o avenidas torrenciales.
- f. Cartografía básica escala 1:25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.
- g. Series hidroclimáticas a escala diaria, con registros iguales o superiores a 15 años, de estaciones localizadas en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua objeto de estudio, considerando como mínimo los niveles de zona y subzona hidrográfica de la zonificación hidrográfica nacional (IDEAM, 2013a).
- h. Mapa de zonas de vida (escala 1:25000).
- i. Geomorfología a escala semi-detallada (1:25000) para la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua de interés, y detallada (1:10000 o mayor) para las áreas pertenecientes al paisaje fluvial.
- j. Información de distribución de fauna y flora asociada a cuerpos de agua y sus riberas.
- k. Mapa de geología, geomorfología, suelos, coberturas y usos de la tierra en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua de interés para el establecimiento del modelo hidrológico.
- l. Mapa de humedales de Colombia en Escala 1:100000 (Minambiente et al., 2017).
- m. Peticiones, quejas, solicitudes, reclamos que reflejen problemáticas o conflictos ambientales relacionados con la ocupación o actividades que se desarrollan en las riberas de los cuerpos de agua.

Los mapas que se usarán tienen escalas diversas de acuerdo con la actividad por desarrollar en cada componente, variando las escalas desde 1:25000 de los mapas de densidad de drenaje en el Componente Ecosistémico, a los mapas para la implementación de los modelos hidráulicos que deben estar en escala 1:5000 o de mayor detalle. Igualmente, debe considerarse, sobre la base de las fuentes de información consultada, que la escala de trabajo sea totalmente compatible con el plan de ordenamiento territorial para que los resultados sean directamente aplicables.

Cuando en el presente documento se refiera a planes de ordenamiento territorial se entenderá que comprende todos los tipos de planes previstos en el artículo 9 de la Ley 388 de 1997.

Conociendo los anteriores requerimientos, la Autoridad Ambiental competente sistematizará la información que sea pertinente, fiable, actual y en los casos de cartografía, que ésta sea consistente con las escalas requeridas. A continuación, se listan, a manera de ejemplo, algunas fuentes de información que pueden ser útiles.

4.2.2 Fuentes de información

Se enumeran algunas fuentes de información desde las que se puede recopilar la información requerida, listada anteriormente, lo cual tendrá influencia posteriormente en la definición de la programación de actividades.

4.2.2.1 Información topográfica de detalle

Se puede obtener desde levantamientos altiplinamétricos, levantamientos con GPS de alta precisión altimétrica, imágenes LIDAR (por sus siglas en inglés de "Light Detection and Ranging"), o de tecnologías similares, y sus correspondientes productos (Modelo Digital del Terreno y Modelo Digital de Superficie). Con esta herramienta se puede obviar el levantamiento altimétrico y se hace un mejor análisis geomorfológico ya que se hacen más visibles los elementos geomorfológicos presentes.

4.2.2.2 Imágenes de sensores remotos y fotos aéreas

En general, se encuentran en los bancos de datos cartográficos tanto de la autoridad nacional competente en materia de cartografía, así como los que tenga(n) la(s) Autoridad(es) Ambiental(es) competente(s) en la cuenca hidrográfica en análisis u otras fuentes. En este último caso, la Autoridad Ambiental competente deberá validar si es pertinente su utilización bajo los estándares que tenga para ello.

4.2.2.3 Series temporales hidroclimáticas

Se deberán considerar las series temporales de registros diarios de la red de referencia nacional operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, con influencia en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua objeto del acotamiento de la ronda hídrica. Dichas series están disponibles para su descarga gratuita, en el Observatorio del Sistema de Información del Recurso Hídrico⁴. Igualmente, se deberán considerar los datos provenientes de la red regional de referencia operada por la Autoridad Ambiental competente. Las estaciones deberán cumplir con los protocolos existentes para asegurar la calidad de los datos. Se deben considerar las series temporales que tengan registros sistemáticos en una longitud no inferior a 15 años y que los datos faltantes en este período no superen el 10% del total de datos. La Autoridad Ambiental competente deberá sistematizar la información incluyendo como mínimo: a) fecha inicial y fecha final de registro, b) tipo de estación, c) variables medidas, d) entidad encargada, e) escala temporal de registro.

4.2.2.4 Información hidrológica e hidráulica

La información de caudales máximos puede obtenerse, además de los registros de las estaciones, de estudios hidrológicos desarrollados en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua objeto de acotamiento de su ronda hídrica. La información de secciones transversales, batimetrías, topografía de la llanura inundable y niveles de crecientes o inundaciones pueden obtenerse desde estudios hidráulicos o hidrodinámicos. Para ambos casos, los estudios no deben haber generado la información con un tiempo mayor a cinco años.

Desde el punto de vista de información de eventos históricos de inundaciones, también es útil la información relacionada con niveles, reportes, entrevistas, publicaciones, bases de datos, estudios y fotos. Adicionalmente, también es útil la información desde el inventario de obras hidráulicas, expedientes de ocupación de cauce, información temática de inventarios y delimitación de humedales.

4.2.2.1 Mapa Nacional de Humedales de Colombia

En el marco de lo establecido por el artículo 172 de la Ley 1753 de 2015, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible generó la cartografía de humedales a escala 1:100000 (Minambiente et al., 2017), la cual es de carácter indicativo permitiendo una primera identificación de los humedales del

⁴ <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorioSuperficiales.jspx>.

país en una clasificación de Nivel 1 permanentes y Nivel 2 temporales como una primera aproximación al área de estudio.

4.2.2.2 Modelos digitales de elevación

Existen productos globales de libre acceso, con escalas de trabajo adecuada (resolución en la vertical entre 10 y 15 metros), desde las misiones “ASTER” (por sus siglas en inglés de “Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer”)⁵ y “SRTM” (por sus siglas en inglés de “Shuttle Radar Topography Mission”)⁶. Igualmente, se encuentra información disponible desde la misión “ALOS” (por sus siglas en inglés de “Advanced Land Observation Satellite”)⁷.

4.2.2.3 Base de datos o registro de peticiones, quejas, reclamos y solicitudes

Se deberán considerar las peticiones, quejas, reclamos u otras acciones que reflejen problemáticas o conflictos ambientales relacionados con las rondas hídricas. Se deberán considerar, al menos, los registros de los últimos cinco años. Para ello, las Autoridades Ambientales competentes cuentan con sus respectivos formatos en el marco de sus Sistemas de Gestión de Calidad; así mismo se cuenta con el formulario de sistematización de conflictos asociados al recurso hídrico dentro del Sistema de Información del Recurso Hídrico.

4.2.2.4 Información desde instrumentos de gestión ambiental

Recopilación y análisis de información requerida, la cual puede estar contenida en instrumentos de gestión ambiental o estudios tales como: Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica - POMCA, Plan de Manejo Ambiental de microcuenca, Plan de manejo ambiental de acuíferos, Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico, Áreas Forestales Protectoras, Plan de Manejo de humedales, estudios de amenaza o riesgo, inventarios forestales. Se recomienda considerar como criterio de actualidad la información generada con anterioridad no mayor a cinco años.

4.2.2.5 Información desde instrumentos de las entidades territoriales

Desde los planes de ordenamiento territorial se puede obtener información requerida relacionada con las coberturas y usos de la tierra, modelo digital de elevación, evaluación de amenazas, entre otras. Igualmente se pueden consultar los Planes de Desarrollo Municipales e información de los anuarios estadísticos Departamentales.

4.2.2.6 Información de actores

Considerando que la dimensión espacial de la ronda hídrica es variable entre cuerpos de agua y para un mismo cuerpo de agua a lo largo de los diferentes ambientes geomorfológicos, la identificación y mapeo de actores pretende, de manera preliminar, considerar los servicios ecosistémicos que éstas prestan. Para el caso de asentamientos, la información predial disponible es una fuente de información básica. Para las actividades socioeconómicas, la información puede ser obtenida desde el plan de ordenamiento territorial, los registros de usuarios de la Autoridad Ambiental competente, mapas de usos y coberturas de la tierra, entre otras. Se deberá consultar a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales sobre procesos licenciados en, y al lado, del cuerpo de agua objeto del estudio, así como al Catastro Minero Colombiano (CMC), que da cuenta de títulos y solicitudes vigentes de actividades mineras en el cauce y su ribera, u otras fuentes de actividades sectoriales. Dicha información se deberá organizar en una base de datos que contenga como mínimo su georreferenciación y los datos básicos de los usuarios, lo cual será el soporte para el diseño de la estrategia de participación.

⁵ <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>

⁶ <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

⁷ <http://global.jaxa.jp/projects/sat/alos/index.html>

4.3 Alistamiento institucional

Con la información secundaria consolidada, la Autoridad Ambiental competente deberá definir el cronograma de trabajo, el presupuesto y el equipo técnico requerido, así como las actividades que se mencionan a continuación.

4.3.1 Comisión conjunta

En los casos en que el cuerpo de agua priorizado comprenda dos o más jurisdicciones de Autoridades Ambientales, se deberá adelantar el trabajo en el marco de la comisión conjunta de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente para ello y en lo aplicable al acotamiento de la ronda hídrica y la definición de las estrategias para su manejo ambiental. En todo caso se debe propender por el logro del desarrollo del proceso con visión de cuenca hidrográfica como unidad mínima de análisis a considerar.

4.3.2 Diseño de la estrategia de participación

La participación de los actores es clave en los diferentes procesos de la gestión integral del recurso hídrico. En particular, para las rondas hídricas el análisis funcional desde el punto de vista físico-biótico va de la mano del análisis socio-cultural, ya que las riberas de los cuerpos de agua reflejan procesos de co-evolución entre estas dos dimensiones. Igualmente, las decisiones sobre el establecimiento de las estrategias para el manejo ambiental de la ronda hídrica necesariamente llaman al concurso activo de los actores involucrados en la perspectiva de la identificación de los servicios ecosistémicos que ésta presta y para el logro de la gobernanza. En los casos que aplique, deberá involucrarse dentro de la estrategia de participación, al final de la Fase 2, el proceso de consulta previa con las comunidades étnicas.

El diseño de la estrategia de participación deberá hacerse a medida de la diversidad de actores que se encuentran en el territorio (obtenido preliminarmente desde la información de actores) así como del alcance de cada fase y de sus actividades. En la Fase 1 (Capítulo 5) y en la Fase 2 en lo respectivo a las actividades relacionadas con la definición del límite físico de la ronda hídrica (numeral 6.1), los actores podrán involucrarse en el proceso brindando información para el análisis técnico, como por ejemplo la ocurrencia y magnitud de eventos de inundación históricos. En la Fase 2, en lo relacionado con las actividades para el desarrollo de las directrices para el manejo ambiental de la ronda hídrica (numeral 6.2), la participación contribuye a levantar la información sobre la prestación de servicios ecosistémicos para el establecimiento de las respectivas estrategias que establezca la Autoridad Ambiental competente acorde con lo establecido en el numeral 6.2.4.

4.3.3 Diseño conceptual de la base de datos geográfica

La Autoridad Ambiental competente deberá estructurar la base de datos geográfica donde se dispondrán los resultados del proceso siguiendo las orientaciones establecidas en la Resolución 2182 de 2016 de Minambiente, o aquella que la modifique o sustituya, en los aspectos que guarden relación con el presente instrumento. Dicha información deberá ser compatible tanto con los Sistemas de información propios de la entidad, como con los subsistemas estándar que hacen parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC.

4.3.4 Programación de actividades

En esta acción se verá reflejado el análisis entre información requerida y la disponible pertinente, los requerimientos de personal, la logística y el tiempo necesario para surtir el proceso en sus diferentes fases de acuerdo con el marco metodológico. Se sugiere estructurar la programación acorde con los productos esperados por fase, para lo cual deberán existir indicadores de gestión y de producto, los cuales sean cuantificables y verificables. Se sugiere el uso de una herramienta en la que se puedan sistematizar las actividades para que la misma pueda ser objeto de consulta y seguimiento durante el desarrollo del proceso.

5 FASE 1: DELIMITACIÓN DEL CAUCE PERMANENTE O DE LA LÍNEA DE MAREAS MÁXIMAS

En los sistemas fluviales, durante las crecidas se generan formas características en los cauces y sus márgenes, morfologías que pueden agruparse según dos criterios básicos: plano del espacio en el que se caracterizan (planta o patrón, perfil o sección del cauce), o formas erosivas, sedimentarias o mixtas (ver ejemplos en Díez-Herrero et al., 2008). Dentro de las morfologías mixtas, una de las más características de los sistemas lóticos, es el denominado cauce de aguas altas o de desbordamiento, cauce natural activo, cauce permanente o cauce a banca llena ("bankfull channel" en inglés) al cual suele asociarse un caudal formador ("bankfull discharge" en inglés) ya que se supone como el caudal dominante en la configuración morfológica del cauce y el de mayor capacidad y eficacia para el transporte de carga. En los sistemas lénticos, el rasgo característico son las formas del terreno modeladas por la acumulación y ocupación de las aguas de manera permanente o semipermanente, por lo que serían los lechos o depósitos naturales de este tipo de cuerpos de agua. En el presente documento, la denominación será en adelante "cauce permanente", concepto aplicable tanto a sistemas lóticos como a lénticos. En la delimitación del cauce permanente se deben considerar los diferentes ambientes geomorfológicos y procesos morfodinámicos. Como criterio diferenciador se deberá tener en cuenta el funcionamiento de los sistemas lóticos y el de los lénticos y su relación dentro del sistema fluvial.

Por otro lado, la línea de mareas máximas se refiere a los casos en los que los cuerpos de agua continentales que son afectados por la marea alta o pleamar (momento en que el agua del mar alcanza su máxima altura dentro del ciclo de las mareas) y la marea viva o sicigial (la que se produce con la luna llena y la luna nueva o cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran alineados).

5.1 Delimitación del cauce permanente en sistemas lóticos

La caracterización morfológica del cauce permanente tiene un amplio respaldo en la literatura, en donde se han buscado relaciones mínimas de anchura/profundidad, existencia de escarpes característicos en las márgenes naturales del cuerpo de agua, cambios en la vegetación de las riberas o en la granulometría del lecho, o asociando un período de retorno⁸ al caudal formador (Lewin, 1989). En este último caso, se asocia el caudal promedio de los máximos anuales o eventos de crecientes ordinarias con un período de retorno cercano a los 2 años (si se considera que la serie de los caudales máximos anuales se puede representar con una función de distribución de probabilidad Gumbel, el período de retorno de este tipo de eventos es de 2,33 años). Sin embargo, tal caudal formador es variable en función de las condiciones físicas de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje y en ocasiones también tienen cabida ciertos eventos influenciados por la variabilidad inter-anual. Por ejemplo, para los mismos fines se analizaron regionalmente cuerpos de agua con registros sistemáticos en España y se encontró que el caudal para el cauce a banca llena osciló entre 2.5 y 7 años de período de retorno (MARM, 2011). Por ello, el criterio fundamental debe ser de tipo morfológico más que hidrológico.

El cauce permanente constituye una cicatriz visible en el terreno, ya que ha sido moldeado naturalmente en el paisaje como resultado de la acción del flujo de agua y el consecuente transporte de sedimentos durante eventos de crecida frecuentes relacionados con el ciclo hidrológico intra-anual principalmente. Eventualmente, cuando los caudales son de gran magnitud, el cauce no tiene capacidad para transportarlos, éstos desbordan sobre el terreno e inundan las riberas. Dada la menor frecuencia de presentación de tales eventos, sus huellas en el terreno son borradas con el paso del tiempo, estableciéndose allí vegetación como un primer rasgo diferenciador.

El principal descriptor del cauce permanente es su ancho. Para su delimitación, en primera instancia se pueden analizar imágenes de sensores remotos, fotografías aéreas o modelos digitales de

⁸ Intervalo de tiempo medio a largo plazo transcurrido entre un fenómeno hidrológico y otro de igual o mayor magnitud (OMM y UNESCO, 2012), por ejemplo, caudal o nivel máximo de crecida.

elevación para incluir todos los posibles cauces existentes y después realizar un análisis detallado a través de su confirmación en campo. En general, éste puede identificarse relativamente fácil en el terreno por cambios en la pendiente y en la cobertura de vegetación o a través de secciones transversales identificando el ancho que minimiza la relación ancho-profundidad.

El cauce permanente se definirá a partir de una aproximación jerárquica desde el análisis de las formas de terreno, teniendo en cuenta que éste corresponde a la zona de terreno sobre la cual fluye la corriente de agua con sus sedimentos en condiciones de flujo de caudales sin que se llegue a producir desbordamiento de sus márgenes naturales. Para su delimitación se debe seguir el proceso esquematizado en la Figura 5-1. En el caso de cauces intervenidos mediante procesos formales autorizados por la Autoridad Ambiental se deberá considerar lo establecido en el numeral 6.1.2.1.2.

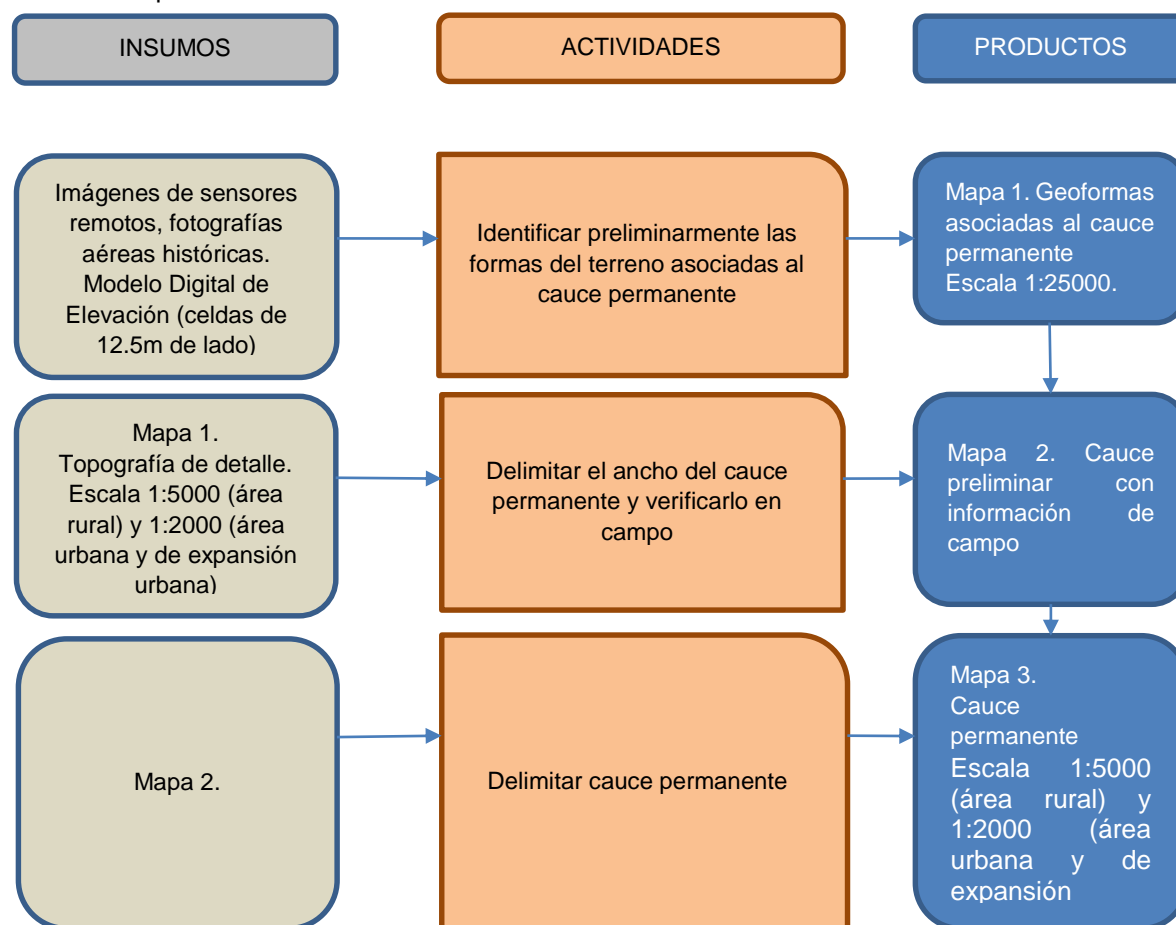


Figura 5-1. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente en sistemas lóticos

La delimitación del cauce permanente se define a partir las tres actividades presentadas en la Figura 5-1. La primera es el procesamiento de información secundaria para identificar preliminarmente las formas del terreno asociadas al cauce desde las tipologías de cuerpos de agua a partir, como mínimo, de la clasificación sugerida en el numeral 2.2. Para ello, cuando aplique en función de la información disponible, se deberá realizar un análisis multitemporal de la variación del ancho del cuerpo de agua para incluir toda la zona de dinámica natural del flujo de agua y sedimentos a lo largo de la red de drenaje. De manera complementaria, cuando se tiene información de secciones transversales y series temporales de crecientes máximas anuales, se pueden utilizar relaciones de geometría hidráulica por tipología de cuerpos de agua, las cuales son útiles para definir el rasgo denominado "ancho a banca llena" que sería el espacio del cauce permanente. Después, se deberá incorporar topografía detallada para obtener el ancho del cauce de manera preliminar dentro las geoformas identificadas. Igualmente, se deberá realizar un levantamiento de información en campo

para levantar las respectivas evidencias de las geoformas y márgenes naturales que delimitan el cauce.

Finalmente, se deberá ajustar el mapa preliminar con la incorporación de las evidencias de campo y obtener el mapa definitivo del cauce permanente del (o los) cuerpo(s) de agua objeto de acotamiento. Se recomienda realizar en paralelo la delimitación del cauce permanente junto con la definición del límite físico de la ronda hídrica desde el componente geomorfológico, en la medida que la información de partida, las salidas de campo y los ajustes posteriores, sirven para los dos fines.

5.1.1 Identificar preliminarmente las formas del terreno asociadas al cauce permanente

En esta actividad se deberán identificar los tipos de cuerpos de agua, la forma principal del cauce y las relaciones con sistemas lénticos. Las formas del terreno a identificar son: i) las de tipo aluvial que se encuentran fundamentalmente en planicies y valles formando terrazas y llanuras de inundación; ii) las coluviales que son características del paisaje de piedemonte (ver por ejemplo la Tabla 6.9 en Zinck, 2012). Se deberá utilizar una aproximación de clasificación geomorfológica en la que se puedan evidenciar claramente unidades morfológicas asociadas al cauce permanente y las relacionadas las llanuras de inundación. Una Guía ilustrada para su identificación y delimitación puede verse en Rinaldi et al. (2015). Para el alcance de la presente fase son de interés las unidades morfológicas de “cauce a banca llena”. Las unidades de “llanura de inundación” son las que contribuyen desde el componente geomorfológico a identificar el límite físico de la ronda hídrica. Para ambos casos seguir como mínimo la clasificación contemplada en el numeral 6.1.1.2.1.

5.1.1.1 Análisis desde imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas

La identificación y clasificación de las formas del terreno, asociadas al cauce permanente, se deberá realizar a partir de fotografías aéreas e imágenes de sensores remotos, en por lo menos tres momentos históricos contrastantes a partir de toda la información disponible y complementando con la comparación de cartografía antigua y actual (Figura 5-2). Dentro de los métodos de clasificación de los objetos, se pueden agrupar tres: no supervisado (automatizado), supervisado (semiautomatizado) o de interpretación visual. De estas clasificaciones, la que quizá encuentra un balance entre representatividad de los elementos interpretados, respecto a la realidad y tiempos de procesamiento, es la clasificación supervisada buscando que las zonas de muestreo que se utilicen sean lo más homogéneas posibles (Patiño, 2016). En cualquier caso, se deberá documentar la técnica utilizada y el nivel de precisión.

a)



b)



Figura 5-2. Esquematización de la delimitación del ancho de cauce permanente a partir de Imágenes de Satélite. a) Sistema de alta pendiente ($>2.5\%$). (b) Sistema de planicie ($<2.5\%$). Fuente: Google Earth.

Cuando sea identificable, se deben reconocer los diques naturales o segmentos de éstos, pues se considera que el conjunto del cauce permanente puede quedar comprendido entre estos rasgos geomorfológicos naturales.

5.1.1.2 Análisis desde relaciones de geometría hidráulica

La geometría hidráulica se refiere a la interdependencia entre propiedades hidráulicas de una corriente (ancho $-W-$, profundidad $-H-$ y velocidad $-U-$) y el caudal $-Q-$ de flujo, en forma de relaciones potenciales como la Ecuación 2. Una de sus variantes, denominada geometría hidráulica “hacia aguas abajo” permite determinar dichas propiedades a lo largo de la red de drenaje, cuando se emplea el caudal asociado a un mismo tiempo de recurrencia.

$$W = aQ^b; H = cQ^d; U = eQ^f \quad \text{Ecuación 2}$$

El caudal (Q), sin embargo, no siempre es una variable disponible ya que requiere de instrumentación o la puesta en marcha de planes de monitoreo. En su lugar, el área (A) de cuenca ha mostrado ser una variable sustituta robusta. De esta manera, es posible establecer relaciones de geometría hidráulica “hacia aguas abajo” como una función del área de cuenca, la cual es fácilmente evaluable gracias a la disponibilidad de información geoespacial.

La geometría hidráulica del ancho (W) se incluye como indicador, ya que esta variable está directamente relacionada con las formas del cauce de una corriente de baja pendiente y especialmente aquellas que emergen como resultado de procesos migratorios tales como sinuosidad, longitud de onda y radios de curvatura. En altas pendientes, el ancho también ha mostrado una relación directa con las formas del lecho de una corriente.

Para Colombia, se han evaluado relaciones de geometría hidráulica para condiciones de banca llena y para diferentes tipos de morfología de cauce tal como se ilustra en la Figura 5-3. La separación por tipos de morfología contempla la división de cauces con suministro limitado (tipos cascada “cascade” y escalón-pozo “step-pool”), capacidad limitada (tipos lecho plano “plane bed” y pozo-cruce “pool-riffle”) de acuerdo con la propuesta de Flores et al. (2006) y el caso de corrientes sinuosas, trenzadas y anastomosadas considerando a Beechie et al. (2006).

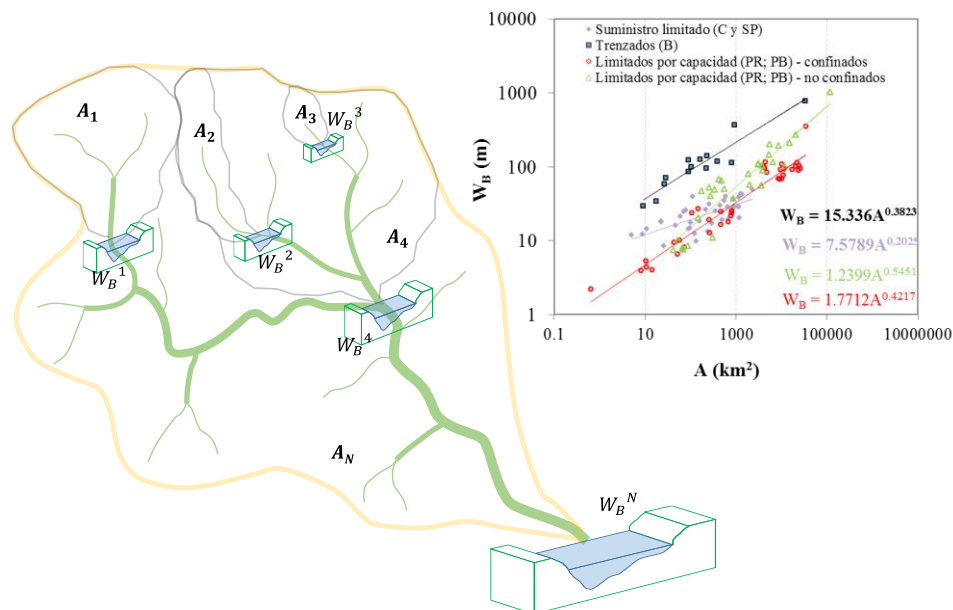


Figura 5-3. Geometría hidráulica hacia aguas abajo del ancho de banca llena. Fuente: Jiménez (2015)

De acuerdo con Jiménez (2015), en sectores de la red de drenaje donde el ancho de corriente es W , un Modelo Digital de Elevación - MDE con tamaño de píxel entre 1 a 4 veces W permite hacer estimaciones morfológicas confiables. En los sistemas sinuosos, trenzados y anastomosados con alta dinámica lateral, se da una fuerte influencia en las tasas de intercambio de sedimentos entre los cauces y las llanuras inundables, así como el ambiente morfológico en el cual se desarrolla el ecosistema (Beechie et al., 2006). Beechie et al., (2006) encontraron un umbral consistente de entre 15-20 metros del ancho del cauce a banca llena a partir del cual ocurre migración lateral. Para la identificación entre sistemas confinados y no confinados, Beechie et al., (2006) sugieren utilizar la relación entre el ancho del valle con el ancho del cauce a banca llena. Valores de la relación menores a cuatro (4) indican cauces confinados, y por encima de este umbral cauces no confinados. A partir de este umbral, cauces no confinados en valles pueden seguir patrones distinguibles por pendiente y caudal y el rango de estos descriptores puede utilizarse para predecir patrones del cauce.

5.1.1.3 Diseño del Mapa 1

A partir del resultado de los anteriores pasos, se estructurará el Mapa 1, en el cual quedarán delimitadas las geoformas asociadas al cauce a banca llena o cauce permanente a lo largo de la red de drenaje de la cuenca hidrográfica a la escala de trabajo definida (mínimo 1:25000).

5.1.2 Delimitar el ancho del cauce permanente y verificarlo en campo

A partir de la identificación de las geoformas asociadas al cauce permanente (Mapa 1) y de la incorporación de topografía de detalle (escala 1:5000 en áreas rurales y 1:2000 en áreas urbanas y de expansión urbana) se trazará de manera preliminar el ancho del cauce permanente. Adicionalmente, se planificará y ejecutará el levantamiento de información primaria en campo para: medir en campo el ancho de banca llena, referenciar evidencias del nivel de flujo del agua y de sedimentos por las crecientes ordinarias y las márgenes naturales. El resultado de este paso será el Mapa 2, con el ancho preliminar y la georreferenciación de las evidencias levantadas en campo.

En campo se debe incluir como mínimo el conjunto de cauces sin importar que sólo conduzcan agua ocasionalmente (corrientes efímeras) o que parezcan abandonados (brazos o meandros), cambios en la pendiente de las márgenes del medio fluvial y los taludes de las orillas, así como cambios de la cobertura vegetal.

5.1.3 Delimitar el cauce permanente del sistema lótico

Desde la información del Mapa 2 se deberá ajustar en la base de datos geográfica el mapa preliminar del ancho del cauce permanente soportándose en las evidencias recabadas en el trabajo en campo. El producto final será el mapa del cauce permanente delimitado (Mapa 3).

5.2 Delimitación del cauce permanente en sistemas lénticos

El cauce permanente de los sistemas lénticos coincide con su lecho o geoforma modelada por la acumulación y ocupación de las aguas de manera permanente o semipermanente. Dicho criterio se puede complementar con el criterio hidrológico desde el cual se identificar el nivel máximo ordinario al que llega la acumulación de flujos en la respectiva geoforma en condiciones de dinámica normal del ciclo hidrológico a escala intra-anual.

El siguiente texto ha tenido como base apartados de Restrepo-Zambrano (2016). Los sistemas lénticos poseen características particulares para su identificación como la existencia de endorreísmos y semiendorreísmos. Los flujos de agua son de velocidad reducida debido a los bajos gradientes topográficos que facilitan su almacenamiento superficial por largas temporadas de tiempo. Esta condición particular permite que el área de su espejo de agua se pueda contraer y expandir según el comportamiento de la superficie del agua. Esta expresión particular tipifica la funcionalidad de los sistemas lénticos, siendo áreas de amortiguación de inundaciones y reduciendo velocidades de flujo durante períodos de lluvia, condiciones particulares que generan hábitats

naturales con abundante biodiversidad ya que en éstos se depositan y acumulan nutrientes y sedimentos.

En la Figura 5-4 se presenta el esquema del procedimiento para la delimitación del cauce permanente (lecho) en sistemas lénticos sobre la base de sus particularidades geomorfológicas e hidrológico-hidráulicas.

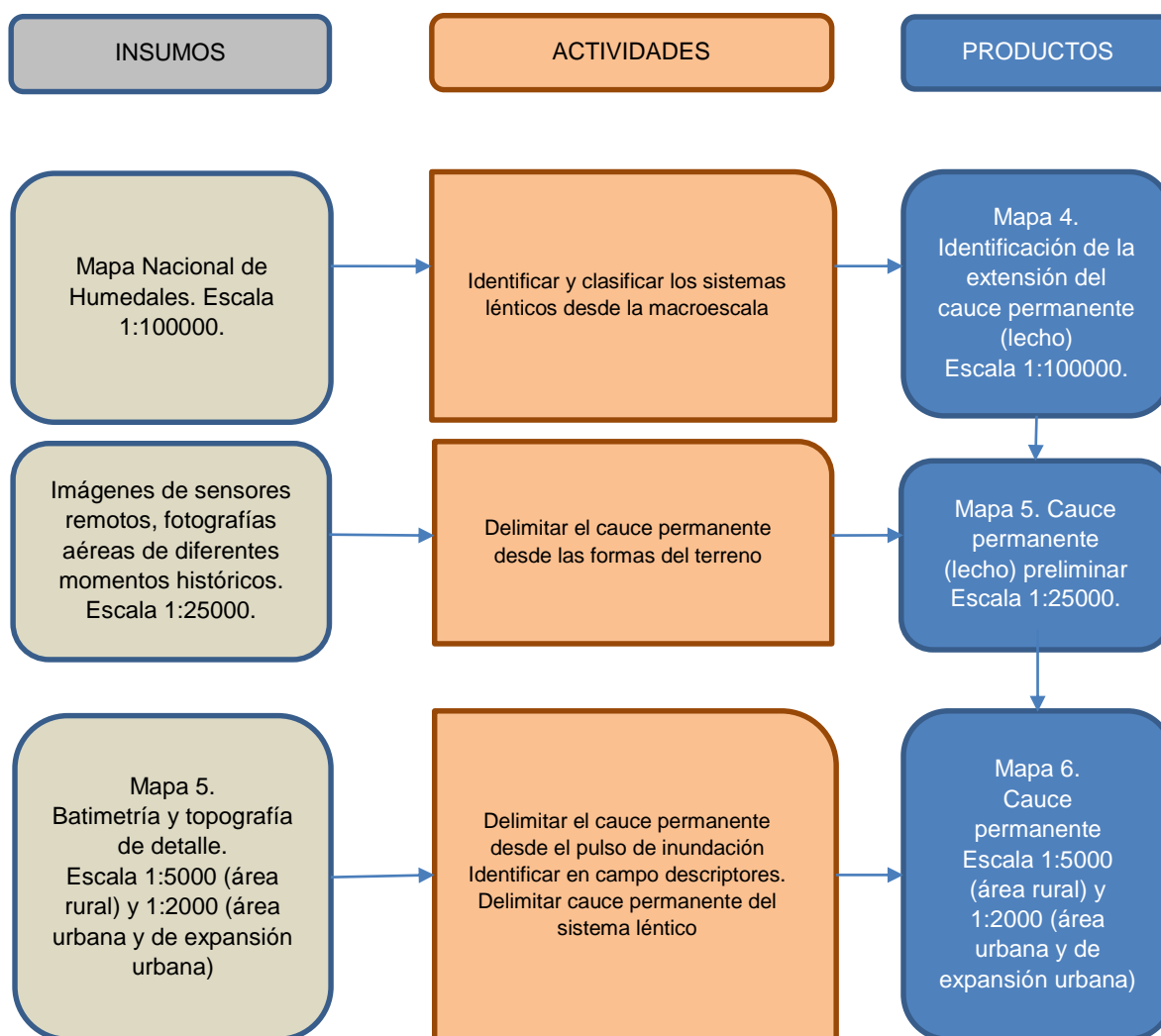


Figura 5-4. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente en sistemas lénticos

El régimen de lluvias, la cobertura de vegetación, las formas del terreno, la pedología y la geología son elementos que definen las diferentes vías de generación y propagación de la escorrentía y con ello los regímenes naturales de flujo. Estos elementos son los que establecen la cantidad de agua que entra y la que sale del sistema. Este comportamiento particular en el almacenamiento de agua se define como el pulso de inundación, aspecto que es de alta importancia para estos sistemas, ya que sus atributos determinan los tipos de ecosistemas que se pueden establecer y permite identificar las áreas de inundación y la información para definir su lecho o cauce permanente.

Se deberá recopilar información hidrológica, topográfica, fotografías aéreas y de imágenes sensores remotos, con la finalidad de establecer el límite del cauce permanente (lecho) del sistema léntico a partir del análisis de las formas del terreno y de la aplicación del concepto de pulso de inundación (Junk, 1989). Desde uno de sus atributos, la amplitud, se pueden determinar las alturas máximas,

medias y mínimas del nivel del agua, y que sumado al levantamiento topográfico y batimétrico se puede definir el área del espejo de agua relacionada a una altura específica. Adicionalmente, la existencia de información histórica de imágenes de sensores remotos para períodos húmedos puede contribuir en la determinación del área frecuentemente ocupada por el cuerpo de agua desde un análisis multitemporal.

5.2.1 Identificar y clasificar el sistema léntico desde la macroescala

Se deberán identificar los sistemas lénticos de acuerdo con los niveles de clasificación del numeral 2.2.3 como mínimo. Se tendrá como referencia el Mapa Nacional de Humedales (Minambiente et al., 2017) construido a escala 1:100000. El resultado será el Mapa 4, donde se tendrán los sistemas lénticos clasificados y se tendrá una aproximación preliminar de su extensión desde dicha escala indicativa.

5.2.2 Delimitar el cauce permanente desde las formas del terreno

Al igual que en sistemas lóticos, el procedimiento parte de un análisis preliminar de información secundaria, trabajo de campo y posterior diseño del mapa respectivo del cauce permanente. En este paso se deberá delimitar la forma principal del cauce permanente (lecho) integrando fuentes de información a mayor detalle partiendo de la clasificación preliminar (Mapa 4).

Para la identificación preliminar se debe procesar la información secundaria para la identificación de los sistemas lénticos desde sensores remotos, la interpretación de fotografías aéreas, la derivación de productos desde modelos digitales de elevación tales como mapa de pendientes o modelo de sombras, así como la estimación de índices que sirvan de indicadores preliminares de zonas bajas propensas de acumulación de agua (ver ejemplos de índices sugeridos por Patiño, 2016).

De acuerdo con Patiño (2016) referenciando a otros autores, existen cinco formas básicas del terreno en las que se alojan los humedales: montes, laderas, planos, canales y depresiones. La geoforma en el caso de montes puede asociarse con la parte final de la ladera, situación que ocurre en la presencia de casquetes glaciares de alta montaña, así como en afloramientos de aguas subterráneas o mecanismos de generación de escorrentía superficial por saturación del flujo subsuperficial en la ladera. Las geoformas denominadas planos, canales y depresiones están asociadas a partes bajas del terreno donde se favorece la acumulación de flujo o en condiciones especiales de depresiones y acumulaciones de agua en zonas de media ladera.

5.2.3 Identificar en campo descriptores

Los tres grupos de descriptores a ser utilizados en el trabajo de campo son como mínimo los siguientes: i) elementos relacionados con los materiales del sustrato; ii) elementos relacionados con las geoformas o elementos del relieve; iii) elementos asociados a la presencia de agua (ver Patiño, 2016).

5.2.4 Delimitar el cauce permanente desde la amplitud del pulso de inundación

Para Junk (1989), el atributo de la amplitud corresponde a la altura de la fluctuación de la lámina de agua en un humedal a lo largo del tiempo. Tal definición es la aplicada en la presente Guía, en la medida que es sencillo el análisis de la amplitud a partir del nivel del agua, información que puede obtenerse desde las fuentes secundarias señaladas.

La amplitud del pulso de inundación se convierte en elemento básico para la caracterización y delimitación del cauce permanente en los sistemas lénticos. Tal característica del régimen de niveles condiciona por ejemplo la existencia de vegetación hidrofítica o vegetación de ribera, rasgo diferenciador de las zonas frecuentemente inundables y las que no. Para su estimación, se requiere la información de niveles históricos mensuales observados a escala mensual. La amplitud representa el rango de fluctuación entre el nivel mínimo mensual observado y el promedio de los niveles

máximos observados en al menos una estación con una longitud mínima de 15 años de registros sistemáticos. Cuando se toma el promedio de los niveles máximos mensuales observados, en vez del máximo, se está haciendo la diferenciación de las áreas que en promedio siempre tienen lámina de agua y por ende la condición de biota asociada a tales condiciones de permanencia.

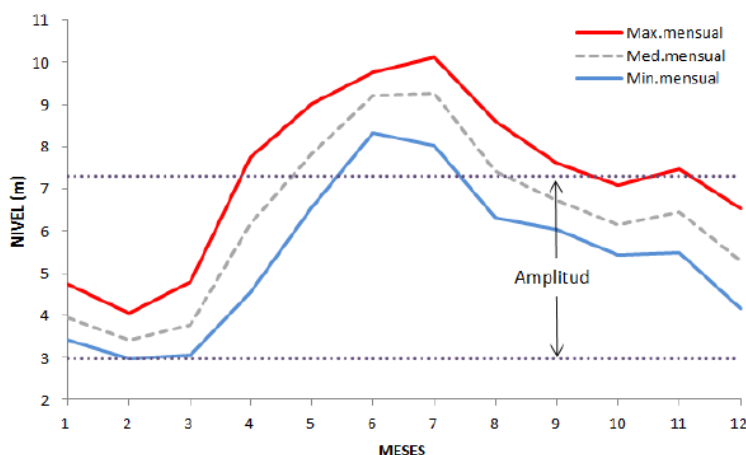


Figura 5-5. Estimación de la amplitud del pulso de inundaciones desde los niveles medios mensuales multianuales en la estación Mapiripán (32097010) para la serie temporal 1983-2012. Fuente: Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Una vez definida la amplitud del pulso de inundación, se procede a su proyección en el terreno para obtener el nivel de máximo promedio de la lámina de agua. En tal sentido, se requiere la información batimétrica del cuerpo de agua y la topografía de la zona inundable o del modelo digital de elevación de todas las áreas de estudio (ver ejemplo en la Figura 5-6).

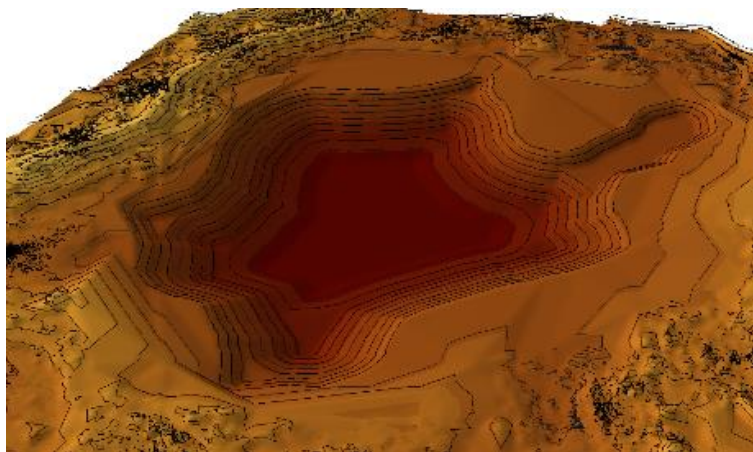


Figura 5-6. Modelo Digital de elevación del Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Se deberá tener la cota de referencia del nivel cero de la estación y su correspondiente correlación con el modelo digital de elevación para el mismo Datum oficial para Colombia establecido por la entidad competente en la materia. La obtención del nivel de la lámina de agua puede obtenerse a partir de la siguiente expresión (Ecuación 3):

$$CP = C_{\text{cero}} + N_{\text{min}} + \text{Amplitud}$$

Ecuación 3

donde:

CP = Cota del Pulso de Inundación

Ccero = Cota donde se encuentra el cero de la mira de la estación

Nmin = Nivel mínimo de los promedios mínimos mensuales

Amplitud = Valor de la amplitud del pulso de inundación

5.2.5 Delimitar el cauce permanente del sistema léntico

Teniendo las geoformas delimitadas, la representación de la elevación máxima promedio de la lámina de agua sobre el terreno a escala de detalle, así como las evidencias en campo sobre las márgenes naturales o áreas de ocupación permanente del agua, se delimitará el cauce permanente del sistema léntico (Figura 5-7)

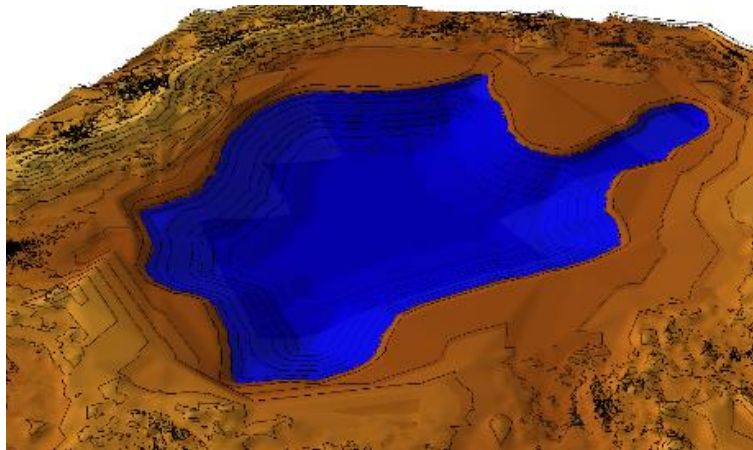


Figura 5-7. Cauce permanente del Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo, trazado sobre modelo digital de elevación. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

5.3 Delimitación de la línea de mareas máximas

En cuerpos de agua continentales que sean afectados por las mareas altas o pleamar y la marea viva o sicigial, se deberá considerar la elevación máxima alcanzada por éstas en la desembocadura de los sistemas lóticos o sobre el sistema léntico. Considerando lo anterior, se excluyen de dicho análisis fenómenos tales como las inundaciones litorales (costeras) producidas por tormentas, ciclones o tsunamis, las cuales han influenciado o pueden influenciar, cuerpos de agua continentales.

La elevación máxima alcanzada en los cuerpos de agua continentales lóticos y lénticos, producida por mareas altas y mareas vivas, será la que reporte la Autoridad competente en la materia: la Dirección General Marítima y Portuaria dado que hace parte de su jurisdicción (ver artículo 2° del Decreto-Ley 2324 de 1984) o quien haga sus veces. A partir de dicho nivel se deberá acotar la ronda hídrica.

6 FASE 2: DEFINICIÓN DEL LÍMITE FÍSICO Y DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO AMBIENTAL DE LA RONDA HÍDRICA

En este Capítulo se desarrollan los criterios para definir el límite físico de la ronda hídrica, así como las directrices para el establecimiento de estrategias para su manejo ambiental.

6.1 Definición del límite físico

La definición del límite físico de la ronda hídrica se soportará en las variables que expresan su funcionalidad. Dentro de los atributos de la funcionalidad están los procesos geomorfológicos y fluviales, de los cuales hay tres componentes físico-bióticos determinantes e interdependientes entre ellos: las geoformas y procesos morfodinámicos; los flujos de agua, sedimentos y nutrientes que se producen, transportan y almacenan dentro de la red de drenaje en la cuenca hidrográfica y en sus llanuras inundables o sistemas lénticos; la flora y fauna que se establecen por la interacción con los anteriores procesos. Tales atributos en adelante se denominarán componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico de la ronda hídrica.

Teniendo en cuenta las relaciones intrínsecas que existen entre los tres componentes mencionados, se establecen posteriormente las actividades para integrarlos y definir el límite físico de la ronda hídrica, cuyos resultados son la base para la definición de las estrategias para su manejo ambiental.

6.1.1 Delimitación del componente geomorfológico

El componente geomorfológico de la ronda hídrica define el área necesaria para garantizar los procesos morfodinámicos que soportan la función de transporte y almacenamiento de agua y sedimentos. Esta función tiene una alta variabilidad temporal ya que procesos como el ajuste en la forma del cauce, su pendiente y sus patrones de alineamiento se dan a distintas escalas de tiempo. En términos geomorfológicos, la dinámica fluvial y su expresión pueden ser comprendidas como el resultado de la relación interdependiente de cuatro variables principales: caudal, longitud, carga y la capacidad de la corriente.

Dependiendo de la zona de la cuenca y de la unidad geomorfológica, si se da un cambio de caudal por razones naturales o artificiales, la corriente tenderá a variar su longitud en zonas de planicie o a socavar o sedimentar en zonas de montaña. En las zonas de piedemonte la reacción a un cambio de caudal es la disminución de la capacidad de carga dando origen a ríos o corrientes de tipo trenzado. Cambios artificiales o naturales en la carga se pueden expresar como sedimentación e incremento de la capacidad, lo que en ocasiones tendrá expresión en la longitud. Modificaciones en la longitud pueden dar origen a incremento o disminución de la capacidad generando erosión o sedimentación según sea la ubicación geomorfológica. Los procesos más comunes son: socavación durante los eventos de crecida; sedimentación en la recesión de los eventos; ajuste de la forma de la sección; ajuste de la pendiente; estructuras de alineamiento horizontal y vertical relacionadas con la disipación de energía; sinuosidad; migración y movimiento lateral.

Las formas que se definen por los diferentes procesos morfodinámicos, se pueden identificar en el terreno y son diferentes para cada tipo de río o tramo del mismo. Éstas conforman la faja de terreno o zona del componente geomorfológico, que tiene como fin garantizar que en el cauce permanente y su ronda hídrica puedan ocurrir los procesos mencionados anteriormente. La pérdida de continuidad, ancho, estructura, naturalidad y conectividad de las riberas produce también efectos negativos sobre la geomorfología del cauce, impidiendo que ésta cumpla con su función de transporte y almacenamiento temporal de agua y sedimentos.

6.1.1.1 Criterios

Desde el componente geomorfológico, el objeto del análisis es garantizar en lo posible, el normal funcionamiento de la dinámica propia de los sistemas fluviales, entendiendo que su obstrucción, modificación o transformación puede generar procesos variados que transforman o destruyen las

funciones ecosistémicas. En tal sentido, se busca garantizar que los procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos y el régimen natural de flujo asociado, puedan darse de la manera más similar posible a las condiciones naturales.

En la Figura 6-1 se presenta un resumen de los insumos, actividades y productos esperados en el análisis del presente componente, el cual de manera genérica es aplicable tanto para sistemas lóticos como para lénticos, pero se detalla en los numerales 6.1.1.2 y 6.1.1.3.

El intrincado conjunto de geoformas que se desarrollan, como consecuencia de la función principal del sistema fluvial de transportar agua y sedimentos, entre distintos lugares de un determinado relieve dentro de la cuenca hidrográfica, se expresa geomorfológicamente como patrones de diferente tipo. Éstos se construyen y evolucionan como resultado de los equilibrios entre los múltiples factores que intervienen. Las alteraciones humanas que se realicen pueden llegar a modificar la funcionalidad del sistema, comprometiendo la salud de los ecosistemas acuáticos y los relacionados de manera directa con el sistema fluvial.

La definición de la franja de terreno correspondiente al componente geomorfológico dependerá del sector de la cuenca de drenaje y del tipo particular de dinámica fluvial. Para el caso de algunas corrientes que nacen en los macizos volcánicos de la cordillera Central, se deberán acoger en su integridad los mapas de amenaza volcánica producidos por la autoridad competente.

En las cuencas de montaña de tipo recto cuando tienen cambios de gradiente abruptos pueden ocurrir avenidas torrenciales. En estos casos, el componente geomorfológico de la ronda hídrica deberá incluir como mínimo las geoformas definidas por los sedimentos depositados por eventos anteriores recientes, es decir, geoformas tales como abanicos o formas del terreno asociadas a movimientos en masa tipo flujo.

Para los cuerpos lénticos aislados debe entenderse su dinámica propia. Los lagos y lagunas tendrán rondas dependientes de los niveles máximos de inundación los cuales se determinarán con base en las condiciones geomorfológicas del cuerpo de agua y la hidrología asociada. Lagunas cerradas tienen expresión geomorfológica y sedimentológica de su máxima extensión que servirán de criterio para la delimitación de la ronda. Los sistemas cenagosos asociados al funcionamiento de los ríos se podrán determinar con base en criterios geomorfológicos o hidrológicos o en la combinación de ambos según el caso. Para su determinación, hay que tener en cuenta su papel en los períodos de inundación de los ríos y corrientes de bajo gradiente; la obstrucción en partes de la cuenca alta y media puede ser causa de inundaciones de mayor magnitud en los sistemas lénticos más bajos. Para el caso de los sistemas lénticos costeros, éstos tienen dinámicas relacionadas con la descarga de los ríos, el oleaje y las mareas, condiciones que deben ser incorporadas en el análisis.

Para el caso de geoformas modificadas por la acción humana se deberá considerar que: i) si existen tramos donde las geoformas han sido alteradas y no son identificables (e.g. las ocupadas por asentamientos poblacionales consolidados), en dichos tramos no se considera el componente geomorfológico, pero si deben considerarse los criterios del componente hidrológico expuestos en el numeral 6.1.2.1.2; ii) si la geoforma es identificable, el análisis deberá realizarse de manera integral considerando la visión jerárquica desde unidad de paisaje hasta unidad morfológica básica.

Los encauzamientos y estructuras hidráulicas hacen que se altere el equilibrio del transporte y acumulación de los sedimentos al alterar las condiciones hidráulicas del flujo y el equilibrio entre las principales variables relacionadas con los procesos morfodinámicos. Igualmente, una sobre extracción o alteración significativa del régimen de flujo en sus atributos de magnitud, duración, frecuencia, tasa de cambio o momento de aplicación, puede ocasionar afectaciones severas tanto en la morfodinámica como en los intercambios de agua, sedimentos, nutrientes entre los sistemas lóticos y lénticos interconectados afectando las cadenas tróficas y en general los servicios ecosistémicos. En este sentido, se deberá analizar la dinámica de los cuerpos lóticos y lénticos, entendiendo su posible funcionamiento en zonas alteradas, de tal forma que el área definida como límite físico en este componente incluya estas alteraciones, permita incorporar al análisis la evolución

del sistema por los efectos de éstas, siendo el soporte para la definición de las estrategias para su manejo ambiental a que haya lugar.

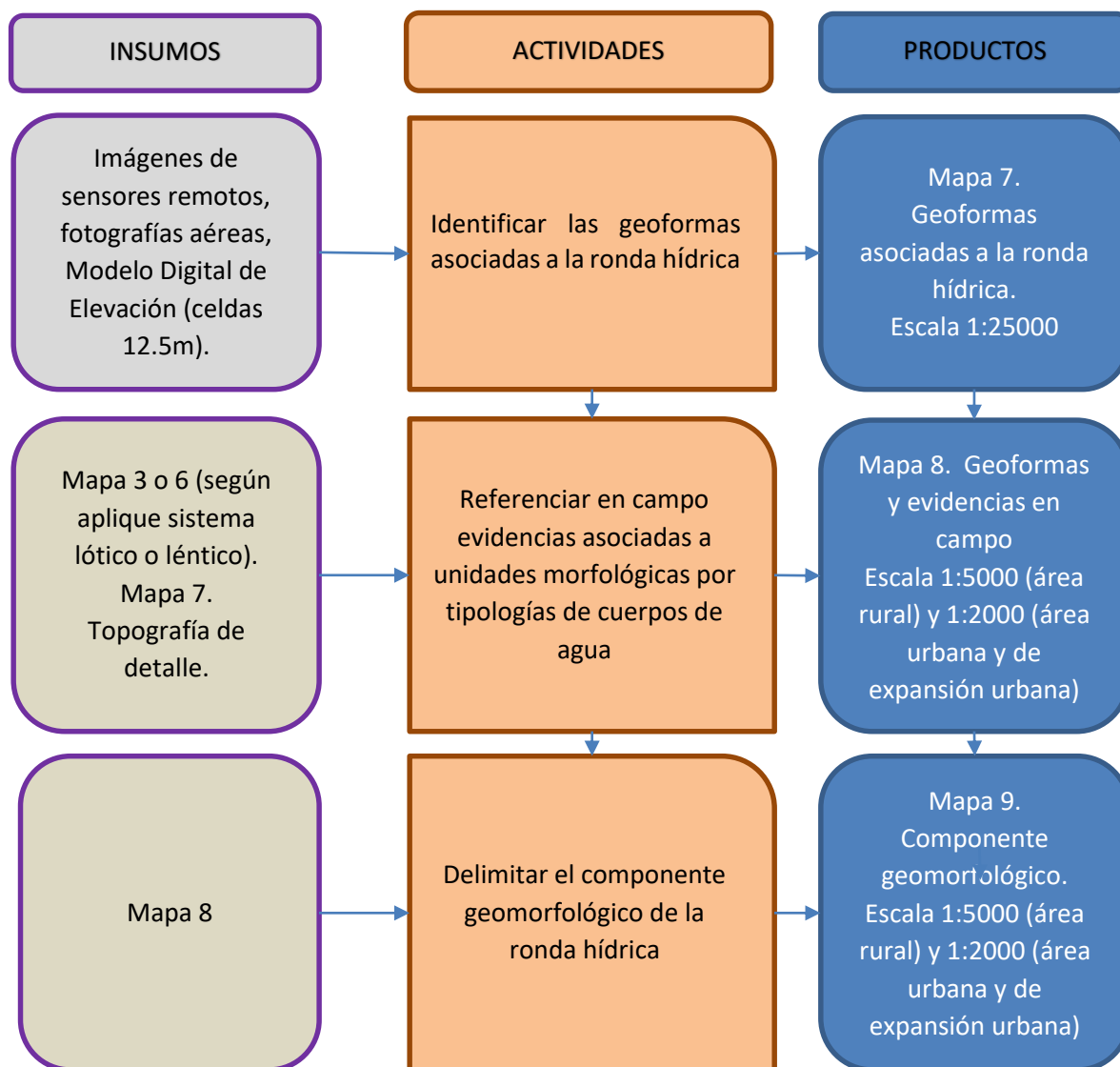


Figura 6-1. Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico.

6.1.1.2 Desarrollo en sistemas lóticos

El componente geomorfológico de las rondas hídricas debe definirse teniendo en cuenta los procesos morfodinámicos. Las unidades morfológicas básicas típicamente asociadas a las rondas hídricas de estos tipos de cuerpos de agua pueden ser: llanura inundable moderna, terraza reciente, escarpes, depósitos fuera del cauce permanente, islas (de llanura o de terraza), cauces secundarios, meandros abandonados, sistemas léticos relacionados con la dinámica fluvial y aquellas porciones de la llanura inundable antropizadas (ver numeral 2.2 de Rinaldi et al., 2015).

6.1.1.2.1 Identificar y clasificar las geoformas asociadas a la ronda hídrica

Se deberá realizar una identificación y clasificación de los sistemas lóticos desde imágenes de sensores remotos, fotografías aéreas y Modelos Digitales de Elevación con tamaño de celda de por lo menos 12.5 metros.

Para enmarcar el estudio geomorfológico y dar elementos necesarios para el componente ecosistémico, es necesario elaborar un mapa geomorfológico de la cuenca hidrográfica a escala 1:25000 que sirva de contexto. En tal sentido se tendrán las geoformas clasificadas a la escala de trabajo y de éstas podrán identificarse las asociadas con las rondas hídricas. Para la clasificación y representación cartográfica, se pueden utilizar como base las guías metodológicas existentes en el país como la propuesta por el IDEAM (2013b), el Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2012) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Zinck, 2012). Todas tienen similitudes conceptuales y procedimentales. Sin embargo, se debe considerar su aplicabilidad para establecer una aproximación jerárquica multiescalar desde la cuenca hidrográfica hasta la escala de unidad morfológica en el contexto de la presente Guía. A continuación, se brindan algunos elementos técnicos a ser considerados en la presente actividad.

El corredor aluvial de una corriente superficial adquiere sus características como resultado de la interacción de procesos climatológicos, hidrológicos, hidráulicos y sedimentológicos, actuando bajo un conjunto de restricciones determinadas por la geología y la litología tanto regional como local. Dichas características pueden clasificarse y tipificarse bajo dos perspectivas: una lateral, en la que el cauce permanente y la llanura aluvial determinan los componentes hidrológico y geomorfológico de las rondas hídricas, y otra longitudinal, donde tanto las formas del cauce como las de la llanura aluvial encierran valiosa información sobre los mecanismos de disipación de energía, transporte de sedimentos y adaptación de la corriente, buscando siempre un equilibrio geomorfológico.

La estructura lateral y longitudinal del corredor aluvial representa en sí misma el principal criterio que debe tenerse en cuenta para la definición del componente geomorfológico, mediante la inclusión de indicadores morfológicos. Como principales criterios para la identificación de la estructura lateral y longitudinal del corredor aluvial se tienen los siguientes:

a) Pendiente longitudinal.

La pendiente longitudinal, S_0 , ha mostrado ser una de las principales variables para la clasificación de tipos de morfología, especialmente al momento de diferenciar sistemas con suministro limitado de aquellos con capacidad limitada (Montgomery y Buffington, 1997; Flores et al., 2006). Asimismo, junto con el caudal, Q , y el ancho de flujo, W , la pendiente permite cuantificar la capacidad de una corriente para transportar sedimento.

b) Área de cuenca y geometría hidráulica

Para este caso considerar lo ya descrito en el apartado de análisis geomorfológico en el numeral 5.1.1.2

c) Migración lateral

En condiciones de baja pendiente y bajo nivel de confinamiento, las corrientes superficiales tienden a migrar lateralmente adquiriendo altos valores de sinuosidad (valores del orden de 1.5 o superiores). Los mecanismos que subyacen dicho proceso incluyen las características del flujo a través de cauces curvos, erosión en banca y transporte de sedimentos. No obstante, más allá de la complejidad de dichos procesos, existen numerosas evidencias empíricas de la estrecha relación existente entre los principales elementos geométricos característicos de sistemas migratorios: ancho, radio de curvatura y longitud de onda.

Al igual que en teorías de geometría hidráulica, diversos autores (Leopold, 1994; Knighton, 1998) han encontrado que la longitud de onda, L , y el radio de curvatura, R_c , pueden relacionarse con el ancho de la corriente, W , mediante relaciones de la forma dada en la Ecuación 4, donde c_1 a c_4 son constantes.

$$L = c_1 W^{c_2}; R_c = c_3 W^{c_4} \quad \text{Ecuación 4}$$

Empleando imágenes satelitales Digital Globe (disponibles en Google Earth) para 12 tramos de corriente característicos de ríos migratorios en Colombia, se encontró que la mediana del radio de curvatura y el ancho medio del tramo siguen una relación potencial de acuerdo con la Figura 6-2.

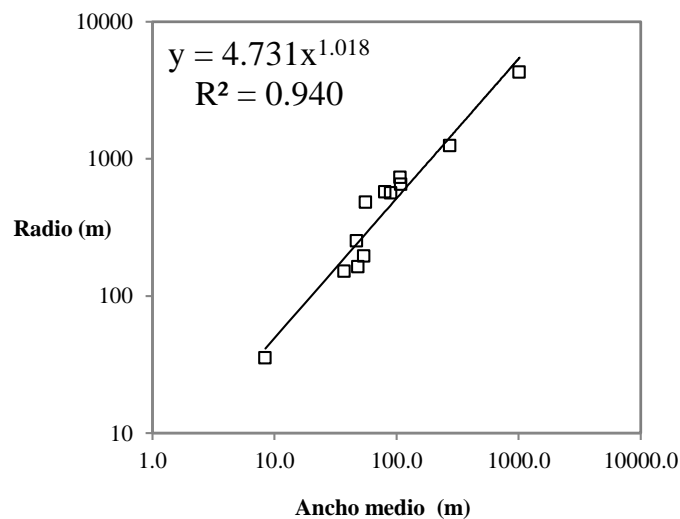


Figura 6-2. Relación de invarianza para el radio de curvatura R_c .

d) Tipo de morfología

Las unidades morfológicas conocidas como unidades geomórficas, sub-tramos o meso-hábitats, son los componentes fundamentales de cada tramo de río y corresponden a áreas del río con morfologías relativamente uniformes, generadas por la erosión o depósito de sedimentos o por lechos rocosos (e.g., cascadas, escalón-pozo, pozo-cruce, etc.). Algunas unidades morfológicas también se encuentran compuestas por elementos de vegetación viva y muerta (e.g., troncos de árboles). Las unidades morfológicas constituyen las estructuras físicas básicas que componen el hábitat de especies en los ecosistemas acuáticos y también proporcionan hábitats temporales a algunas especies, incluyendo refugio ante alteraciones o predadores, zonas de desove, etc. Por lo anterior, un análisis de las unidades morfológicas existentes en un tramo de río arroja información sobre el rango de hábitats presentes.

En términos generales, las unidades morfológicas representan la manifestación física del efecto combinado de los caudales líquidos y el transporte de sedimentos, influenciados por factores que actúan a escala de tramo y mayores (Belletti et al., 2017). Por lo anterior, los tramos del mismo tipo morfológico (por ejemplo, sinuosos o anastomosados) usualmente contienen arreglos de unidades morfológicas similares. Al desplazarse en el sentido del flujo a lo largo de un río, se puede observar la presencia de diferentes unidades morfológicas, como consecuencia de cambios en las condiciones de frontera, como las características del valle, la pendiente longitudinal del cauce, las magnitudes de caudal, el tamaño de los sedimentos, etc. Es así, como en las partes altas de la cuenca, en las que predominan las altas pendientes, predominan unidades de tipo erosivo, como caídas y escalones rocosos; por su parte, en las partes bajas usualmente predominan unidades de depósito como barras e islas.

En la búsqueda del equilibrio geomorfológico, los sistemas fluviales dejan al descubierto una serie de rasgos morfológicos que debido a su relativa invarianza ante cambios de escala (tamaño de la cuenca) han permitido la introducción de sistemas de clasificación de corrientes. Estos varían de acuerdo con el propósito de su aplicación, el cual puede ir desde la diferenciación de unidades de hábitat comparables con el ancho de la corriente, hasta la identificación de los sectores del corredor aluvial más sensibles ante modificaciones, por acción humana, del régimen de caudales y/o el suministro de sedimentos.

Para la delimitación del componente geomorfológico de la ronda hídrica, se deben clasificar las corrientes, al menos en los siguientes tipos: corrientes de montaña, corrientes de piedemonte y corrientes de llanura, así como un tipo adicional para las desembocaduras (ver descripciones dadas en el numeral 2.2). De esta forma debe clasificarse acorde con los tipos mencionados y debe clasificarse morfológicamente de acuerdo con las características de pendiente, ancho, tipo y número de cauces y caudal, proponiéndose las siguientes clases como mínimo: recto, sinuoso, trenzado o anastomosado.

Adicionalmente, con el fin de contar con una clasificación que ha sido aplicada y verificada considerando el estado del arte de la materia a nivel mundial, en esta Guía se propone la utilización del Sistema de Identificación y Clasificación de Unidades Morfológicas (GUS, por sus siglas en inglés) desarrollado por Rinaldi et al. (2015), como parte del proyecto denominado “restauración de ríos para una efectiva gestión de cuencas hidrográficas” (REFORM por sus siglas en inglés de “REstoring rivers FOR effective catchment Management”), financiado por la Comisión Europea. Este método de clasificación tiene como objetivo principal la caracterización de los hábitats físicos y la morfología de los ríos y fue diseñado de forma jerárquica, con miras a ser flexible y adaptable de acuerdo con los objetivos de la clasificación y la información disponible (Belletti et al., 2017). La estructura jerárquica propuesta para la clasificación geomorfológica de ríos comprende una visión que integra de mayor a menor escala las siguientes unidades espaciales: región biogeográfica o ecoregión; cuenca hidrográfica; unidad de paisaje; segmento o sector; tramo; unidad morfológica (geomórfica, meso-hábitat, subtramo); unidad hidráulica y elemento del río. El componente fundamental para el análisis y clasificación geomorfológica en el marco jerárquico propuesto consiste en las unidades morfológicas, las cuales representan las unidades que permiten caracterizar la morfología de los ríos a escala de tramo (Belletti et al., 2017).

Una de las ventajas de la clasificación propuesta consiste en su utilidad para establecer enlaces entre las condiciones físicas y biológicas de los cuerpos de agua, como se describe a continuación. Las escalas espaciales correspondientes a las unidades morfológicas y menores (unidades hidráulicas y elementos de río) son las más apropiadas para realizar análisis de la presencia y diversidad de hábitats físicos para especies hidrobiológicas (Rinaldi et al., 2015). Generalmente, las unidades morfológicas e hidráulicas se asocian a la escala de meso-hábitat, mientras que los elementos de río usualmente coinciden con la escala de micro-hábitat. Por lo anterior, para la identificación de unidades espaciales apropiadas para la caracterización físico-biótica de las rondas hídricas, es de especial interés delimitar y caracterizar principalmente la escala de tramo.

El tramo es la longitud de un río a lo largo de la cual sus condiciones de frontera se mantienen relativamente uniformes. Por lo anterior, en un mismo tramo de río se considera que las interacciones entre procesos y formas se mantienen relativamente constantes. Cada tramo de río se encuentra conformado por un conjunto de unidades morfológicas, con arreglos similares en tramos de río de un mismo tipo morfológico (e.g., sinuosos o anastomosados). Factores actuantes a escalas de tramo y mayores, como la pendiente, el tipo de material del lecho y la configuración del valle, tienen influencia sobre los caudales líquidos y sólidos que controlan las unidades morfológicas existentes. Por lo anterior, las características de los hábitats físicos y las condiciones bióticas asociadas se encuentran fuertemente influenciadas por factores físicos que ocurren a escala de tramo, los cuales, a su vez, se ven condicionados por los procesos que ocurren a escala de cuenca y de segmento (Rinaldi et al., 2015).

Algunas ventajas adicionales de esta metodología, incluyen los pocos requerimientos de información para su implementación (se puede realizar a partir de análisis de sensores remotos, complementado con verificaciones de campo), así como sus múltiples aplicaciones, no sólo como herramienta de caracterización, sino también para el análisis de la calidad morfológica de los ríos y como herramienta de monitoreo y evaluación de los efectos de intervenciones antrópicas sobre la morfología y su respectivo vínculo con la ecología (Rinaldi et al., 2015). En el respectivo apartado de seguimiento se introducen algunos indicadores correlacionados con las escalas de segmento y tramo de la clasificación geomorfológica.

En Rinaldi et al. (2015), puede verse una Guía ilustrada para la identificación y delimitación de las unidades morfológicas de “llanura de inundación” agrupadas en tres macro-unidades (zona riparia, zonas acuáticas de llanura inundable y áreas antropizadas), desde las cuales se define el límite del componente geomorfológico.

En cualquier caso, la implementación de algún método de clasificación debe ser jerárquico y basado en entendimiento de los procesos a diferentes escalas, unificando criterios que permitan entender con mayor claridad los sistemas fluviales y extrapolar la toma decisiones en el marco de la gestión integral del recurso hídrico y de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Finalmente, una vez se haya realizado la identificación y clasificación de forma preliminar, el límite de las unidades morfológicas asociadas a la ronda hídrica deberá ser confirmado y georreferenciado durante los reconocimientos de campo.

6.1.1.2.2 Referenciar en campo evidencias asociadas a unidades morfológicas por tipologías de cuerpos de agua

Se deberá realizar una verificación en campo de las unidades morfológicas asociadas a las rondas hídricas, obtenidas en el paso anterior, considerando: i) procesos morfodinámicos relacionados con la socavación, erosión y sedimentación; ii) ajuste de la forma de la sección, pendiente, sinuosidad, migración y movimiento lateral. Igualmente, se deberán identificar las intervenciones antrópicas que determinen cambios geomorfológicos y fluviales. Finalmente, se deberá definir en campo la franja requerida para el desarrollo de los procesos morfodinámicos en cada tramo por tipología de unidad morfológica. La franja se traza a partir del cauce permanente. Las evidencias y la franja del componente geomorfológico deberán ser georreferenciadas con sistemas de geoposicionamiento satelital (GPS) con precisión centimétrica. Los criterios a considerar en los levantamientos en campo para cada tipo de corriente se resumen en la Tabla 6-1 (montaña), Tabla 6-2 (piedemonte), Tabla 6-3 (llanura).

Tabla 6-1. Criterios para determinar el componente geomorfológico de las rondas hídricas en corrientes de montaña.

CORRIENTES DE MONTAÑA				
Son aquellas corrientes donde la longitud de su cauce es aproximadamente igual a la longitud del valle que este ocupa y en donde la carga transportada es similar a la capacidad de transporte. Presentan variaciones en la pendiente que le permiten tener desde comportamientos torrenciales en las partes más inclinadas, hasta comportamientos sinuosos en las zonas de menor gradiente.				
Segmento/tramo	Tipo de corriente	Talweg	Variable clave	Criterio para definir el componente
Parte alta de la cuenca			Caudal	
	Efímeras	NO	NO	Toda la vaguada
	Semipermanentes	SI	Solo en épocas de lluvia	Depósito de sedimentos
	Permanentes	SI	SI	
Zonas con cambios en la pendiente			Cambio en la pendiente	
	Semipermanentes	SI	Mayor a menor = Ocurre sedimentación	Todo el depósito de sedimentos
	Permanentes	SI	Menor a mayor = Hay erosión	Acumulación de sedimentos
Tramos sinuosos	Permanente	SI	Verificar meandros útiles y abandonados. Incluir la dinámica de movimiento del cauce principal a través del movimiento histórico del lecho.	Toda la faja de sinuosidad
Tramos trenzados	Permanente con tramos efímeros	SI	Verificar sedimentos. Analizar posibles brazos o cauces abandonados. Localizar Sistemas lénticos.	Toda la faja de trenzamiento

CORRIENTES DE MONTAÑA				
Tramos encañonados	Permanente	SI	Identificar márgenes y verificar los que puedan tener problemas de estabilidad.	Toda la vaguada. Criterios geotécnicos cuando aplique.
Tramos anastomosados	Permanente con tramos perennes	SI	Verificar lugares donde se depositan sedimentos. Analizar terrazas adyacentes a las riberas	Toda la faja de anastomosamiento entre diques naturales

Tabla 6-2. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en corrientes de piedemonte.

CORRIENTES DE PIEDEMONTE				
Son corrientes en donde la capacidad de transporte se pierde por infiltración de la mayor parte del cauce al cambiar fuertemente de gradiente, lo que lleva a la sedimentación del material que lleva en suspensión y arrastre en las zonas de pendientes suaves adyacentes a los piedemontes. Poseen un cauce principal con varios tramos efímeros.				
Segmento/ tramo	Morfología del cauce principal	Talweg	Variable clave Pendiente, sedimentos	Criterio para definir el componente
Piedemonte Interno	Encañonadas	SI	Identificar pendiente y cambios fuertes de la misma para dividir el río por tramos. Los tramos efímeros deben identificarse por fotointerpretación y verificarse en campo. Identificar depósitos de sedimentos.	Áreas ocupadas por depósitos de eventos recientes (e.g abanicos). Toda la faja de trenzamiento
Piedemonte Externo	Trenzadas			
Piedemonte Pacífico	Baja sinuosidad			

Tabla 6-3. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en corrientes de llanura.

CORRIENTES DE LLANURA				
Son corrientes en las cuales la longitud del cauce es mucho mayor que el valle por el cual fluye. Su capacidad de transporte es similar o ligeramente mayor a la carga transportada, por lo que moviliza gran parte de los sedimentos que posee, depositándolos en los lugares donde el cauce cambia de dirección.				
Segmento/ tramo	Tipo de corriente	Talweg	Variable clave Sedimentos	Criterio para definir el componente
Corrientes sinuosas	Permanente	SI	Verificar depósito de sedimentos, meandros abandonados, cuerpos lénticos asociados.	Toda la faja de sinuosidad
Corrientes anastomosadas	Permanente con varios cauces	SI	Verificar sedimentos, cauces abandonados, terrazas en la llanura aluvial, cuerpos lénticos asociados.	Toda la faja de anastomosamiento

Cada una de las anteriores Tablas se ha dividido en secciones horizontales para cada tipología de tramo. Para el caso de las corrientes de montaña, estas secciones indican las variaciones que puede tener una corriente de estas características desde su nacimiento hasta su desembocadura y los diferentes comportamientos que se presentan en el tramo. Para las corrientes de piedemonte se presentan tres tipos de corrientes, siendo similar el procedimiento. Algo idéntico ocurre con las corrientes de llanura, con unas adiciones para las corrientes anastomosadas. Las desembocaduras se clasificaron en tres tipos: deltas, estuarios y directas, para cada una de ellas se explica el procedimiento que debe seguirse según las variaciones posibles. A continuación, para cada una de las secciones horizontales de las Tablas, referenciadas anteriormente, se explican los métodos o técnicas que se necesitan para determinar el componente geomorfológico y los productos resultantes que se deben entregar al finalizar este análisis.

6.1.1.2.2.1 Nacimientos

Se deberá identificar la geoforma asociada a un manantial que se convierte en fuente (nacimiento de corrientes de agua) o a manantiales permanentes o perennes principalmente. Sin embargo, si se encuentran evidencias geomorfológicas recientes de manantiales estacionales o efímeros los mismos deberán ser considerados. La delimitación de su periferia corresponderá con el "cauce permanente" desde el cual se acotará la ronda hídrica.

6.1.1.2.2.2 Corrientes de montaña

La Tabla 6-1 muestra la separación de las corrientes de montaña según su posición en el sistema fluvial, la naturaleza del cauce y la región donde se pueden presentar. En los siguientes apartados se describe cada una de las posibles formas que pueden tener las corrientes de montaña dependiendo de la zona por donde discurre. Corrientes de este tipo, en ocasiones pueden haber presentado o tener tendencia a presentar avenidas torrenciales, razón por la cual se hace siempre indispensable buscar las evidencias geomorfológicas, sedimentológicas e históricas que permitan establecer esta condición.

6.1.1.2.2.2.1 Parte alta de la cuenca

En los lugares donde nacen las corrientes, éstas pueden ser de tres maneras: efímeras, semipermanentes o permanentes. La primera puede no tener "talweg" y sólo es visible la geoforma de vaguada; en este tipo de corrientes el componente geomorfológico coincidirá en general con el componente hidrológico. Para las corrientes permanentes y semipermanentes, el componente geomorfológico deberá incluir los sedimentos de depósitos activos que se encuentren ubicados a los lados del cauce (Figura 6-3).

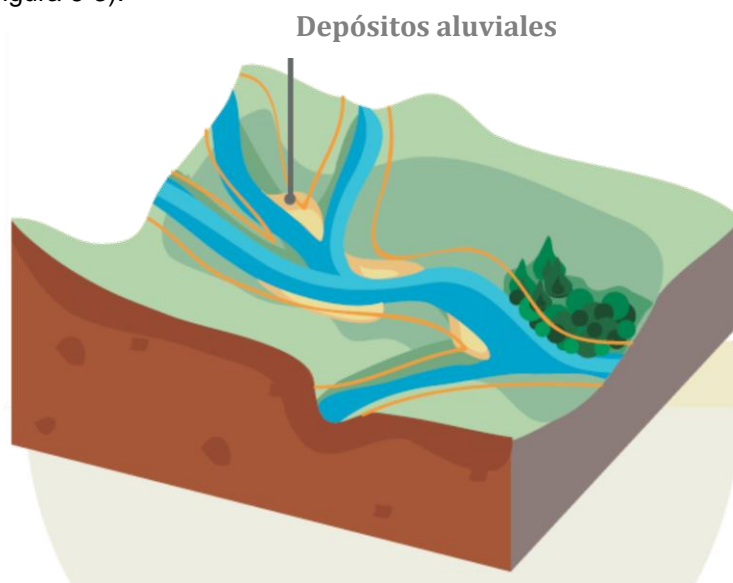


Figura 6-3. Componente geomorfológico (línea naranja) en la parte alta de una cuenca.

El componente geomorfológico de la ronda hídrica para las corrientes efímeras corresponderá a toda la vaguada, la cual se delimitará mediante observaciones de campo. Para las corrientes permanentes y semipermanentes será necesario realizar salidas de campo lideradas por un profesional con conocimientos en geomorfología fluvial y complementadas con un análisis de sensores remotos, preferiblemente con fotografías aéreas, tecnologías LIDAR o similares, a una escala adecuada que facilite la delimitación de los cuerpos de agua y la localización de los sedimentos. Considerando lo anterior se deberá trabajar a escala 1:5000 o de mayor detalle.

6.1.1.2.2.2 Zonas con cambios en la pendiente

A lo largo de una corriente es normal observar cambios en la pendiente con la cual fluye. En algunos casos la corriente pasará de tener una pendiente fuerte a una más suave y en otros casos ocurrirá lo contrario, la corriente pasará de una pendiente suave a otra de mayor gradiente (saltos y cascadas).

Cuando el cambio es de una pendiente mayor a una menor, la corriente tiende a sedimentar, mientras que en el otro caso la corriente tiende a erosionar; así, el componente geomorfológico para el primer caso abarcará todo el depósito de sedimentos, mientras que para el segundo caso éste corresponderá a los depósitos de sedimentos aledaños al cauce, similar al procedimiento seguido para corrientes en las partes altas de la cuenca (Figura 6-4).

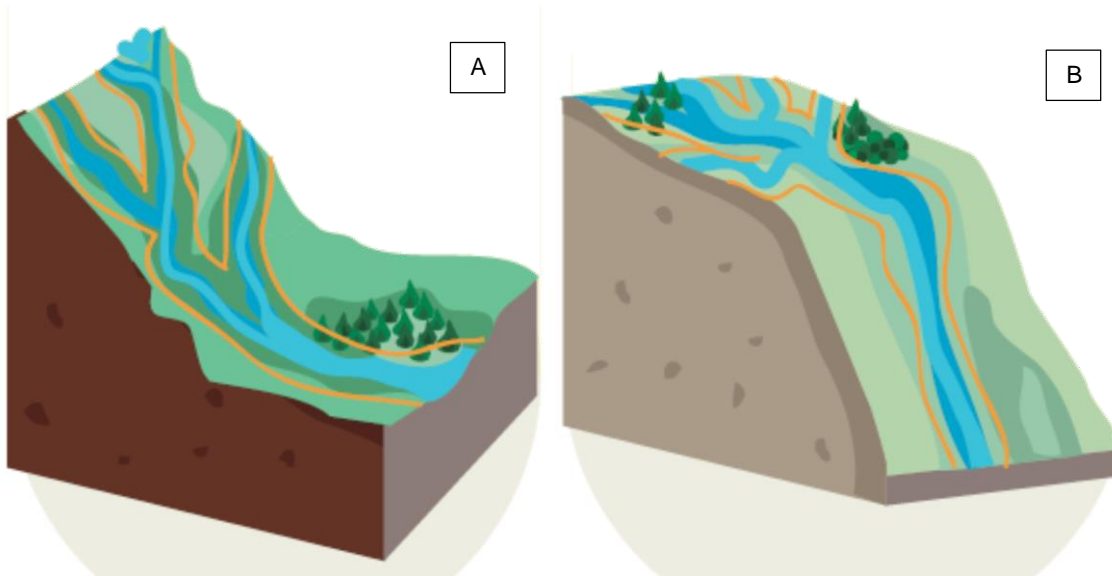


Figura 6-4. Componente geomorfológico (línea naranja) para zonas con cambios de pendiente. A) de mayor a menor pendiente. B) de menor a mayor pendiente.

La susceptibilidad a la ocurrencia fenómenos de avenidas torrenciales o flujos densos o hiperconcentrados en estos tipos de corrientes se da principalmente en geoformas como abanicos torrenciales, fondos de valles, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa. Para ello, existen dos aspectos fundamentales a ser considerados en el trabajo en campo:

- Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrencial);
- Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre ("levees"), lóbulos frontales, bloques de más de 1m de diámetro, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis debe tener como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.

Adicionalmente, se deberán considerar las siguientes evidencias relacionadas con la cronología de los eventos:

- Años: Huellas en el cauce, sin vegetación o rastrojo bajo en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, afectación de la corteza de árboles mayores, ausencia de líquenes en bloques de roca, ausencia de horizontes A y B de suelo. Coronas de cicatrices agudas.

- Decenas de años: Rastrojo alto o árboles mayores en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, líquenes en bloques, matriz fresca, coronas de cicatrices subredondeadas.

El componente geomorfológico en estos casos corresponderá a zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras (más de un evento histórico identificado⁹) en la que los indicadores cronológicos dan evidencia de apenas años. Igualmente, deben considerarse las zonas con actividad torrencial que cumplen al menos uno de los siguientes aspectos: existencia de evidencias históricas de al menos una avenida torrencial; elevación insuficiente por encima del canal torrencial de acuerdo con las características de la cuenca, principalmente del área de drenaje (en general diferencias de elevaciones menores a 1.5 metros); aguas abajo de un punto de avulsión potencial (disminución brusca de la sección, puentes o entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos por el material arrastrado), así como la existencia de indicadores cronológicos de decenas de años.

6.1.1.2.2.3 *Tramos sinuosos, trenzados, anastomosados y encañonados*

En esta sección se agruparon tipos de tramos que pueden presentar las corrientes de montaña en las partes donde el gradiente es muy bajo, lo que permite al cauce divagar por el valle en el que se encuentra. Además, se ha incluido en esta sección un tipo de tramo particular que corresponde a los encañonados, es decir, cuando la corriente va encajonada entre un valle estrecho o entre dos “paredes” escarpadas.

Los tramos sinuosos son aquellos compuestos con dos o más meandros consecutivos, entendiendo los meandros como esa porción curva consistente en dos giros consecutivos, uno en la dirección de las agujas del reloj y el otro en la inversa. Los tramos trenzados son parte de un sistema fluvial en el que el agua fluye a través de cierto número de cauces más pequeños entrelazados separados por barras o bancos (OMM y UNESCO, 2012). Los tramos anastomosados, también están compuestos por varios brazos, pero las “islas” que éstos dejan son más estables en comparación con los trenzados.

Los tramos sinuosos, trenzados y anastomosados están compuestos no solo por el cauce permanente, sino por otros elementos que los acompañan. Por esta razón, el componente geomorfológico para cada uno de ellos consistirá en una faja que contenga en su interior todos esos elementos que se describen a continuación, las cuales se denominan fajas de sinuosidad, trenzamiento y anastomosamiento, respectivamente.

La faja de sinuosidad también llamada cinturón de meandros, comprende además del cauce sinuoso, los meandros abandonados o madre viejas, las zonas con vegetación hidrofítica, las trazas de paleocauces y cauces asociados a la corriente principal (Figura 6-5).

La faja de trenzamiento corresponde a toda la zona de almacenamiento de sedimentos, en la cual están incluidos los tramos efímeros comunes en este tipo de corrientes y cauces externos asociados al trenzamiento. En ocasiones, éstos pueden estar cubiertos de vegetación o cultivos. Un análisis cuidadoso de los sensores remotos o de la cartografía detallada permite identificar fácilmente estos rasgos geomorfológicos que conforman parte de la ronda hídrica (Figura 6-6).

La faja de anastomosamiento comprende toda la zona donde se encuentran las ramificaciones del cauce permanente y entre ellas las barras o “islas” que se forman por la acumulación de los sedimentos arrastrados por la corriente y, cuando aplique, los sistemas lénticos asociados (Figura 6-7).

La determinación de la ronda en estos sistemas fluviales incluirá la faja de trenzamiento, sinuosidad o anastomosamiento y para tal fin se tendrá como límite la existencia de niveles de terrazas altas o

⁹ Se anexan formatos con el fin de estandarizar la información recabada, tanto en las entrevistas con las comunidades (Anexo I) como en la sistematización de los eventos validados en función del nivel de confiabilidad de las entrevistas (Anexo II).

geoformas ajenas a la dinámica fluvial que no hagan parte de los procesos de alimentación, transporte y almacenamiento recientes (en términos geomorfológicos) de la corriente de montaña.

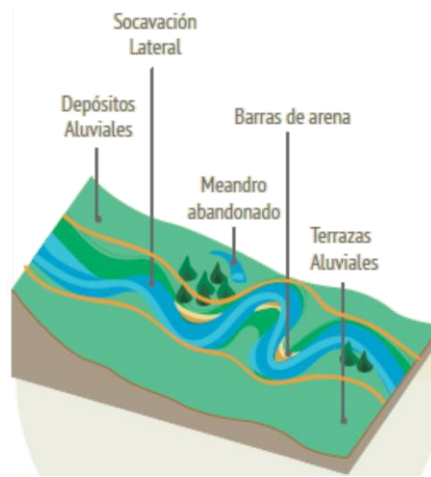


Figura 6-5. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos sinuosos en corrientes de montaña.

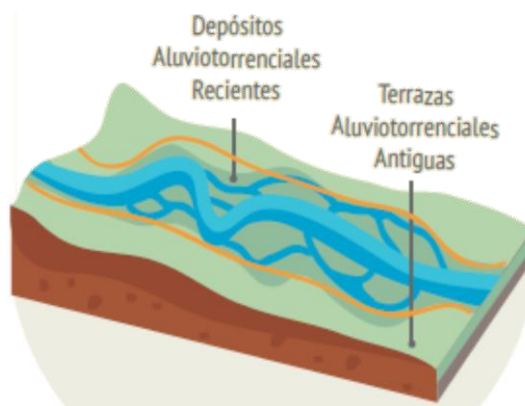


Figura 6-6. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos trenzados en corrientes de montaña.

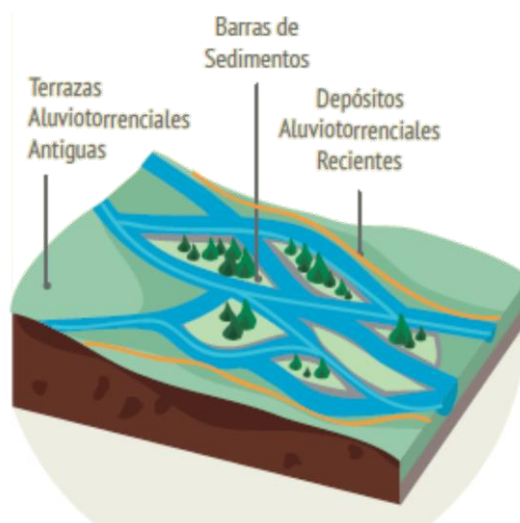


Figura 6-7. Componente geomorfológico (línea naranja) para tramos anastomosados en corrientes de montaña.

Para las corrientes con tramos encañonados, el componente geomorfológico será la zona con evidencias de actividad morfológica incluyendo las áreas que pueden tener problemas geotécnicos o de movimiento en masa.

6.1.1.2.3 Corrientes de piedemonte

En la Tabla 6-2 se muestra la clasificación de las corrientes según el tipo de piedemonte en el que se encuentren, es decir, piedemonte interno, piedemonte externo y piedemonte Pacífico.

Aunque los tres tipos de piedemonte que se presentan en el país tienen variaciones en la morfología de sus cauces, el comportamiento será similar entre sí, pues todos depositarán sus sedimentos al cambiar de pendiente, formando lo que se llama la faja de trenzamiento, la cual será la ronda hídrica en este tipo de corrientes.

Lo que se denomina en esta clasificación como piedemontes internos, son aquellos piedemontes que se encuentran entre las cordilleras o serranías del país, mientras que los externos son aquellos que dan hacia extensas llanuras como las del Caribe o la Orinoquía.

Especial consideración merecen las corrientes de los piedemontes de la región Pacífica y de Urabá, pues su comportamiento es sinuoso, diferente a las que ocurren en los otros piedemontes. Esta separación no las diferencia de las otras corrientes en el procedimiento a seguir para determinar el componente geomorfológico (Figura 6-8).

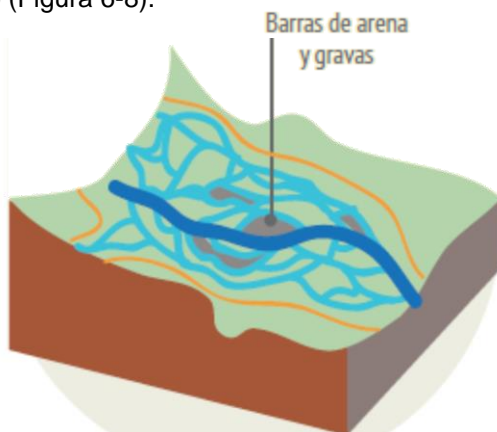


Figura 6-8. Componente geomorfológico (línea naranja) para corrientes trenzadas en piedemontes.

Cabe anotar que los tramos de comportamiento trenzado que poseen las corrientes de montaña son muy diferentes a las corrientes de morfología trenzada que se pueden presentar en los piedemontes, pues estas últimas desarrollan depósitos más extensos, con mayor complejidad de tramos efímeros y sistemas lénticos y cauces externos. En todo caso, es indispensable que se delimiten con precisión las terrazas aluviales dejadas por el proceso de encajamiento de la corriente.

En los piedemontes, el componente geomorfológico para el sistema hídrico principal incluirá toda la faja de trenzamiento activa y abandonada, además se tendrá en cuenta geoformas específicas para su delimitación como niveles altos de terrazas aluviales.

En las amplias áreas de almacenamiento de las corrientes trenzadas en el piedemonte, es común encontrar corrientes secundarias que nacen por afloramiento o conexión directa con el sistema hídrico de la faja de trenzamiento principal. Para la delimitación del componente geomorfológico de estas corrientes secundarias, se debe identificar su comportamiento e influencias antrópicas debido a sistemas de canales y acequias.

6.1.1.2.4 Corrientes de llanura

En la Tabla 6-3 se muestra la clasificación empleada para separar las corrientes de llanura que en general son de dos tipos: sinuosas o anastomosadas. A continuación, se describen cada una de éstas.

6.1.1.2.2.4.1 Corrientes sinuosas

Son sistemas complejos en cuya evolución van quedando meandros abandonados o cauces secundarios, todos asociados al cauce sinuoso principal. La faja de sinuosidad incluye a todo este sistema y será el componente geomorfológico (Figura 6-9).

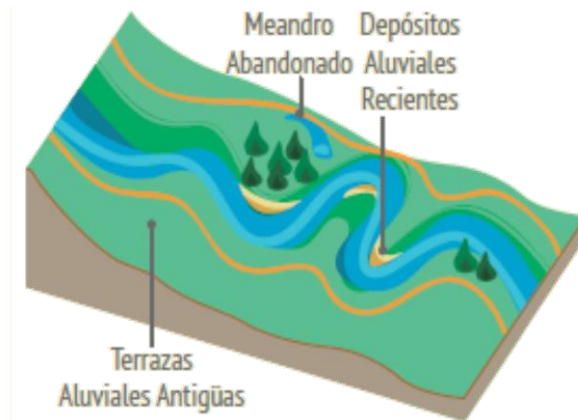


Figura 6-9. Componente geomorfológico (línea naranja) para corrientes sinuosas en llanuras.

6.1.1.2.2.4.2 Corrientes anastomosadas

Comprenden la divergencia de su cauce natural activo en varios brazos permanentes. El área que comprende todo el sistema (la faja de anastomosamiento), corresponde al componente geomorfológico (Figura 6-10).



Figura 6-10. Componente geomorfológico (línea naranja) en corrientes anastomosadas en llanuras.

6.1.1.2.2.5 Desembocaduras

La Tabla 6-4 muestra la clasificación para las desembocaduras de las corrientes en el mar y en otros cuerpos de agua.

Tabla 6-4. Criterios para determinar el componente geomorfológico de la ronda hídrica en desembocaduras.

DESEMBOCADURAS			
Las desembocaduras son las entregas de una corriente a otra de mayor caudal, o al mar directamente.			
Tipo de desembocadura		Componente geomorfológico	Herramientas por utilizar para definir el componente geomorfológico
Delta	Externo	Todo el delta	Uso de fotografías aéreas
	Interno	Se trabaja como una corriente y el componente geomorfológico se determina de acuerdo con la naturaleza del tramo analizado.	Observaciones de campo acompañadas del uso de sensores remotos
Estuarios		Componente hidrológico + Llanura mareal	Observaciones de campo
Directas		Componente hidrológico de ambas corrientes + Cuña de sedimentos (si tiene)	Observaciones de campo

6.1.1.2.2.5.1 Directas

Cuando las desembocaduras son directas al mar o a otra corriente, el componente geomorfológico se determinará con el mismo criterio que se realizó el resto de la corriente, respetando de igual manera el componente geomorfológico de la corriente a la cual desemboca

6.1.1.2.2.5.2 Deltas externos y deltas internos

Una de las morfologías de desembocaduras al mar son los deltas. En esta guía se han considerado dos tipos de deltas, los externos y los internos. Para determinar el componente geomorfológico de estos elementos, los criterios son muy diferentes, pues mientras en el delta externo el componente geomorfológico será todo el delta en sentido estricto, para los deltas internos sus corrientes se trabajarán de manera independiente, considerando las características de la morfología que presenten (sinuosa, trezada, etc.)

Para deltas internos (Figura 6-11) debe entregarse mapa topográfico a escala 1:5000, donde además se indiquen todas las corrientes existentes en el delta, tanto permanentes como semipermanentes y efímeras. En este mapa también se deberá delimitar el componente geomorfológico.

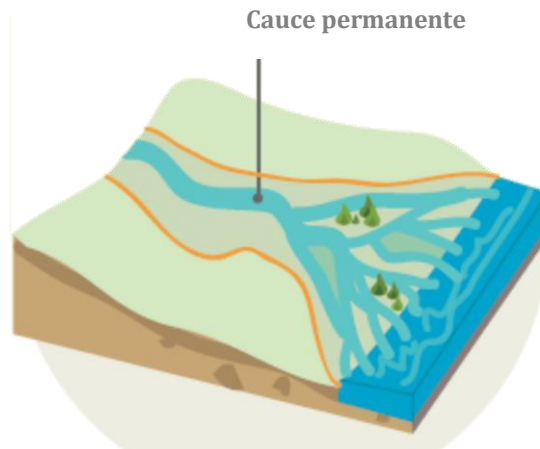


Figura 6-11. Componente geomorfológico de la ronda hídrica para un delta interno.

Para deltas externos (Figura 6-12) debe entregarse mapa batimétrico a escala 1:5000 del delta, que además incluya el componente geomorfológico claramente delimitado.

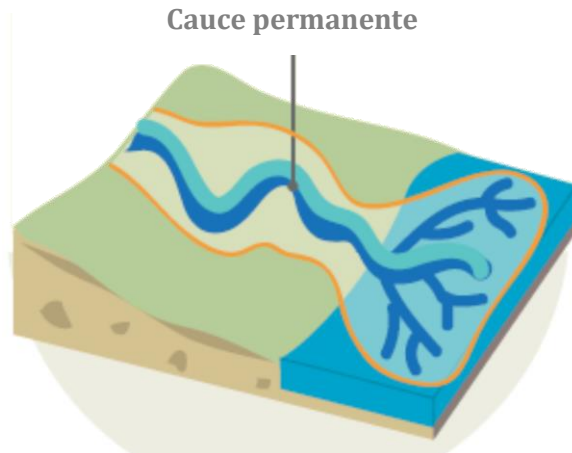


Figura 6-12. Componente geomorfológico (línea naranja) para un delta externo.

6.1.1.2.2.5.3 Estuarios

La determinación del componente geomorfológico en los estuarios dependerá en gran parte de la interacción con la dinámica del mar, más precisamente con la marea. En estos casos, el componente geomorfológico corresponderá al componente hidrológico de la corriente que desemboca en él, más la llanura mareal (Figura 6-13).

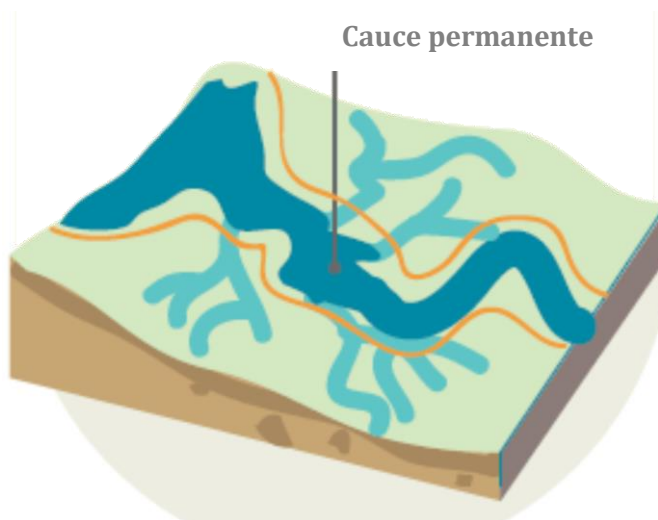


Figura 6-13. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en un estuario.

6.1.1.2.3 Delimitar el componente geomorfológico de la ronda hídrica

Desde la información del Mapa 8 se deberá ajustar en la base de datos geográfica el mapa preliminar de las geoformas asociadas a la ronda hídrica soportándose en las evidencias recabadas en el trabajo en campo. El producto final será el mapa del componente geomorfológico delimitado (Mapa 9).

6.1.1.3 Desarrollo en sistemas lénticos

Para la identificación de formas del terreno asociadas a los sistemas lénticos y que no hacen parte de su cauce permanente se sugiere un procedimiento en tres etapas acorde con lo establecido en

Patiño (2016): i) reconocimiento e identificación preliminar; ii) levantamiento de datos y verificación de campo; y iii) ajustes.

6.1.1.3.1 Reconocimiento e identificación preliminar

En este paso se busca recopilar la información secundaria disponible y pertinente que permita aportar elementos para la identificación del límite físico del componente geomorfológico de la ronda hídrica del sistema léntico. Para ello se cuenta con el insumo del trabajo realizado para la delimitación del cauce permanente (numeral 5.2). Desde tal insumo se deberá identificar lo relacionado con las geoformas asociadas de las rondas hídricas de los sistemas lénticos. Desde el Mapa Nacional de Humedales Escala 1:100000, la tipología de humedales temporales será un indicador para la identificación preliminar de la ronda hídrica desde este componente.

6.1.1.3.2 Levantamiento de datos y verificación de campo

Se deberá realizar una verificación en campo de las geoformas identificadas preliminarmente. Para ello se deberán utilizar indicadores en campo y georreferenciarlos con sistemas de geoposicionamiento satelital (GPS) con precisión centimétrica. Se deberá confirmar el límite físico de las geoformas asociadas a procesos de acumulación de agua y sedimentos recientes y que no hacen parte del cauce permanente.

Indicadores de estas geoformas son: presencia de sustratos que permanecen secos estacionalmente o gran parte del año (es decir no son suelos hidrofíticos); presencia de vegetación riparia y facultativa (se encuentra en áreas riparias y laderas) y no riparia; sedimentos finos expuestos en superficie; depósitos aluviales recientes: bancos de arena, barras de grava, barras de lodo; elementos del relieve que delimitan la zona inundable del sistema; marcas de inundaciones pasadas en la vegetación y otros elementos del paisaje como rocas; presencia de escombros vegetales producto de su movilización cuando aumentan los niveles en temporadas húmedas.

6.1.1.3.3 Ajustes

Se deberá realizar el ajuste a las geoformas cartografiadas y de sus límites verificados en campo. El producto final será el mapa del componente geomorfológico de la ronda hídrica del sistema léntico.

6.1.2 Delimitación del componente hidrológico

En los eventos de crecidas e inundaciones se transportan por el cauce y almacenan temporalmente en la ribera la escorrentía superficial con el agua, sedimentos y nutrientes que se producen en la cuenca hidrográfica. Tales funciones son expresiones de la conectividad longitudinal y transversal que ocurre con el régimen natural de flujo.

La dinámica hidrológica determina en gran parte el tamaño y la forma del cauce y su entorno, donde su conformación morfológica depende fundamentalmente del régimen natural de flujo, es decir, del momento, la duración, la frecuencia, la tasa de cambio y magnitud de los caudales circulantes, ordinarios y extraordinarios. Dada las condiciones geográficas del país, la dinámica hidrológica está condicionada por procesos atmosféricos y climáticos que se constituyen en determinantes de los procesos de adaptación de los ciclos biológicos de las especies en los ecosistemas acuáticos y los de ribera.

El ciclo anual del clima en Colombia está dominado fundamentalmente por la oscilación meridional de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), generando condiciones de abundante nubosidad y lluvias cuando se ubica sobre una determinada región. Su desplazamiento durante el año, hacia el norte en el primer semestre y hacia el sur en el segundo semestre, da origen a los dos períodos de lluvia que se registran en buena parte de los departamentos andinos. Se da origen entonces a un ciclo bimodal en la zona céntrica (dos temporadas de lluvias en abril-mayo y octubre-noviembre, dos temporadas secas entre diciembre-febrero y junio-agosto), y un ciclo unimodal o monomodal en las

zonas más extremas del paso de la ZCIT (Pacífico, Amazonía, Orinoquía y parte del Caribe). Igualmente, no hay que desconocer la influencia de otros fenómenos que contribuyen al fortalecimiento o debilitamiento del régimen de pluviosidad. Entre éstos se pueden referenciar: la dinámica del transporte de humedad de los vientos alisios superficiales del este y la circulación de media y alta atmósfera, los cuales interactúan con la dinámica de transporte de humedad por los vientos del Chorro del Chocó, y éste a su vez con el ciclo diurno inherente a los sistemas convectivos de meso-escala oceánicos y terrestres (Poveda, 2004).

Igualmente, el régimen hidroclimático en el país está modulado por fenómenos de variabilidad climática a la escala interanual. El fenómeno con mayor importancia es el ENSO (El Niño-Southern Oscillation por sus siglas en inglés) o ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) en sus dos fases: El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría) las cuales están relacionadas con la temperatura del agua en el Océano Pacífico. En condiciones de El Niño, se presenta en gran parte del territorio colombiano como una reducción en la lluvia, la cual define las condiciones de mayor severidad en la temporada seca, produciendo períodos de sequía principalmente. En condiciones de La Niña se presenta, en gran parte de la Geografía Colombiana, un aumento en las lluvias, lo cual modula con mayor severidad la temporada de lluvias, produciéndose inundaciones (lentas, súbitas, pluviales) y movimientos en masa. Como se ha mencionado, tal comportamiento se presenta en gran parte del territorio, principalmente en la zona andina, siendo en ocasiones inverso para otras regiones del país. Igualmente, es importante considerar que pueden influir otros fenómenos como la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Decadal del Pacífico (Poveda, 2004) u otros fenómenos de tipo intraestacional como las ondas Madden-Julian (Mo y Kousky, 1993).

Las dos fases del fenómeno ENOS no tienen una periodicidad definida, no son fácilmente predecibles, pero son relativamente frecuentes y son determinantes de la variabilidad natural en la cantidad de agua y sedimentos en los cauces del sistema fluvial y no deben considerarse como algo extraordinario. Por ello, se deben considerar los principales aspectos que modulan el clima y la repuesta hidrológica en las cuencas hidrográficas del país. Dichos aspectos son los que han determinado también el funcionamiento de los ecosistemas (e.g. Holmgren et al., 2001 demostraron que el ENOS tiene implicaciones en el funcionamiento de diferentes ecosistemas terrestres) y las mismas prácticas de adaptación milenarias de las poblaciones a los fenómenos de escasez o excesos de agua en el territorio (e.g. aprovechamiento de agua de los zenúes en la depresión momposina).

El fenómeno ENOS es el más estudiado a nivel mundial, y en particular para la región tropical americana donde se encuentra Colombia. De acuerdo con Rahmstorf (2002), en el clima actual la expresión más fuerte de variabilidad climática natural es el fenómeno ENOS, el cual tiene un período variable de 3-7 años y tiene impactos sociales y ecológicos a nivel mundial debido a sus efectos sobre la circulación atmosférica global. De sus estudios paleoclimáticos con datos de corales, Rahmstorf (2002) concluyó que los resultados muestran segmentos donde convincentemente la variabilidad del ENOS prevaleció en diferentes climas, incluyendo los tiempos glaciales y la era interglacial. Los resultados mostraron que su amplitud ha variado, sin embargo, se demuestra que ocurrieron ENOS débiles durante el medio-Holoceno (6.5 mil años atrás) y en la temprana edad glacial (112 mil años atrás) así como ENOS fuertes durante los tiempos modernos. En la misma dirección, Martínez (2009) concluyó que durante el Holoceno es evidente el incremento en el número, e intensidad, de eventos ENOS en el neotrópico a partir de 6 mil años atrás, acompañado de la migración austral de la ZCIT. Similares conclusiones fueron documentadas por Haug et al. (2001) con información paleoclimática en costas venezolanas, sus investigaciones demostraron que los cambios de precipitación ocurridos en la parte norte de Suramérica en los últimos 14000 años pueden ser explicados por los cambios en la latitud media de la Zona de Convergencia Intertropical Atlántica forzados potencialmente por la variabilidad climática ocurrida en el Pacífico (ENOS por ejemplo).

Sobre la base del conocimiento de los fenómenos meteorológicos y climáticos que modulan, en gran parte, el comportamiento del ciclo hidrológico en el país (ver Poveda et al., 2002; Poveda 2004; Poveda et al., 2011; Poveda y Mesa, 2015), el componente hidrológico de la ronda hídrica debe ser el área requerida para el transporte y almacenamiento temporal del agua y los sedimentos que

produce la cuenca para las distintas escalas de tiempo (intra-anual e interanual; esta última asociada principalmente al fenómeno ENOS o los que se encuentren tienen influencia en la respuesta hidrológica).

6.1.2.1 Criterios

El componente hidrológico de la ronda hídrica permite el funcionamiento del sistema fluvial para los eventos extremos más frecuentes, los cuales son necesarios para la conexión de los cuerpos lóticos y lénticos en el sistema fluvial, el intercambio de sedimentos, nutrientes y organismos y en general para el mantenimiento de los ciclos biológicos de las especies en estos ecosistemas. En tal sentido, este componente está determinado por la zona ocupada por la corriente durante los eventos de crecida e inundaciones de acuerdo con la variabilidad intra-anual e inter-anual del régimen hidrológico. De acuerdo con los registros históricos de ocurrencia del fenómeno, las crecidas representativas de las condiciones máximas promedio durante una temporada "normal" de La Niña se pueden asociar a una crecida con un período de retorno de 15 años. En las regiones del país, en que los períodos húmedos son modulados por fenómenos de variabilidad climática distintos al ENOS en su fase fría, la Autoridad Ambiental competente deberá considerar el período de retorno representativo para dicho fenómeno siempre y cuando éste sea mayor al establecido de 15 años, es decir, sea un evento con menor frecuencia de presentación.

Dicho criterio es aplicable para los casos de sistemas lóticos sin modificaciones considerables en su morfología (ver numeral 6.1.2.1) así como para los sistemas lénticos (6.1.2.1.3.). Para los casos de sistemas lóticos con modificaciones considerables en su morfología así como cuerpos de agua (lóticos y lénticos) afectados por la dinámica marina se orienta un criterio de seguridad mayor utilizando eventos con período de retorno de 100 años (ver numerales 6.1.2.2 y 6.1.2.1.4).

En los casos de ocurrencia de fenómenos de avenidas torrenciales, flujos densos o hiperconcentrados deberá considerarse lo establecido en el componente geomorfológico (ver apartado final del numeral 6.1.1.2.2.2) ya que en general este tipo de eventos ocurren en áreas de transición de tramos confinados a no-confinados en los que suelen formarse abanicos aluviales por la pérdida de energía en el sistema. La modelación de este tipo de fenómenos desde el punto de vista hidráulico es compleja y demandante de información para poder entender los procesos físicos involucrados y la reología de la mezcla agua-sedimento. Por ello, el resultado más robusto podrá obtenerse, en general, desde el análisis de las geoformas asociadas a este tipo de eventos y al trabajo de campo donde se encuentren las evidencias de su ocurrencia y magnitud.

6.1.2.1.1 Sistemas lóticos sin modificaciones considerables en su morfología.

Los sistemas lóticos que no han tenido alteraciones morfológicas considerables son aquellos en los que no se ha modificado la forma natural del cauce permanente y su conexión con la ribera. En tal sentido, la ronda hídrica está cumpliendo con su función de almacenamiento temporal del agua y sedimentos en su llanura inundable. En estos casos, el límite del componente hidrológico de la ronda hídrica se puede definir por la zona ocupada por el nivel de aguas máximas de un evento con un período de retorno de 15 años.

6.1.2.1.2 Sistemas lóticos con modificaciones considerables en su morfología.

Los sistemas lóticos que han tenido alteraciones morfológicas considerables son aquellos en los que se ha modificado la forma natural del cauce permanente y su conexión con la ribera, principalmente debido a la existencia de presas aguas arriba, muros, diques u otra infraestructura que ha modificado el régimen natural de flujo y en particular la conectividad transversal del cuerpo de agua con su llanura inundable. Lo anterior ocurre, en general, en tramos de cuerpos de agua en zonas urbanas consolidadas o en tramos con asentamientos poblacionales, actividades socioeconómicas, bienes y servicios ubicados en la llanura inundable.

En tales casos, el componente hidrológico de la ronda hídrica se debe definir por el espacio que requiere el flujo en un evento de mayor importancia y al menos con 100 años de período de retorno considerando el concepto de "zona de flujo preferente" (MARM, 2011). En tal sentido, se debe hacer

un análisis para asegurar que en dichos tramos del cuerpo de agua se cumpla con su función de proteger las comunidades y la infraestructura además de garantizar el tránsito de estos eventos de baja frecuencia y gran intensidad. Considerando que ya la llanura inundable está ocupada, se introducen dos criterios complementarios para definir el área mínima necesaria para lograr la funcionalidad mencionada acudiendo al concepto de “zona de flujo preferente”, la cual está constituida por la envolvente de la zona preferente de flujo durante las avenidas o “vía de intenso desagüe” (FEMA, 1998) y la “zona de inundación peligrosa” para un evento de 100 años de período de retorno (MARM, 2011). Tales criterios han sido incorporados en instrumentos técnicos y normativos similares, en países como Estados Unidos (FEMA, 1998) o España (MARM, 2011), y también probados en Colombia (ver Sarache, 2015).

La vía de intenso desagüe es la zona en la que se debe garantizar que, para un evento de 100 años de período de retorno en condiciones alteradas, no haya una sobreelevación en los niveles de la lámina de agua mayor a 30 centímetros ni se incremente en más del 10% la velocidad del flujo en comparación a las condiciones sin alteración (Figura 6-14). Cuando se exceda este valor, se debe reconfigurar la forma de cauce y su ronda hídrica para garantizar que se cumple una sección hidráulica mínima necesaria a lo largo de todo el tramo de influencia, por la cual se transitará sin inconvenientes el flujo para el período de retorno requerido (100 años) sin los incrementos en nivel alcanzado (<30 cm) y cambio de velocidad de flujo (<10%) requeridos. Debido a que dicho análisis puede resultar en múltiples soluciones, se debe adoptar la solución correspondiente al ancho mínimo correspondiente a las relaciones de geometría hidráulica para las condiciones de banca llena adecuadas para las características morfológicas del cauce permanente de la misma tipología de río inmediatamente aguas abajo o aguas arriba y a partir de éste valores proporcionales del componente hidrológico hasta lograr la sección hidráulica óptima.

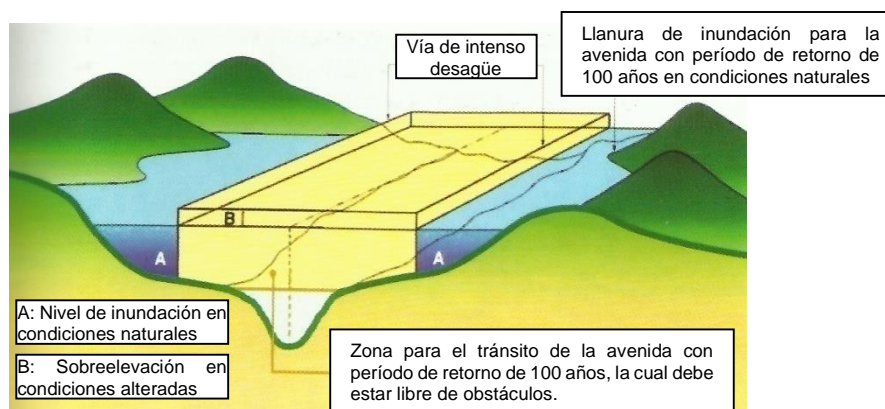


Figura 6-14. Llanura de inundaciones en condiciones naturales (A) y sobreelevación en condiciones alteradas (B: la diferencia de niveles no debe superar 30 cm y la de velocidades no mayor a 10%) para la avenida de 100 años de período de retorno. Adaptado de Godesky (2006).

Integrando las diferentes criterios existentes para la zona de inundación peligrosa, tal como se ha estudiado e involucrado en directrices nacionales en algunos países miembro de la Unión Europea (Salazar, 2013), se deberá delimitar el área en la que, para el evento de 100 años de período de retorno en condiciones sin alteración, se cumpla alguno de los siguientes criterios: i) la lámina de agua sea mayor o igual a 0.5m; ii) la velocidad mayor o igual a 0.5m/s; iii) el producto de estas dos variables sea mayor o igual a 0.5 m²/s.

Considerando los dos anteriores conceptos, el límite exterior de la superposición de la “vía de intenso desagüe” con la de la “inundación más peligrosa” configurará la zona de flujo preferente que es el componente hidrológico de la ronda hídrica. En tal sentido, será la zona que debe mantenerse libre de obstáculos y será la que permita la evacuación de la crecida con 100 años de período de retorno evitando los potenciales daños en las personas, bienes y servicios. Tal análisis alimentará la toma de decisiones en el respectivo establecimiento de las estrategias para el manejo ambiental.

6.1.2.1.3 *Sistemas lénticos*

El componente hidrológico de los sistemas lénticos será el área necesaria para los eventos de inundaciones con un período de retorno de 15 años considerando su configuración morfológica natural. En tal sentido, cuando existan alteraciones morfológicas por infraestructura hidráulica (e.g. muros, diques), tales obras no deben ser consideradas en la proyección de los niveles que alcanzaría el evento con el criterio mencionado (período de retorno de 15 años). Tal proyección determinará el componente hidrológico de la ronda hídrica y deberá mantenerse libre de obras que impidan la conexión con su cauce permanente.

6.1.2.1.4 *Cuerpos de agua afectados por la dinámica marina*

Una de las más claras manifestaciones del cambio climático es el aumento del nivel medio del mar, además de las fluctuaciones propias del régimen de mareas. Para considerar lo anterior, en los cuerpos de agua (lóticos y lénticos) que estén controlados por el nivel del mar, es decir por las líneas de mareas máximas a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-Ley 2811 de 1974, se debe definir el componente hidrológico teniendo en cuenta el incremento futuro del nivel del mar para un horizonte de 100 años.

6.1.2.2 *Procedimiento en sistemas lóticos*

A continuación, se describen cada una de las actividades a realizar considerando los criterios diferenciales anteriormente mencionados. Los insumos, actividades y productos esperados para la delimitación del componente hidrológico se presentan en la Figura 6-15.

El proceso metodológico se fundamenta en la representación espacial de las áreas inundables durante eventos de La Niña “normales” a los que se ha asociado una recurrencia de 15 años en promedio (casos del numeral 6.1.2.1.1), o de eventos de 100 años de período de retorno para los casos mencionados en el numeral 6.1.2.1.2. Lo anterior se logra superponiendo los niveles de inundación sobre la topografía del terreno, para lo cual es indispensable una resolución espacial a nivel de detalle la cual sea compatible con las escalas de trabajo del ordenamiento territorial. En zonas urbanas o en zonas con una alta presión antropogénica sobre el suelo (e.g. zonas de expansión urbana), la resolución horizontal de la cartografía debe ser la de una escala de 1:2000 como mínimo. En zonas rurales la resolución debe ser de 1:5000 como mínimo. La resolución vertical para los niveles de inundación y para la topografía del terreno debe ser: 20 cm o mayor para zonas rurales; 10 cm o mayor, para zonas urbanas o de expansión urbana.

Para la obtención de la topografía de detalle se recomienda utilizar tecnología LIDAR o similares, ya que las mismas son más económicas respecto de levantamiento topográficos de detalle tradicionales. Igualmente, dicha información será útil para otros fines como actualización de coberturas y usos de la tierra o insumos que la Autoridad Ambiental competente le puede brindar a las entidades territoriales para sus respectivos análisis en gestión del riesgo. Tal información de detalle topográfico puede incluir la batimetría para cuerpos de agua que en el momento del levantamiento tengan una profundidad no superior a 0.5 m; si la profundidad del agua es mayor, deberá realizarse el respectivo levantamiento batimétrico para la respectiva caracterización de las secciones hidráulicas del cuerpo de agua o utilizar tecnologías que no tengan tal limitación. El tipo de información, y los métodos de referencia a considerar, se desarrollan en los siguientes numerales.

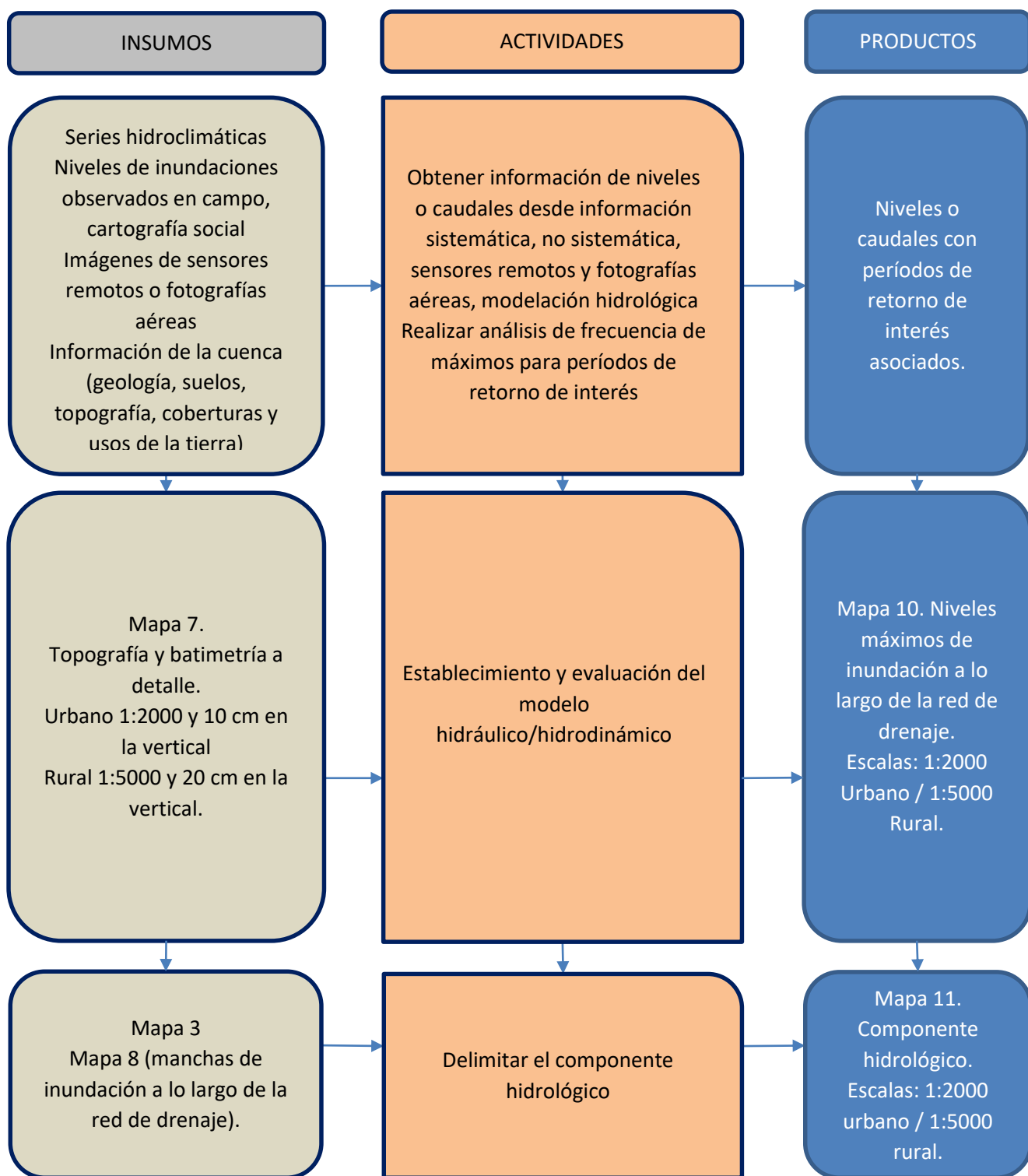


Figura 6-15. Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico

6.1.2.2.1 Obtener información de niveles o caudales

La información de niveles de eventos históricos se puede obtener desde fuentes de información sistemática (series temporales de niveles o caudales), no sistemática (testimonios, huellas en el

terreno, huellas en la vegetación), información desde sensores remotos o fotografías aéreas o desde la modelación de los procesos de transformación de lluvia en escorrentía y del comportamiento de los flujos tanto en cauce como en ribera. La disponibilidad de ésta será la que condicione el tipo de técnicas a utilizar.

6.1.2.2.1.1 Obtener información sistemática

Desde las estaciones de las redes de monitoreo hidrometeorológicas del orden nacional (operadas por el IDEAM en la zona continental y el INVEMAR en la zona marino-costera) y regional (Autoridades Ambientales competentes) se deberán considerar las series hidroclimáticas a escala diaria, con registros iguales o superiores a 15 años y porcentaje de datos faltantes menor al 10%. Las estaciones deberán estar localizadas en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua objeto de estudio, considerando como mínimo los niveles de zona y subzona hidrográfica de la zonificación hidrográfica nacional (IDEAM, 2013a).

Las series que se van utilizar deben tener su respectivo análisis de consistencia, detección de datos anómalos y llenado de datos cuando aplique, para lo cual se sugiere tener en cuenta los estándares sugeridos para ello como por ejemplo la Guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) o las que sugiera para Colombia el IDEAM.

6.1.2.2.1.2 Obtener información no sistemática

Se debe tener en cuenta la información de testigos de los eventos pertenecientes a la comunidad y con un buen período de permanencia en la zona. Mediante reuniones y visitas programadas con la comunidad, se harán recorridos por las áreas residenciales, predios o infraestructura que haya sido inundada durante algún evento histórico. Cada uno de dichos sitios será adecuadamente señalado e incluido dentro de la cartografía de detalle requerida con los criterios ya mencionados.

Además de las coordenadas en el espacio (x, y, z), que determinan las zonas afectadas, son importantes los testimonios que permitan establecer la frecuencia de ocurrencia del evento de inundación y lugares más detallados del nivel al que llegó la inundación, información útil para el establecimiento del modelo hidráulico o hidrodinámico. Los testimonios de la comunidad deben incluir: sitio, fechas de ocurrencia del evento y nivel alcanzado con sus respectivas coordenadas; residencia, predio o infraestructura afectada con coordenadas, propietarios, entre otras. Se anexan formatos con el fin de estandarizar la información recabada, tanto en las entrevistas con las comunidades (Anexo I) como en la sistematización de los eventos validados en función del nivel de confiabilidad de las entrevistas (Anexo II). Para ello, deberán realizarse varias encuestas o correlacionar con otras fuentes¹⁰ para corroborar que realmente el evento ocurrió desde el cruce de información. Los anexos mencionados son los utilizados en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas por lo que sirven para los fines de los dos instrumentos. En dichos formatos se ha realizado una discriminación por tipología de evento de inundación: fluvial lenta y torrencial.

Adicional a lo anterior, se debe reconocer como una fuente de información el conocimiento local. Las comunidades tienen un conjunto de saberes, creencias y prácticas con relación al territorio que ellas mismas habitan, lo cual aporta elementos para la lectura del territorio que se necesita para el proceso de delimitación del componente hidrológico de las rondas hídricas.

Para investigar el conocimiento local se pueden utilizar varias técnicas participativas, algunas de las cuales se resumen en los siguientes numerales.

6.1.2.2.1.2.1 Cartografía social y Sistema de Información Geográfico - SIG participativo

El objetivo de la cartografía social es representar en un mapa la percepción de las comunidades sobre el territorio que habitan. La comunidad debe ser convocada para que en grupos de trabajo

¹⁰ Deberán consultarse fuentes documentales desde hemerotecas, estudios de inundaciones, bases de datos de eventos de inundación ocurridos (e.g. <http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/>; <http://www.desinventar.org/>; <http://www.emdat.be/>), consultas a entidades como la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Cruz Roja, Bomberos, o entidades con objeto social similar.

discutan, dibujen y pinten el mapa del territorio con objeto de identificar áreas inundadas por eventos históricos.

Para la delimitación física del componente hidrológico de las rondas hídricas se puede plantear cartografía social sobre cuencas, riesgos, recursos naturales y ordenamiento territorial (Figura 6-16). Desde la cartografía social de riesgos busca representar los sitios con mayor posibilidad de pérdida de vidas humanas y afectaciones negativas sobre los elementos expuestos (personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura) a fenómenos como las inundaciones fluviales lentas.



Figura 6-16. Cartografía social de habitantes del río Chicagua, Depresión Momposina.

La información obtenida y posteriormente validada en trabajo de campo por los técnicos puede ser incorporada a través de Sistemas de Información Geográfica.

6.1.2.2.1.2.2 Líneas del tiempo y gráficos históricos

Para la delimitación del componente hidrológico, se requiere de registros históricos y de eventos o cambios ambientales relacionados con los cuerpos de agua y el suelo. Otra fuente para obtener dicha información es convocar a la comunidad para la construcción de una línea del tiempo o de gráficos históricos. Se debe enfatizar en la participación de adultos mayores que han habitado el territorio por más tiempo.

En las líneas de tiempo se deben identificar eventos históricos puntuales y realizar una descripción de sus impactos o efectos socio-económicos sobre la comunidad. En los gráficos históricos se construye una tabla con intervalos de fechas ubicados en las columnas, y en las filas cada uno de los recursos naturales renovables. En cada celda se debe representar la situación del recurso natural para aquel entonces.

6.1.2.2.1.2.3 Análisis de transecto

La actividad consiste en organizar con miembros de la comunidad un recorrido por el territorio, analizando, en diferentes espacios y momentos, las características y problemáticas del territorio. Antes de comenzar, se deben dibujar las diferentes áreas de análisis. Durante el recorrido, los participantes deben observar el territorio y discutir sobre los usos que allí se dan con relación a las dinámicas y características del medio natural. Un ejemplo de esta actividad puede basarse en la división del terreno en períodos de retorno, como lo muestra la Figura 6-17.

a)



b)

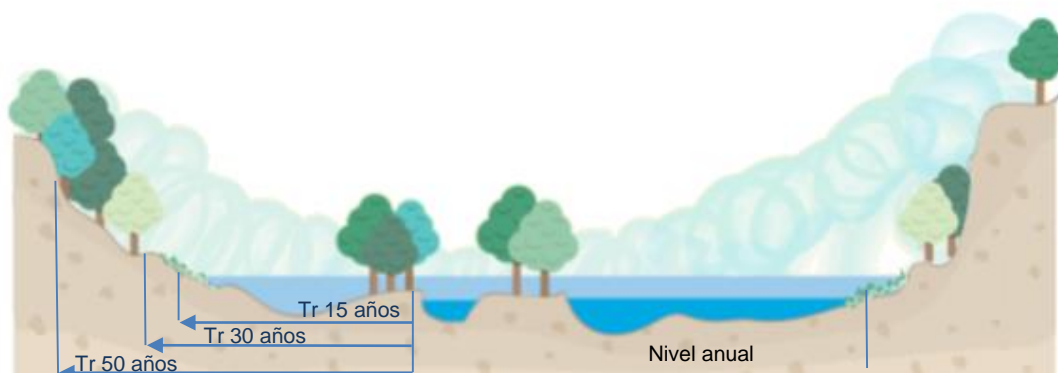


Figura 6-17. Esquema de niveles máximos de inundación para diferentes períodos de retorno (Tr) en años: a) sistema lóxico; b) sistema léntico. Imágenes adaptadas de FISRWG (1998).

Un cuestionario sugerencia puede ser el utilizado en la Tabla 6-5 como complemento a los formatos ya mencionados del Anexo II.

Tabla 6-5. Preguntas por utilizar en ejercicios participativos de análisis de transectos.

Preguntas	Períodos de retorno (Tr) en años			
	Tr = > 50	Tr = 50	Tr = 30	Tr = 15
¿Cuáles son los usos de la tierra, el agua y la vegetación?				
¿Quiénes habitan y trabajan allí?				
¿Hasta dónde han llegado las inundaciones o avenidas torrenciales?				
¿Cuántas veces han ocurrido los eventos históricos?				
¿Cómo ha cambiado este lugar en los últimos años?				

6.1.2.2.1.2.4 Validación y sistematización de eventos históricos

Una vez se ha obtenido información de niveles históricos de inundaciones desde el trabajo de campo con comunidades de la zona y otras fuentes, se deberá proceder a su validación. Para ello, se realizará una comparación y búsqueda de coincidencia entre diferentes fuentes de información, así

como la existencia de varias encuestas que aluden al mismo evento. Una vez validados los eventos, éstos se deberán jerarquizar a partir de su magnitud desde de variables como: caudales registrados en estaciones más próximas al área o tramo de estudio; magnitud registrada en los formatos de eventos históricos; número de encuestas que aluden a un mismo evento; extensión de la inundación; otras fuentes de datos. Finalmente, los resultados se deberán consolidar en el formato para su sistematización en función del tipo de inundación (Anexo II).

6.1.2.2.1.3 Obtener información desde sensores remotos y fotografías aéreas

A partir de análisis multitemporales se pueden identificar manchas de inundación en imágenes de sensores remotos (pasivos como LandSat, IKONOS, QuickBird, DigitalGlobe o activos como SLAR, SIR o SAR) o fotografías aéreas durante periodos húmedos históricos con los que se cuente información (e.g. catálogo del IGAC, misiones satelitales, banco de datos de la Autoridad Ambiental, etc.), que en general es desde los años 40's del siglo pasado. También se puede conseguir información satelital que permite obtener para la escala de trabajo registros del nivel del agua en sistemas lénticos o los principales ríos de las macrocuencas Magdalena-Cauca, Pacífico, Amazonía, Orinoquía y Caribe.

6.1.2.2.1.4 Obtener información desde modelación hidrológica

En función del nivel de instrumentación hidrometeorológica disponible en la cuenca hidrográfica, se tendrán diferentes escenarios que condicionarán el método a utilizar para la caracterización del régimen hidrológico. El primer escenario será la disponibilidad de información para un tramo de interés en particular (estación en el tramo A-B de la Figura 6-18); los datos de tal estación para que sean pertinentes deben cumplir con los criterios establecidos en el numeral 6.1.2.2.1.1 y el procedimiento que se desarrolla en el numeral 6.1.2.2.2 (caso de cuerpos de agua sin alteraciones en su morfología). En los casos del numeral 6.1.2.1.2 (cuerpos de agua con alteraciones en su morfología) el requerimiento es que se tenga registros sistemáticos de niveles o caudales de una longitud de 100 años es posible derivar el nivel alcanzado por un evento máximo con un periodo de retorno de 100 años. Sin embargo, encontrar series de registro de niveles y caudales con tal longitud no suele ser la generalidad para la red hidrológica nacional de referencia. En tal sentido, si en la cuenca se tiene al menos 15 años de registro de niveles o caudales diarios, se pueden usar modelos de transformación de lluvia en escorrentía para la obtención de caudales máximos y el uso de estadísticos para la distribución de probabilidad de eventos extremos como se explica en el apartado de procedimiento (numeral 6.1.2.2). Utilizando los estadísticos de la serie para obtener parámetros del modelo, se pueden obtener valores de caudal para el periodo de retorno deseado.

El segundo escenario será la caracterización del régimen hidrológico a lo largo de toda la red drenaje más allá del tramo A-B de la Figura 6-18; para ello se puede utilizar un modelo de transformación lluvia-escorrentía, teniendo en cuenta, además de las estaciones de registro de caudal que existan, la disponibilidad de estaciones de registro de precipitación las cuales cumplan con los criterios anteriormente mencionados respecto de longitud, datos faltantes, calidad. Con la información de tormentas en la región y modelos estadísticos (ver numeral 6.1.2.2.), se obtienen las características de las lluvias para el periodo de retorno de interés. Con estos valores y un modelo lluvia-escorrentía se estiman los caudales para los periodos de retorno de interés teniendo en cuenta diferentes condiciones promedio del comportamiento del estado de humedad antecedente del suelo frente a eventos extremos y considerando el escenario promedio más desfavorable.

En los casos en los que no se tenga información ni de precipitación ni de caudal en la cuenca hidrográfica de interés, se tendrán que utilizar técnicas de modelación en cuencas no instrumentadas (ver técnicas en Blöschl et al., 2013).

Los modelos establecidos deberán estar debidamente calibrados y validados, es decir, que se representen adecuadamente los procesos hidrológicos predominantes para el periodo de referencia que se tiene para evaluar el modelo hidrológico de la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua en estudio. En tal sentido, se deberán fijar a priori los estándares de aceptabilidad del modelo considerando que éste debe representar de manera eficiente, los hidrogramas de las crecientes máximas.

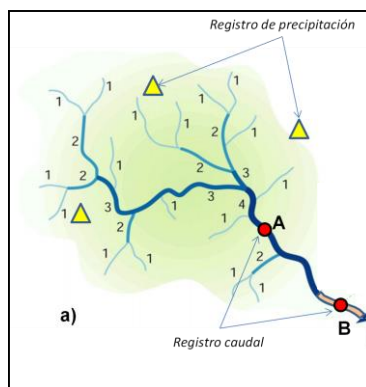


Figura 6-18. Esquematzación de disponibilidad de información hidroclimatológica.

Para el proceso de calibración-validación se puede utilizar alguna de las pruebas estándar sugeridas por Klemeš (1986), y de uso generalizado, en función de la información disponible: i) prueba de división de la muestra de datos en un mismo punto de registros (una parte para calibración, otra para validación); ii) prueba con cuencas próximas para verificar si se puede extrapolar geográficamente el modelo de cuenca en los casos que no se tienen registros (si se tiene un punto de interés no aforado, y se tienen dos puntos A y B con registros, se calibra en un punto A y se valida en un punto B, y si los resultados son satisfactorios se puede utilizar en el punto no aforado); iii) prueba diferencial de división de la muestra de datos (utilizado cuando se requieren simular condiciones diferentes a las existentes en un punto de interés con registros como cambios en el clima o en el suelo, por ejemplo si se requiere simular condiciones húmedas, se calibra en el período de la serie en condiciones húmedas y se valida en el período de la serie en condiciones secas); iv) prueba diferencial de división de la muestra de datos y cuencas cercanas (aplicado en los casos en que el modelo pueda ser extrapolable geográficamente y que se reflejen cambios en el clima o uso del suelo).

Respecto a los criterios de ajuste del modelo, se recomienda el uso de al menos dos criterios de ajuste cuantitativos en simultáneo para que las debilidades de un enfoque sean fortalecidas por el otro. Se recomienda el uso de criterios como la raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) y el coeficiente de determinación r^2 (Bennett et al., 2013) o índice de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE por sus siglas en inglés) o similar al anterior la relación entre RMSE-desviación estándar (RSR por sus siglas en inglés) como lo sugiere Moriasi et al., (2007).

6.1.2.2.2 Realizar análisis de frecuencia de máximos para período de retornos de interés

Una vez se tiene la información de niveles o caudales máximos anuales obtenidos desde alguna de las fuentes mencionadas anteriormente, el siguiente paso es realizar el respectivo análisis de frecuencia.

En el caso de información sistemática, deberán probarse diferentes funciones de distribución de probabilidad y las respectivas pruebas de bondad de ajuste, para definir cuál es la que mejor representa el comportamiento estadístico de la muestra. Cuando se realiza el ajuste de una función de distribución de probabilidad, a un conjunto de datos hidrológicos, se sintetiza la información probabilística de la muestra. El ajuste puede realizarse mediante el método de los momentos o el de máxima verosimilitud para la estimación de los parámetros de las funciones de distribución. En la literatura técnica se pueden encontrar diferentes familias de distribuciones como por ejemplo las "Normales" (normal, lognormal, lognormal-III), las de "Valores extremos" ("Extreme Value 1-EV1" o Gumbel para máximos y mínimos, "Extreme Value 2-EV2" o Frechet, y "Extreme Value 3-EV3" o Weibull para máximos y mínimos), la exponencial, Gamma y las "Pearson" (Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III). Igualmente hay funciones de distribución particulares como las denominadas "TCEV" por sus siglas en inglés de "Two-component extreme value", "Wakeby" o "Kappa" (ver en Naghettini y Silva, 2017) o funciones de distribución mixtas recomendadas para varias poblaciones

como por ejemplo las afectadas por fenómenos de variabilidad climática. Para el caso de análisis de frecuencia de caudales máximos se ha encontrado que en Colombia la función Mixta Fréchet Tipo I es adecuada (Poveda y Álvarez, 2012), aproximación no-estacionaria que considera los efectos de la variabilidad climática.

Respecto a las pruebas de bondad de ajuste, unas de las más utilizadas son la Prueba Kolmogorov-Smirnov y la Prueba Chi Cuadrado. Adicionalmente, se pueden utilizar técnicas de selección de la función más apropiada a través del test de bondad de ajuste Anderson-Darling y los criterios de información Bayesiano y de Akaike (ver Laio et al., 2009).

Cuando la fuente de información es de tipo no sistemática, se deben aplicar enfoques que integren información de eventos de tipo sistemática (desde estaciones) y no-sistemática (niveles observados en campo o desde el trabajo con comunidades). Benito et al. (2004), presentan una revisión de métodos científicos que integran análisis geológicos, históricos, hidráulicos y estadísticos, en los cuales se utilizan fuentes de información, sistemática y no-sistemática, para la mejora en los análisis de frecuencia de inundaciones. Varias revisiones del estado del arte de aplicaciones de ese tipo se encuentran disponibles en la literatura técnica, ver por ejemplo Kidson y Richards (2005), Benito y Thorndycraft (2005), Baker (2008), Brázdil et al. (2006). Para el caso de las avenidas torrenciales, el uso de técnicas de la Dendrogeomorfología (es decir, sobre información extraída en raíces, troncos y ramas de árboles y arbustos localizados en determinadas posiciones geomorfológicas) permite mejorar las estimaciones de frecuencia (ver por ejemplo Díez et al., 2007), al igual que técnicas como las sugeridas en el “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de ordenación y manejo de Cuencas hidrográficas” (Minambiente, 2014). En este último de sistemas torrenciales se deberá seguir como mínimo lo planteado en el numeral 6.1.1.2.2.2.

Cuando es posible correlacionar los testimonios de los niveles históricos de inundación (y por ende caudal) y el análisis de frecuencias de las series de tiempo disponibles se puede llegar a una aproximación como la reflejada en la Figura 6-19. Allí se muestra, como ejemplo, una serie de tiempo en la que una misma afectación por inundación es reportada por 4 testimonios en los años 1974, 1981, 1991, 1996 y 2000. De esta manera, una aproximación al período de retorno de dicho evento viene dada por la relación entre el número total de años de los registros y el número de intervalos de eventos que están por encima del umbral de caudal identificado para esos eventos históricos por los testimonios t_1 , t_2 , t_3 y t_4 .

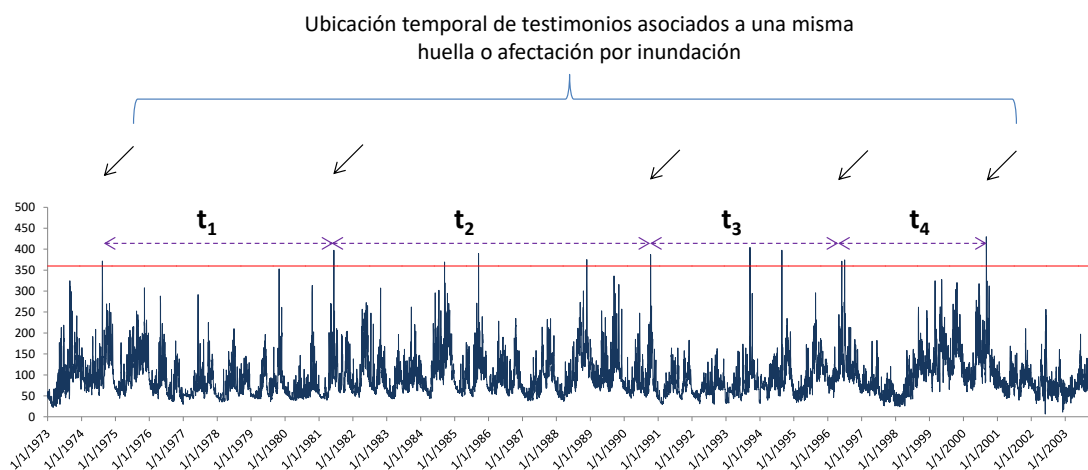


Figura 6-19. Cruce de información hidrológica y testimonios de la comunidad asentada en el corredor aluvial.
Fuente: Minambiente - UNAL, 2012

6.1.2.2.3 Establecimiento y evaluación del modelo hidráulico/hidrodinámico

Empleando la información batimétrica del cauce y la topográfica detallada de las llanuras inundables, así como sus características de rugosidad, puede configurarse un modelo hidráulico/hidrodinámico

que permita representar el movimiento del flujo de inundación para los eventos con los períodos de retorno de interés (15 o 100 años)

El análisis hidrodinámico se refiere a la caracterización de los procesos que suceden en la zona inundable, es decir, a la caracterización de la magnitud de la inundación con sus respectivos indicadores (profundidad, velocidad, sedimentos depositados, etc.). Debido a ello, las aplicaciones hidrológicas pierden fuerza, mientras las de la hidráulica, por su naturaleza, son las apropiadas (Salazar, 2013). Los modelos de inundación requieren datos distribuidos (e.g. topografía, fricción, extensión suficiente para validar) que en la actualidad pueden ser adquiridos desde el uso de información de sensores remotos (aéreos y satelitales), y en particular de técnicas hoy de amplio uso y costo/eficientes como las ya mencionadas LiDAR o SAR.

A partir de la caracterización de los tramos o áreas del cuerpo de agua, se establecerá el modelo de inundación, que será unidimensional en aquellos tramos de ríos con vertientes de topografías abruptas en donde los patrones de flujo están bien definidos y el componente transversal de la velocidad es despreciable (ríos rectos de montaña principalmente) y será bidimensional, en las llanuras inundables. En tal sentido, el modelo podrá ser híbrido, cuya aproximación es más eficiente en términos de representación de los procesos físicos, tanto en el cauce como en la llanura de inundación y consumo de tiempo en los procesos de cálculo.

Se tendrá como información de entrada la batimetría del cauce permanente y la topografía de la llanura inundable. Para ello podrán emplearse equipos topográficos que permitan obtener precisiones altitudinales de centímetros. Alternativamente, pueden emplearse productos topográficos obtenidos mediante tecnología LiDAR ("Ligth Detection And Ranging"), SAR ("Synthetic Aperture Radars") o similares, siempre que la precisión altimétrica sea también de centímetros. En cualquier caso, se requiere que la información permita generar curvas de nivel con diferencias máximo de 20 cm.

El levantamiento deberá diferenciar con claridad el cauce permanente de las llanuras aledañas al mismo; la extensión del levantamiento de estas últimas será establecida con base en la delimitación del componente geomorfológico y las recomendaciones de los correspondientes expertos.

Se asignarán valores de rugosidad a priori, con su respectiva verificación en campo mediante observación directa y deberán compararse con valores propuestos en estudios previos (Chow, 1994) con un respectivo análisis de sensibilidad.

Deben hacer parte del levantamiento topográfico, detalles de interés socio-económico que incluyen paramentos de edificaciones, trazado de redes de servicio público y privado, cercas, andenes, entre otros que susciten interés, desde el punto de vista del comportamiento hidráulico, a lo largo del corredor aluvial del tramo de interés.

Con la información batimétrica y topográfica se puede construir un modelo digital de elevación, el cual es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo "raster" con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. Si se requiere complementar la información topográfica, más allá de los levantamientos realizados, ésta se puede obtener desde productos globales disponibles de manera libre (ver numeral 4.2.2.2). Se deberán considerar los siguientes criterios:

a) Espaciamiento entre secciones

A lo largo del tramo de interés, se deben definir secciones perpendiculares al eje de la corriente. La separación longitudinal entre secciones será entre 4 a 6 veces el ancho del cauce permanente, el cual podrá estimarse mediante relaciones de geometría hidráulica. No obstante, si el espaciamiento calculado es menor a la resolución del Modelo Digital de Elevación (MDE) disponible, se recomienda emplear una separación igual a la resolución del MDE.

Por otro lado, la longitud de la sección debe ser superior al ancho del componente geomorfológico, delimitado de acuerdo con lo establecido en el numeral 6.1.1, en al menos dos veces dicho valor. Lo anterior con el fin de no restringir las condiciones de flujo dentro del modelo.

En cuerpos de agua de alta pendiente en los que es común encontrar arreglo de rápidas, caídas y pozos, se ha encontrado que la separación entre caídas varía hasta una vez el ancho de banca llena, (Jiménez y Wohl, 2013). No obstante, una regla simple para obtener secciones transversales y/o perfiles longitudinales representativos de las formas del lecho en este tipo de corrientes, es definir las en las zonas de caída (cresta) y en la zona más profunda de los pozos, siempre que las condiciones de acceso y seguridad así lo permitan (ver Figura 6-20).

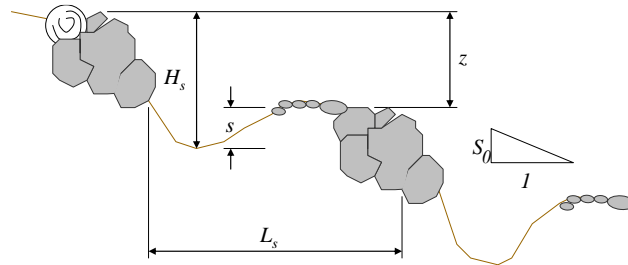


Figura 6-20. Sistemas escalón-pozo, o sistemas transicionales rápidas-pozo. H_s representa la altura de la caída, L_s la separación cresta a cresta, z la caída entre crestas y s la profundidad de socavación en el pozo. (Jiménez y Wohl, 2013)

Para corrientes trenzadas, Egozi y Ashmore (2008) proponen levantar secciones transversales con una separación equivalente a la cantidad al ancho medio de flujo para condiciones de caudal alto – AWW (por las siglas en inglés de *Average Wetted Width*), en una longitud como mínimo de 10 veces AWW (ver Figura 6-21). Con valores por encima de dicha longitud y nivel de detalle, es posible estimar con precisión descriptores del nivel de trenzamiento y de tipo morfológico para este tipo de corrientes.



Figura 6-21. Esquematización de la longitud mínima y nivel de detalle para una adecuada caracterización morfológica de ríos Trenzados (Tomada y modificada de Egozi y Ashmore, 2008).

De forma análoga, se ha encontrado que en cuerpos de agua de planicie la estimación de descriptores morfológicos es estable cuando se emplean secciones transversales separadas entre 4 a 6 veces el ancho de banca llena de la corriente. No obstante, para obtener secciones transversales representativas de las formas del lecho en este tipo de corrientes, una regla simple es definir las en las zonas de máxima y mínima curvatura del alineamiento del tramo, tal como se ilustra en la Figura 6-22.



Figura 6-22. Sistemas de planicie. (Minambiente y CORNARE, 2016).

b) Rugosidad

Dentro del modelo hidráulico debe emplearse un valor de rugosidad consistente con los mecanismos de disipación de energía característicos de cada tipo de morfología. La ecuación de Jarret (1984) o estimaciones indirectas con base en velocidades medias características de ríos de alta pendiente (Comiti et al., 2007) pueden emplearse para definir con mayor coherencia los coeficientes de rugosidad. En campo debe verificarse la rugosidad de los tramos mediante observación directa y comparando con valores propuestos en estudios previos (Chow, 1994).

Finalmente, para la evaluación del modelo se debe contar con información de eventos históricos para comprobar que se están representando adecuadamente los procesos físicos en el análisis. Para ello se requiere información desde niveles de inundación, su extensión y si aplica velocidades, así como registros de estaciones hidrológicas. Horritt y Bates (2002) discuten dos estrategias para la evaluación del comportamiento de los modelos, con sus potencialidades y falencias. Por un lado, se puede calibrar un modelo con un hidrograma observado, para luego ser evaluado por su capacidad para la reproducción de una mancha observada. El inconveniente es que los parámetros, identificados con un evento en concreto, pueden diferir ostensiblemente con los de otro distinto, lo cual reduce su capacidad predictiva. Para solventar lo anterior, un criterio de evaluación es la robustez del modelo frente a diferentes magnitudes de eventos, es decir, la comparación de la capacidad de reproducción de la extensión de inundación de un evento de baja magnitud frente a uno de alta (Salazar, 2013). De acuerdo con Bates (2004), la extensión de la inundación es una potente herramienta para calibrar y validar los modelos, ya que es la característica más fácil de determinar sobre escalas apropiadas, siendo inclusive soporte para un análisis de sensibilidad.

Una vez se tiene el modelo hidráulico/hidrodinámico evaluado, y se acepta es representativo del comportamiento del flujo tanto en el cauce como en la llanura inundable, se simulan los eventos para los períodos de retorno de interés (15 y 100 años de período de retorno según corresponda) para todos los tramos de la red de drenaje a los que se le definirá el límite físico de la ronda hídrica. El límite exterior alcanzado por la extensión a la que llega la inundación corresponderá al nivel máximo de la inundación para los respectivos períodos de retorno que apliquen.

6.1.2.2.4 Delimitar el componente hidrológico

Empleando la información topográfica detallada (tanto en el cauce permanente como en las llanuras inundables), así como de los resultados de las simulaciones del modelo hidráulico/hidrodinámico para los períodos de retorno de interés (15 o 100 años según corresponda) se puede obtener el polígono trazado a partir del cauce permanente, el cual corresponde al componente hidrológico de

la ronda hídrica. La escala de trabajo dependerá de las características de los tramos de estudio según sean en un área urbana o rural (Figura 6-23).

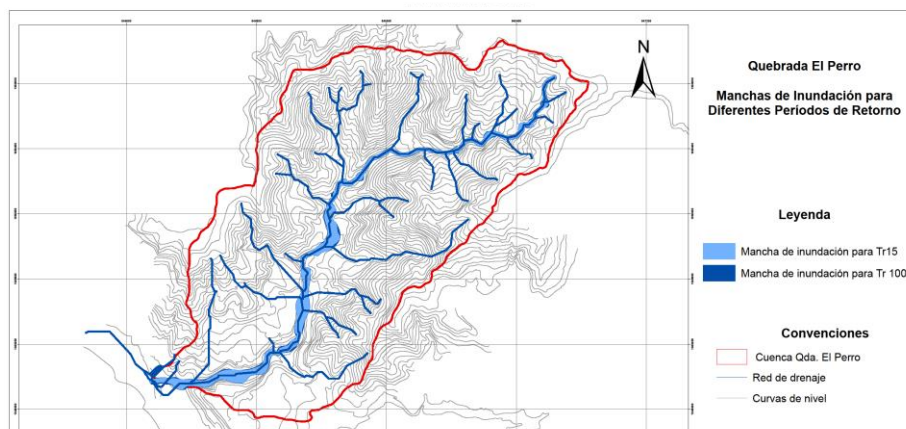


Figura 6-23. Componente hidrológico de la ronda hídrica en un sistema lótico. Ejemplo del cuerpo de agua principal de la Quebrada el Perro, Manizales (Minambiente y UNAL, 2013).

6.1.2.3 Procedimiento en sistemas lénticos

Tomando como referencia el análisis hidrológico que permitió definir el cauce permanente o lecho, se continúa el proceso para establecer el nivel máximo de inundación. En tal sentido, la información utilizada para la estimación del pulso de inundación será útil para definir el nivel máximo de la inundación para un período de retorno de 15 años. Adicionalmente, cuando hay carencia de información de estaciones hidrológicas, se puede obtener información desde sensores remotos, indicadores hidrológicos y conocimiento local como se describe a continuación.

6.1.2.3.1 Obtener información desde registros sistemáticos

Cuando se tienen registros sistemáticos de estaciones, bajo los criterios ya mencionados para la delimitación del cauce permanente o lecho del sistema léntico (5.2.4), el límite físico desde este componente será el nivel máximo anual con período de retorno de al menos 15 años y proyectado en la batimetría y topografía levantada. Para el análisis estadístico de los niveles máximos puede verse el numeral 6.1.2.2.2.

6.1.2.3.2 Obtener información de sensores remotos

Desde las imágenes de sensores remotos es posible detectar, para los períodos húmedos, el nivel máximo al que llegan los sistemas lénticos. Sin embargo, para la selección de imágenes, se debe garantizar que correspondan a las fechas de épocas húmedas, acorde con la información que presenten las estaciones hidroclimatológicas disponibles en el área de estudio. Si no se cuenta con estaciones dentro del humedal, el análisis se deberá realizar con la estación más cercana, con la finalidad de conocer las temporadas húmedas del área de estudio. Cuando exista información de diferentes períodos húmedos históricos, se deberá realizar análisis multitemporal que permitan inferir la posible frecuencia de presentación de cada uno de los períodos correlacionando con los datos de las estaciones.

Las imágenes desde sensores ópticos de alta resolución (e.g. Ikonos, Quickbird, Pleiades, Geoeye, Spot 6-7 y Rapideye), permiten observar con gran detalle los cuerpos de agua y la vegetación asociada a los sistemas lénticos, incluso cuando éstos tengan superficies pequeñas (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 (Rojas y Estupiñán-Suarez, 2016).

Desde los sensores de radar, según Rojas y Estupiñán-Suarez, (2016) se tienen las siguientes consideraciones: i) los que operan con la banda L (e.g. ALOS-PALSAR) son los más adecuados, dado que permiten identificar con bastante claridad los cuerpos de agua abiertos y aquellos que se encuentran bajo el dosel arbóreo; ii) los que operan con la banda C (e.g. Radarsat, Envisat-ASAR, Sentinel-1) pueden detectar de una manera aceptable los cuerpos de agua abiertos, mientras no lo hacen para los cubiertos por dosel arbóreo; iii) los sensores que operan en la banda X (e.g. Cosmo SkyMed, TerraSAR X) son los más limitados para la identificación de cuerpos 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.

6.1.2.3.3 Obtener información en campo

De acuerdo con Restrepo-Zambrano (2016), los indicadores hidrológicos son una herramienta de apoyo en la delimitación de los sistemas lénticos y éstos pueden ser: patrones de drenaje, líneas de flujo, depósitos de sedimentos, marcas de agua, registros históricos, observaciones de saturación del suelo y de inundaciones. Estos indicadores pueden ser verificados con relativa rapidez en campo y proveen información sobre inundaciones y saturación de agua en el suelo que pudo llegar a suceder eventualmente. A continuación, se describen tales indicadores a partir de Restrepo-Zambrano (2016).

6.1.2.3.3.1 Observaciones de inundación:

Este es el más sencillo indicador hidrológico, consiste en observar la extensión del área de inundación. Es importante tener en cuenta que en temporadas húmedas pueden existir áreas con agua superficial en zonas que no corresponden a áreas del humedal (correspondientes a eventos extremos), esta información se debe tener en cuenta al momento de realizar la inspección visual y corroborarse con otros criterios.

Es importante realizar la observación visual acompañado de un mapa, donde se pueda verificar y registrar 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.

6.1.2.3.3.2 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 por el suelo y entra en el espacio del apique. Es necesario esperar un tiempo hasta que el agua haya filtrado en su totalidad el suelo, esto puede variar dependiendo de la impermeabilidad de este último. El nivel de agua en el apique representa la profundidad del nivel freático. La profundidad de suelo saturado siempre será menor debido a la ascensión capilar.

6.1.2.3.3.3 Marcas de Agua:

Las marcas de agua de inundación pueden ser observadas fácilmente en arboles adultos o estructuras fijas como, casas, muros de ladrillo o concreto y postes. Es necesario tener en cuenta que cuando se encuentran múltiples marcas de agua, la más alta corresponde a la inundación más severa. Las marcas de inundaciones ubicadas en el área de estudio se deben mapear indicando los lugares donde se encontraron las marcas, 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 se puede obtener un dato histórico de un evento extremo que servirá para ser comparado con las series de datos históricas, si estas existen.

6.1.2.3.3.4 Líneas de Arrastre:

Este indicador se encuentra frecuentemente en cercanías de ríos o en sistemas muy fluctuantes o mareales. Es fácil identificar una serie de líneas de escombros de vegetación o acumulación de ramas y material vegetal al pie de objetos fijos como árboles, postes y muros. 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 sistema, de adentro hacia afuera y registrar la presencia de líneas de arrastre en el caso en que estas sean detectadas. Estas líneas de arrastre se deben registrar en un mapa, con la finalidad de identificar posteriormente el límite de la última inundación.

6.1.2.3.3.5 Depósitos de Sedimentos:

Plantas, árboles y otros objetos fijos generalmente tienen capas delgadas de sedimentos o restos de materia orgánica después de una inundación, por lo general este sedimento permanece en el mismo sitio hasta que es removido por el lavado de una precipitación o una siguiente inundación. Este sedimento puede ser empleado para establecer o dar indicios del nivel mínimo de inundación y de su extensión. Una característica de singular particularidad y que puede ser utilizada en la identificación de este indicador, es que cuando los sedimentos son principalmente orgánicos, como plantas hidrófilas o cualquier otro tipo de material orgánico, los detritos pueden llegar a incrustarse profunda o superficialmente entre el suelo después que la inundación ha retrocedido. Este indicador debe ser detectado y registrado en un mapa para que contribuya a reconstruir un perímetro de la última inundación en el humedal.

6.1.2.3.3.6 Patrones de drenaje:

Indicador que es muy frecuente en los humedales que tienen conexión con ríos o quebradas. Consiste en la evidencia superficial de canales de drenaje. Los canales de drenaje suelen no tener presencia alguna de agua la mayor parte del año, pero en ellos se puede evidenciar escombros de vegetación o troncos orientados perpendicularmente a la dirección del flujo en el momento de la inundación. La mayoría de los escombros arrastrados por la última inundación se pueden evidenciar a lo largo de estos canales de drenaje. La topografía del terreno debe ser considerada para tener en cuenta este indicador, ya que altas pendientes tienden a generar más patrones de drenaje. Este indicador debe ser mapeado registrando su ubicación para poder definir las marcas de la última extensión máxima del humedal.

6.1.2.3.4 Obtener información desde el conocimiento local:

El conocimiento local es fundamental para obtener información de niveles históricos a los que ha llegado el sistema léntico. Para ello, se deberán realizar entrevistas a los habitantes de la región que tengan relación en su vida cotidiana con el cuerpo de agua y en lo posible por un período de tiempo mayor a 15 años. Las técnicas de cartografía social a utilizar pueden ser las descritas para sistemas lóticos (6.1.2.2.1.2).

La información de las huellas del agua, en los niveles máximos del sistema léntico, deberán ser georreferenciadas e incorporadas en la cartografía para su posterior comparación con las otras fuentes de información (sensores remotos, indicadores hidrológicos, pulso de inundación).

6.1.2.3.5 Delimitar el componente hidrológico

Para delimitar el componente hidrológico del sistema léntico se deberán analizar las diferentes fuentes de información descritas anteriormente. A partir de éstas, será posible comparar en la cartografía los diferentes límites encontrados y su correlación. Finalmente, el límite deberá corresponder a aquel que tenga mayor coincidencia entre las fuentes cuando todas éstas se tengan. De lo contrario, se trazará con la información disponible en su orden: datos de niveles desde las estaciones y proyectados en la topografía, indicadores hidrológicos levantados en campo y con el conocimiento local que permitan inferir la frecuencia de los eventos históricos, información desde sensores remotos. El resultado se deberá trazar a partir del cauce permanente (Figura 6-24).

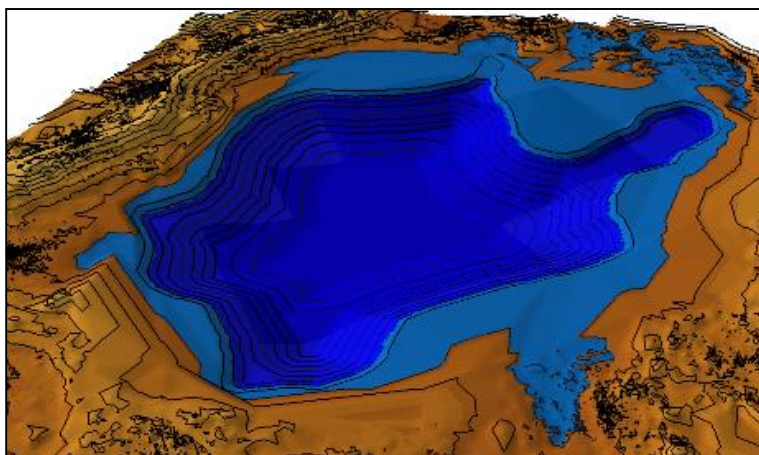


Figura 6-24. Componente hidrológico de la ronda hídrica de un sistema léntico: Humedal del Zancudo, Paz de Ariporo. Fuente: Adaptado desde el Convenio Interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

6.1.2.4 *Procedimiento en cuerpos de agua afectados por la dinámica marina*

En estos casos particulares deberá proyectarse el ascenso del nivel del mar para un período de retorno de 100 años y su influencia en el cuerpo de agua (lótico o léntico). Para ello se deberán utilizar, por ejemplo, técnicas de propagación dinámicas (OMM, 2011).

6.1.3 **Delimitación del componente ecosistémico**

Por "ecosistema" se entiende un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional (Ley 165 de 1994).

Las funciones ecosistémicas son los procesos físicos, químicos y biológicos que resultan de la interacción entre los componentes bióticos (flora y fauna) y abióticos (suelo, agua y atmósfera) de un ecosistema y son necesarias para su funcionamiento (Turner y Chapin, 2005; De Groot et al., 2002). Igualmente, son las condiciones y procesos mediante los cuales un ecosistema natural y las especies que lo habitan sostienen la vida humana (Daily, 1997). En este sentido, el componente ecosistémico de la ronda hídrica está asociado a las funciones ecosistémicas del cuerpo de agua y los componentes bióticos y abióticos de la ribera siendo su vegetación un elemento fundamental para dicho funcionamiento como ya se mencionó en la parte introductoria del marco conceptual. En tal sentido, la vegetación de ribera será el indicador del estado de funcionalidad de la ronda hídrica.

De acuerdo con Rudas (2009), la vegetación es uno de los componentes de los ecosistemas que mejor expresa las condiciones del hábitat donde se desarrolla ya que su presencia responde a las características propias del lugar; por esta razón puede ser considerada como el esqueleto de los sistemas biológicos terrestres, y de su caracterización o tipificación se pueden inferir las condiciones ambientales que prevalecen en una determinada región.

La vegetación de ribera varía de acuerdo con el tipo de cuerpo de agua y se extiende en función de la disponibilidad de humedad y de la resistencia a los desbordamientos de éste, por tanto, la presencia de vegetación está asociada a niveles freáticos elevados y a una alta capacidad de los suelos para retener humedad (Döring y Tockner, 2008).

Desde la ecología del paisaje, los corredores riparios son siempre elementos reconocibles y diferenciados de los alrededores por su forma, textura y por su estructura en conjunto en forma de red, y son considerados procesadores de flujos de energía, materia y seres vivos (Pinto-Correia, 2008, citando a varios autores). De este modo, los cuerpos de agua y los corredores riparios

asociados a ellos cumplen funciones como reguladores, proveedores y productores, entre las cuales están la retención de agua, el transporte y almacenamiento de materia orgánica, el almacenamiento y flujo de energía, el mantenimiento de recursos genéticos, la auto-limpieza, la aportación de hábitat y la contribución al equilibrio climático (De Groot, 2012; Pinto–Correia, 2008). Además, la estructura en forma de red de drenaje contribuye a la conectividad espacial de fragmentos a escala de paisaje, factor de gran relevancia para la dinámica de diversas especies.

También, como lo señala De Groot (2012), los corredores riparios cumplen una multitud de funciones de información y soporte, tanto a nivel rural como urbano, dado que contribuyen de forma notable a la belleza y diversificación del paisaje y de esta forma a su apreciación por diferentes usuarios; están implicados en la educación y la formación; además se utilizan para la recreación.

El componente ecosistémico de la ronda hídrica busca establecer, mantener o recuperar las coberturas vegetales propias de la región en los cuerpos de agua, de forma tal que se mantengan o restablezcan sus funciones ecosistémicas considerando los demás aspectos relacionados desde los componentes geomorfológico e hidrológico. La franja de terreno necesaria para que se den estas dinámicas delimitará este componente.

6.1.3.1 Criterios

6.1.3.1.1 Sistemas lóticos

Para su delimitación se tienen las siguientes consideraciones:

- Representan una zona de ecotono o transición entre el medio acuático y el medio terrestre aledaño a las corrientes, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al constituir un espacio compartido en los ciclos del agua, sedimentos y nutrientes.
- Favorecen la retención de agua y sedimentos, los suelos son en general profundos con elevada capacidad de infiltración y retención, de forma tal que representan una gran reserva hídrica para la vegetación.
- Ayudan en los procesos de almacenamiento evitando que, junto al agua y los sedimentos, se exporten los nutrientes y demás compuestos relacionados con la fertilidad de los suelos.
- La elevada rugosidad de los suelos riparios, debida a la frondosidad natural de la vegetación y a la presencia de residuos orgánicos, disminuye la velocidad de las escorrentías o aguas de inundación, favoreciendo su infiltración y la recarga de los acuíferos.
- La presencia de la vegetación contribuye a la estabilidad de las orillas a través de su sistema radicular, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente, dado que la presencia de raíces aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad de las aguas.
- La presencia de amplias franjas riparias, con suelos permeables y bajo coeficiente de escorrentía, retrasa la formación de avenidas, disminuyendo el porcentaje de agua lluvia que llega a los cauces.
- El aporte de materia orgánica de la ribera al cauce permanente es una de las principales fuentes de energía para el inicio de las cadenas tróficas en el medio acuático.
- La continuidad de la vegetación de las riberas permite la formación de corredores biológicos a través de los cuales se favorece el movimiento y dispersión de muchas especies que encuentran allí refugio y alimento.
- El mantenimiento de la vegetación riparia está ligado a la dinámica fluvial, a través de la cual se establecen las condiciones iniciales de colonización y germinación de las semillas sobre los diferentes sustratos resultantes de los procesos de erosión y sedimentación.

El bosque ripario ayuda a mejorar la calidad del agua actuando como filtro para los nutrientes, impidiendo su incorporación a las aguas del cauce y retrasando su eutrofización. Así mismo, en las riberas queda atrapado un porcentaje muy elevado de sedimentos, reduciendo con ello los sólidos en suspensión de las aguas. También la presencia del bosque ripario sombrea el cauce, con lo cual se disminuye la temperatura del agua y se mejora su contenido en oxígeno disuelto. Este efecto de sombreado también regula la entrada de luz en el agua y el crecimiento de las algas.

Varios estudios destacan la importancia de los corredores fluviales en el paisaje, incluyendo el medio acuático y su franja de contacto con el medio terrestre, donde se asienta una vegetación característica de cada zona climática (Prosser et al., 1999). Estos corredores controlan los flujos de agua, sedimentos y nutrientes del entorno, estableciendo a partir de ellos gradientes de humedad y temperatura que influyen en las características y utilización de los terrenos adyacentes. Desde la perspectiva espacial y paisajística, para analizar las características del paisaje fluvial es necesario considerar dos conceptos relativos a su carácter de corredor: la altura relativa en el entorno y la conectividad.

La altura relativa del corredor en el entorno es una característica íntimamente ligada a la vegetación riparia. Su importancia es mucho mayor en relieves llanos, donde el bosque ripario constituye un elemento vertical de suma importancia, que en zonas montañosas donde la altura de las laderas de la cuenca domina el paisaje bajo del valle. En zonas secas, la altura del componente arbóreo de la vegetación riparia es la característica más notable en el corredor fluvial, siendo mayor que la del entorno, donde a veces domina el matorral; en estas zonas secas existe un gradiente de humedad muy marcado con la distancia al eje del río, lo que restringe la extensión de la zona de ecotono o transición entre el ecosistema acuático y terrestre. De esta forma surgen los bosques riparios de carácter lineal, aunque el relieve favorezca su extensión potencial, la cual queda muy limitada por falta de agua en el suelo. En zonas más húmedas, surgen bosques riparios con una extensión mucho mayor. En este caso la altura del corredor ripario es similar a la de la vegetación del entorno y no existe un contraste tan marcado entre ambos tipos de vegetación arbórea en cuanto a biomasa y productividad, compartiendo algunas especies de su composición florística, como también sucede en las cabeceras de los ríos de las zonas más secas (Prosser et al., 1999).

La conectividad o continuidad espacial del corredor determina la eficacia de su estructura para el tránsito y dispersión de las especies a lo largo del mismo. En las riberas, esta conectividad se mantiene a través de la continuidad de la vegetación riparia, ofreciendo para muchas especies no sólo refugio sino también alimento, zonas de nidificación, de cría, entre otras. En muchas regiones, las riberas constituyen el único refugio que existe para la dispersión de numerosas especies y llegan a ser enclaves muy valiosos para su supervivencia al constituir las únicas zonas con vegetación arbórea. Chen (1991) encontró que las temperaturas del suelo y del aire, la velocidad relativa del viento, la humedad del suelo y la radiación solar cambian con el incremento del ancho de la franja riparia, medida, como una proporción de la altura (H) del árbol más abundante, frecuente y dominante (lo que caracteriza el Índice de Valor de Importancia -IVI), desde la orilla del cauce permanente. Cuando la franja riparia alcanza una longitud equivalente a tres veces H, todas las variables alcanzan una efectividad acumulada del 100% (Figura 6-25), situación que favorece positivamente los procesos biológicos que se dan en ella (Chen, 1991; Chen et al., 1999; FEMAT, 1993).

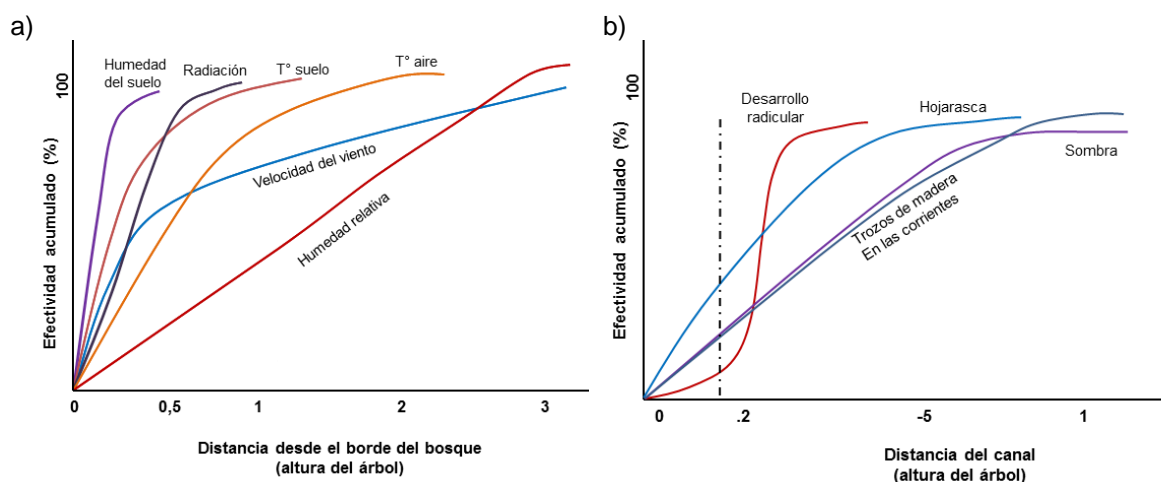


Figura 6-25. Efectos del ancho de la franja riparia en: a) el microclima; b) favorecimiento de procesos biológicos. Adaptado de Chen (1991).

La altura (H) de los árboles dominantes de una comunidad vegetal constituye una variable clave para la definición del componente ecosistémico de la ronda hídrica. A partir de ella se puede definir la distancia mínima de una franja riparia que permita establecer, mantener o inducir las condiciones para el desarrollo de comunidades animales y vegetales y demás funciones señaladas con anterioridad. La delimitación del componente ecosistémico debe considerar además la relación del ancho de la franja con la densidad de drenaje, es decir, zonas con baja densidad de drenaje deberán tener franjas más anchas y viceversa. La densidad de drenaje se definirá de acuerdo con las unidades geomorfológicas definidas en el componente geomorfológico (ver numeral 6.1.1).

6.1.3.1.2 Sistemas lénticos

El criterio que se utiliza es la existencia de biota relacionada con la dinámica de los sistemas lénticos, la cual sea indicadora de su límite físico en función de las particularidades de su ciclo biológico relacionado con la existencia de agua de manera permanente, periódica u ocasional.

De acuerdo con la capacidad o necesidad de una planta de vivir en condiciones de humedad, se pueden establecer varias categorías (Environmental Laboratory 1987): i) Hidrófitas obligadas (HO): las que sólo sobreviven en condiciones de humedad o saturación hídrica; Facultativas de humedad (FH): Prefieren condiciones hídricas, pero pueden tolerar estados de sequía de cortos períodos. Necesitan la interfase acuática para completar su ciclo de vida; Facultativas (F): Tienen la capacidad de crecer indistintamente en suelos de humedales o de tierra firme; Facultativas de Tierra Firme (FTF): Prefieren condiciones de tierra firme, pero pueden tolerar estados de inundación de cortos períodos. Necesitan la interfase terrestre para completar su ciclo de vida; Terrestres obligadas o de Tierra Firme (TF): No soportan estados de saturación de agua en los suelos.

De acuerdo con lo presentado por Prieto-Cruz et al. (2016), se pueden presentar cuatro clases de vegetación desde sus formas de vida, las cuales se transcriben a continuación:

- 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 enraizados al sustrato o flotan libremente en el agua. Ejemplos: espigas de agua (todas las especies de *Potamogeton*), miriofilo (*Myriophyllum* spp.), jopozorra (*Ceratophyllum* spp.), buchón (*Eichonia crassipes*), nenúfares (*Nymphaea* spp.), etc.
- 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.
- 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.
- Terrestres obligadas o de tierra firme: no soportan estados de saturación de agua en los suelos. Ejemplos: *Machaerium arboreum*, *Hymenaea courbaril*, etc.

En cualquiera de las clasificaciones que se adopte, el límite del sistema léntico desde el componente ecosistémico se realizará desde el cambio identificable de vegetación asociada a la existencia de condiciones húmedas y la vegetación terrestre o de tierra firme.

6.1.3.2 Procedimiento en sistemas lóticos

Los insumos, actividades y productos esperados del análisis del componente ecosistémico de las rondas hídricas, cuando es el caso de geoformas identificables, se resume en la Figura 6-26. Cuando es el caso de geoformas no identificables en zonas urbanas se debe considerar lo establecido en el numeral 6.1.3.4 para el caso respectivo.

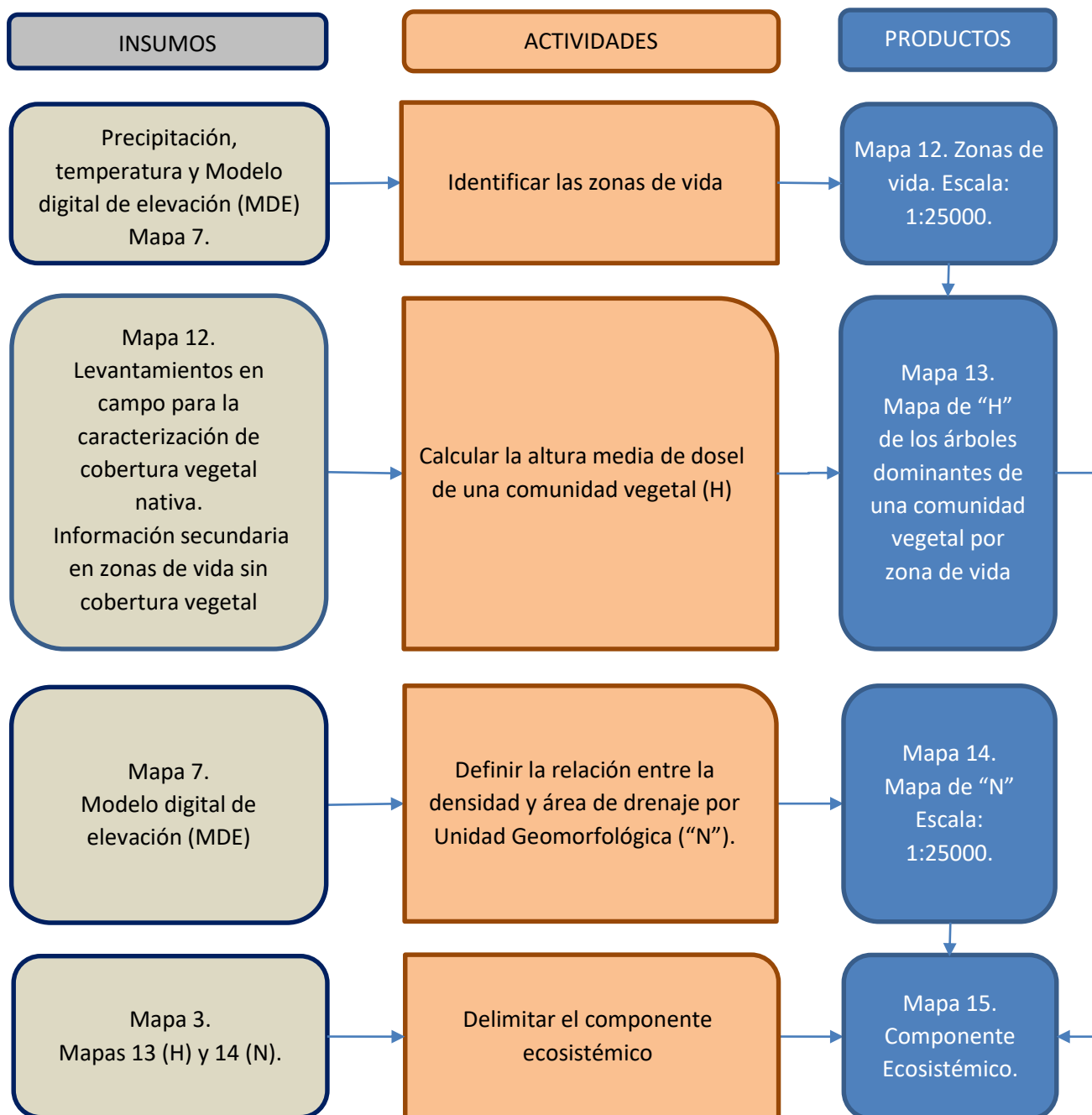


Figura 6-26. Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico.

Los insumos requeridos se resumen en la Tabla 6-6. Para delimitar el presente componente, el primer paso a realizar es la definición de las zonas de vida de la cuenca y la altura representativa de las comunidades vegetales que las componen. Posteriormente se calcula la densidad de drenaje por unidad geomorfológica y el área acumulada o aferente a cada punto de la red de drenaje objeto de estudio. El siguiente paso es la definición de la relación N entre la densidad de drenaje y el área aferente a partir del cual se establece el ancho de la franja según relación $N \cdot H$. A partir del polígono de cauce permanente se genera la cartografía donde se define la franja correspondiente al componente ecosistémico.

Tabla 6-6. Insumos base para la delimitación del componente ecosistémico.

Base temática	Escala de referencia	Especificaciones técnicas	Observaciones
Zonas de vida	1:25000	Definición de zonas de vida para la cuenca de interés. Si no existe dicho mapa como información secundaria, se deberá construir de acuerdo con la metodología de Holdridge (1987) a partir de información climática (precipitación y temperatura) y altitudinal. Se debe tener como insumo final el mapa de zonas de vida como mínimo.	El nivel de detalle en la interpretación se deberá adaptar a la escala de trabajo (1:25000).
Geomorfología	1:25000	Mapa de unidades geomorfológicas para la cuenca de estudio tomado del componente geomorfológico. Se tendrán en cuenta los insumos producto de otras herramientas de planificación existentes en el área aprobado por la Autoridad Ambiental (si existen) como por ejemplo el POMCA.	Dado que la delimitación del componente ecosistémico considera la densidad de drenaje por unidad geomorfológica se debe contar con esta información para toda la cuenca.
Relieve	1:25000	Modelo digital del terreno considerado en los otros componentes	Servirá de insumo en el análisis de densidad de drenaje y áreas aferentes para el cálculo de N.
Caracterización florística-estructural de las zonas de vida	NA	Caracterización florística y estructural de la comunidad vegetal de cada zona de vida definida en el numeral anterior.	Esta información se obtiene a partir de inventarios forestales o por inferencia si no se cuenta con cobertura vegetal nativa.
Determinación de H	NA	Altura media de las tres (3) especies más representativas de cada zona de vida de la cuenca de interés.	El valor de H varía a lo largo de la red de drenaje en función de la zona de vida.

6.1.3.2.1 Identificar las zonas de vida

Según Holdridge (1987), una zona de vida (Figura 6-27) es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo.

Para determinar las zonas de vida de la cuenca objeto de estudio se requieren datos de biotemperatura media anual (calculada a partir de la temperatura media anual), precipitación media anual y la elevación sobre el nivel del mar.

La precisión del cálculo de la zona de vida depende de la información climática disponible. En cualquier caso, la representación espacial del campo de temperatura y el de precipitación media, así como la altitud, deben tener como mínimo una escala equivalente a 1:25000 (si es formato "raster" celdas con tamaño de 12.5 metros como mínimo de acuerdo con las equivalencias planteadas por Tobler, 1987; 1988). En dado caso que exista un modelo digital de elevación con mayor precisión (e.g. celdas con tamaños menores) los campos de temperatura y precipitación deben estimarse aprovechando tal información.

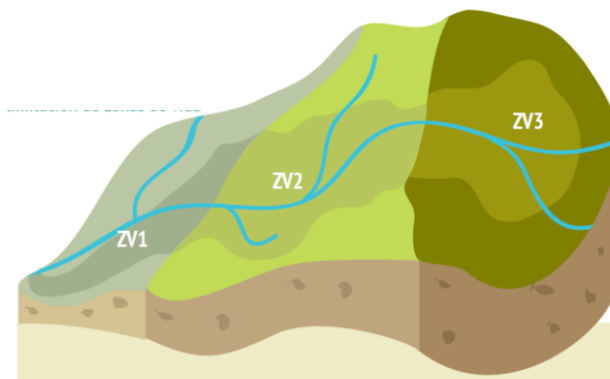


Figura 6-27. Identificación de zonas de vida (ZV) de acuerdo con Holdridge (1987).

6.1.3.2.2 Calcular la altura media de dosel de una comunidad vegetal “H”

El cálculo de la altura media del dosel de una comunidad vegetal (H) busca caracterizar la vegetación nativa que exista o haya existido en la cuenca, no la cobertura vegetal intervenida a nivel de plantaciones forestales, bosques intervenidos, cultivos, pastos o cualquier otra cobertura que no corresponda a las condiciones naturales.

La altura H, constituye una característica estructural de fácil medición que representa el dosel medio de una comunidad vegetal, la cual permite delimitar una faja que busca establecer, mantener o inducir las condiciones para el desarrollo de comunidades animales y vegetales de un ecosistema particular. En este sentido, Chen (1991) afirma que cuando la franja riparia alcanza una longitud equivalente a tres veces H, la temperatura del suelo y del aire, la velocidad relativa del viento, la humedad del suelo y la radiación solar alcanzan una efectividad acumulada de 100% (Figura 6-25), situación que favorece positivamente los procesos biológicos que se dan en ella (Chen, 1991; Chen et al., 1999; FEMAT, 1993). En el cálculo de H se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

6.1.3.2.2.1 Caracterización florística y estructural de las zonas de vida en cobertura vegetal nativa

Con las zonas de vida definidas y representadas espacialmente se realiza el reconocimiento de las coberturas vegetales actuales. En caso de existir cobertura vegetal nativa se debe garantizar un área suficiente en la que se pueda caracterizar la comunidad vegetal sin incurrir en sesgos por efectos de borde. Se debe tener en cuenta que la delimitación y análisis de unidades vegetales es una de las herramientas más empleadas en la evaluación ecosistémica, dado que la vegetación agrupa la mayor proporción de biomasa de los ecosistemas y refleja la influencia del complejo ambiental.

Una vez definida el área, se deberá realizar un inventario forestal que capture información de especies y altura de la comunidad vegetal de cada zona de vida, para lo cual se sugiere consultar la metodología de caracterización florística definida en el Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad (Villarreal et al., 2004).

Con los resultados del inventario se procede al cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) como indicador de la importancia fitosociológica de una especie dentro de un ecosistema forestal. Para su cálculo se utilizará el método desarrollado por Finol (1971), el cual evalúa un índice de importancia de cada especie y aporta elementos cuantitativos fundamentales en el análisis ecológico, como la densidad y la biomasa (por especie y por parcela). Esta última, un elemento básico para interpretar la productividad de un sitio, la cual depende en gran medida del bioclima y de los recursos edáficos. El índice se calcula mediante la Ecuación 5:

$$IVI = A_R + D_R + F_R \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

AR: Abundancia relativa

DR: dominancia relativa

FR: frecuencia relativa

Nota: El IVI se calcula para árboles con diámetro mayor a 10 cm y altura superior a 3 m.

a) Abundancia Relativa (A_{Ri})

$$A_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$A_{Ri} = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1...n} A_i} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

A_i = Abundancia absoluta de la especie i.

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

$\sum A_i$ = Sumatoria del número de individuos totales de la muestra.

b) Dominancia Relativa (D_{Ri})

$$D_i = \left(\frac{s_i}{S} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$D_{Ri} = \left(\frac{D_i}{\sum_{i=1...n} D_i} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

D_i = Dominancia absoluta de la especie i.

s_i = Área basal en m^2 de la especie i (m^2)

S = Área basal de todas las especies (m^2)

c) Frecuencia Relativa (F_{Ri})

$$F_i = \left(\frac{f_i}{F_t} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$F_{Ri} = \left(\frac{F_i}{\sum_{i=1...n} F_i} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

F_i = Frecuencia absoluta de la especie i.

f_i = Número de parcelas en las que aparece la especie i.

F_t = Número total de parcelas

De acuerdo con los resultados del índice, se identifican las tres (3) especies con mayor IVI y se procede al cálculo del promedio de la altura media de estas especies, lo cual conforma el parámetro estructural H.

6.1.3.2.2.2 Caracterización florística y estructural de las zonas de vida sin cobertura vegetal nativa

Una vez realizado el reconocimiento de campo y comprobado que no se encuentran coberturas vegetales que cumplan las condiciones señaladas en el numeral anterior, la variable "H" debe inferirse considerando las siguientes alternativas:

- i) Cuando se disponga de inventarios o estudios de caracterización florística que permitan identificar las especies de mayor importancia en cada ecosistema, se emplearán los valores medios de altura extraídos de la información secundaria y se compararán con registros de la misma especie consolidados en herbarios y centros de investigación.
- ii) Cuando no se disponga de información secundaria, pero existan ecosistemas boscosos propios de la zona de vida con similitud hidrológica (respuesta hidrológica, pendiente media de la cuenca, área de la cuenca, etc.), geomorfológica (unidades geomorfológicas a escala regional y tipos de suelo) y climática (precipitación media y régimen climático), se deberá caracterizar la cobertura vegetal para el cálculo del IVI. H se calculará de acuerdo con lo planteado en caso de existir cobertura vegetal.

6.1.3.2.3 Definir la relación entre la densidad y área de drenaje por unidad geomorfológica (N)

La relación entre la densidad y área de drenaje por unidad geomorfológica se denominará en adelante "N". De esta manera se expresa la relación natural del patrón de drenaje y la morfología del territorio. Para el cálculo de N se emplea una tabla de doble entrada en la que se relacionan el área de la cuenca aferente en Km² y la Densidad de drenaje en Km/Km² (Tabla 6-7).

La franja ecosistémica, será menor en las corrientes que posean alta densidad de drenaje y áreas aferentes menores y será mayor en las corrientes que posean baja densidad de drenaje y áreas aferentes mayores.

Tabla 6-7. Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012

Área de cuenca aferente (km ²)	Valor de N		
	Densidad drenaje		
	Baja < 1.5 km/km ²	Media 1.5 - 3.0 km/km ²	Alta > 3 km/km ²
0 < A ≤ 1	2,0	1,5	1,0
1 < A ≤ 10	2,5	2,0	1,5
10 < A ≤ 100	3,0	2,5	2,0
100 < A ≤ 1000	3,5	3,0	2,5
1.000 < A ≤ 10.000	4,0	3,5	3,0
10.000 < A ≤ 100.000		4,0	

6.1.3.2.3.1 Definición de unidades geomorfológicas (UG)

Las unidades geomorfológicas en escala 1:25000 serán las definidas por el componente geomorfológico (ver numeral 6.1.1).

6.1.3.2.3.2 Cálculo de la Densidad de drenaje (Dd) por UG

Con el fin de precisar la identificación del patrón de drenaje de las corrientes de la cuenca, la densidad de drenaje será calculada respecto al área de cada unidad geomorfológica (Figura 6-28) a escala regional (1:25000). Esta franja será menor en las corrientes que posean alta densidad de drenaje y mayor en las corrientes que posean baja densidad de drenaje.

Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman su sistema fluvial, expresada en km, y el área total de la cuenca, expresada en km². La longitud de los drenajes asociados a cada unidad geomorfológica se calcula a partir de la red de drenaje a escala 1:25000 definida en el componente hidrológico (ver numeral 6.1.2).

La densidad de drenaje (Dd) se calcula con la Ecuación 12.

$$D_i = \frac{L_i}{A_i} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

D_i = Densidad de drenaje de la unidad geomorfológica i (km/km²).

L_i = Longitud de drenaje asociado a la unidad geomorfológica i (km).

A_i = Área de la unidad geomorfológica i (km²).

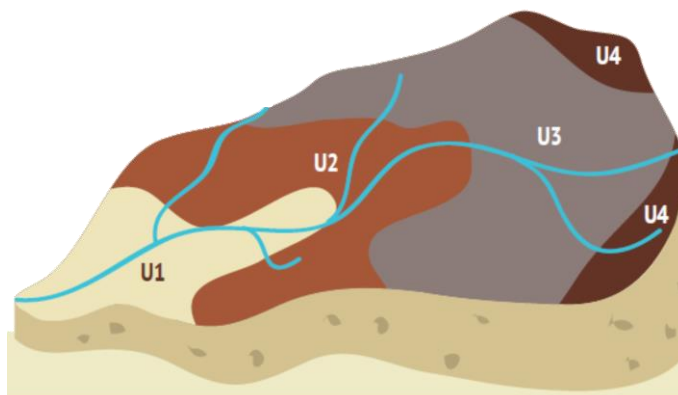


Figura 6-28. Determinación de la densidad de drenaje por unidad geomorfológica (U).

Posteriormente, y generalizando los resultados del estudio de densidad de drenaje en 1283 cuencas en el departamento del Tolima – Colombia realizado por Londoño (2001), se clasifica la categoría de la densidad de drenaje (considerando cartografía a escala 1:25000) de acuerdo con la Tabla 6-8.

Tabla 6-8. Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje. Fuente: Londoño (2001).

Densidad de drenaje (Dd)		
Baja	Media	Alta
< 1.5 km/km ²	1.5 - 3.0 km/km ²	> 3 km/km ²

Para verificar la pertinencia de adoptar esta escala de clasificación, se calculó la densidad de drenaje en zonas del país con topografía diferente, como se presenta en la Tabla 6-9. Es importante anotar que en zonas donde se ha afinado la red de drenaje mediante métodos de reducción de escala se intensifica la red de drenaje y por lo tanto se sobreestima la densidad de drenaje en estas cuencas. Para la definición de la red de drenaje se recomienda hacer uso de la cartografía oficial del IGAC a escala 1:25000.

Tabla 6-9. Cálculo de densidades de drenaje para diferentes cuencas de Colombia a escala 1:25000.

Plancha IGAC	Cuenca	Longitud (Km)	Área (Km ²)	Densidad de drenaje (Km/ Km ²)	Jurisdicción
90IIA	Turbo-Apartadó	160.13	123.61	1.30	CORPOURABÁ
104IIIC	Ituango	485.18	145.64	3.33	CORPOURABÁ
129IIIA	Urrao	368.04	140.00	2.63	CORPOURABÁ
167iiib	La Pintada	666.99	147.28	4.53	CORANTIOQUIA
83IIIB	Caucasia	228.53	84.66	2.70	CORANTIOQUIA
60IB	Montería	688.76	951.28	0.72	CVS
116	La Mosca	1359.03	154.50	8.80	CORNARE
131IVB	Altiplano	539.56	53.88	10.01	CORNARE

6.1.3.2.3.3 Cálculo de áreas acumuladas

Para calcular el área aferente en cada punto de la red de drenaje se utiliza el mapa de áreas acumuladas (A_a) en formato "raster" obtenido a partir del procesamiento del Modelo Digital de Elevación (MDE) de mejor resolución espacial que se disponga. El mapa de áreas acumuladas (A_a)

contiene información del área de la cuenca aferente a cada punto de la red de drenaje. Los valores obtenidos para cada celda se reclasifican de acuerdo con los rangos propuestos en la Tabla 6-10.

Tabla 6-10. Rangos de clasificación de áreas aferentes. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.

Área de cuenca aferente (km ²)	Clase
$0 < a \leq 1$	1
$1 < a \leq 10$	2
$10 < a \leq 100$	3
$100 < a \leq 1000$	4
$1.000 < a \leq 10.000$	5
$10.000 < a \leq 100.000$	6

6.1.3.2.4 Delimitar el componente ecosistémico

El límite del componente ecosistémico comprende, además de la altura de los árboles representativos de la zona de vida (H), la relación entre la densidad de drenaje de las corrientes y el área de la cuenca aferente (N), la cual varía de acuerdo con el cuerpo de agua analizado. Lo anterior se estima de acuerdo con la Ecuación 13.

$$\text{Componente ecosistémico} = H_i * N_i \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

H_i = Altura media de las especies representativas de la zona de vida en el pixel i (m)

N_i = Relación de la densidad de drenaje con el área de la cuenca aferente en el pixel i.

Una vez obtenido el valor numérico en cada pixel de la red de drenaje, se reclasifica en formato "raster" para trazar el componente ecosistémico, en la horizontal, a partir del cauce permanente horizontal, como se observa en la Figura 6-29. Cuando las condiciones geomorfológicas impiden el trazado del componente ecosistémico de la misma manera a cada margen del cauce permanente en algún tramo del cuerpo de agua (e.g. existencia de un talud vertical en alguna margen) se deberá compensar el ancho total del componente sumando, en el mismo tramo, en la otra margen, el ancho faltante.

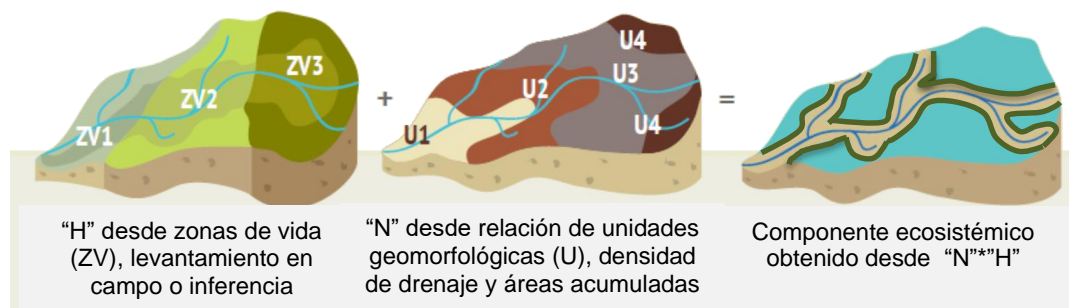


Figura 6-29. Esquema de delimitación del componente ecosistémico (línea verde)

Nota: La definición de las zonas de vida, las unidades geomorfológicas regionales y el cálculo de la densidad de drenaje asociada a las respectivas unidades geomorfológicas se realizan a escala 1:25000. Sin embargo, la definición del cauce permanente a partir del cual se delimita el componente cobertura se realiza a escala de detalle de 1:5000 o mayor. Por tanto, la escala de cálculo del componente cobertura es mínimo 1:25000, pero la escala de salida la determina la escala empleada para la delimitación del cauce permanente.

6.1.3.3 Procedimiento en sistemas lénticos

Parte del siguiente contenido ha sido extractado y adaptado de Prieto-Cruz et al., (2016).

Los límites físicos de la ronda hídrica de un sistema léntico permanente es relativamente sencillo dado que presentan una lámina de agua más o menos constante a lo largo del año y con ella es posible diferenciar las tipologías de vegetación existente. Sin embargo, muchos sistemas lénticos presentan fluctuaciones periódicas en su extensión, originadas por los ritmos hidrológicos que aparentemente hacen que el área se expanda y contraiga y la definición de límite allí puede prestarse a diversas interpretaciones puesto que el ecotono o zona mélica no siempre está claramente definido. Para establecer los límites de la ronda hídrica con base en la vegetación, se deben seguir las siguientes actividades:

6.1.3.3.1 Analizar información secundaria

Los límites de los sistemas lénticos no son fijos ni están claramente definidos; normalmente se presenta un ecotono o zona transicional entre el ambiente acuático y la zona de tierra firme, que va variando gradualmente en sus características hidrológicas y de vegetación y que puede cubrir desde unos pocos centímetros como en un lago de alta montaña 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).

La presencia de plantas depende de su tolerancia al agua, 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.

Inicialmente se deben desarrollar los siguientes pasos de revisión, interpretación de la información disponible en el contexto de delimitación y planeación:

- a) Consulta de estudios previos de caracterización, identificación o delimitación del humedal. En los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas o Planes de Manejo Ambiental.
- b) Compilación de documentos de diferentes fuentes bibliográficas (artículos científicos, tesis, literatura gris, informes técnicos, boletines, entre otros), que contenga información sobre vegetación o estudios florísticos realizados en el humedal y que permitan consolidar un listado de las especies registradas en el área de interés. Algunos de los sitios donde se puede encontrar información son:
 - Tesis: consultar los repositorios institucionales de las universidades.
 - Artículos científicos: desde los motores de búsqueda de bibliografía o desde las revistas a nivel nacional e internacional que publican documentos de caracterización de humedales (e.g. Biota Colombiana, Caldasia, Actualidades Biológicas, Revista de la Facultad de Agronomía, Cespadesia, Orinoquia, entre otras) se puede obtener información desde estudios realizados en el sistema de interés. Libros de información general sobre biología y ecosistemas de diferentes regiones de Colombia que pueden ser consultados donde se obtendrá descripciones y caracterizaciones de humedales: i) Serie Colombia Diversidad Biótica, publicado por el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional¹¹; ii) Serie de Regiones de Colombia, publicado por el Banco de Occidente.¹²

¹¹ www.colombiadiversidadbiotica.com.

¹² http://imeditores.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=43&Itemid=174

- c) 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 de especies registradas. Algunas fuentes que se pueden consultar son: el sistema de información en biodiversidad SIB¹³, herbario del Instituto Alexander von Humboldt¹⁴, Herbario Nacional Colombiano¹⁵, herbario de la Universidad Distrital¹⁶, herbario del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi¹⁷.
- d) Consulta de documentos históricos respecto al sistema léntico, que puedan orientar respecto a sus características iniciales o antecesoras al momento del ejercicio, el uso que ha tenido, los cambios y su dinámica en general.
- e) Adquisición de cartografía, fotografías aéreas, imágenes de sensores remotos como satélite o radar, etc.
- f) Revisión de imágenes satelitales y fotografías aéreas mediante la interpretación multitemporal (que abarque varios años) y multiestacional (que abarque temporadas de lluvia y sequía) para definir la heterogeneidad espacial del humedal. Ésta debe enfocarse en identificar los tipos de vegetación que circundan el humedal. La interpretación de la heterogeneidad en la vegetación preferiblemente debe ir asociada y realizada en conjunto con la interpretación de la dinámica hidrológica.
- g) Identificación de los factores que afectan el drenaje de agua superficial y subterránea y los patrones de estancamiento. Se deben determinar las características naturales o inducidas por acción antrópica que puedan estar afectando la funcionalidad de la ronda hídrica del sistema léntico. Las obras de infraestructura como canalizaciones, desagües, jarillones, terraplenes, afectan el flujo natural del agua y los límites del sistema aparentemente pueden verse modificados. Los documentos históricos y las imágenes multitemporales pueden ayudar a evidenciar estos cambios espaciales introducidos por el hombre. A partir de esto se deben identificar las diferentes zonas dentro del límite físico y definir el lugar de ubicación de los transectos en el mapa, la imagen o fotografía.

Una vez definida la heterogeneidad vegetal del sistema léntico, se debe proceder al diseño del muestreo. Se deben 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 conforman el cauce permanente y la ronda hídrica.

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 poder observar la variación gradual desde la vegetación netamente hidrófila hasta la completamente terrestre. La longitud de los transectos, así como el número de estos varía dependiendo de la dinámica propia de cada sistema, el tamaño y las características encontradas.

6.1.3.3.2 Realizar levantamiento de información en campo

Para establecer la vegetación que domina las zonas transicionales a partir de los transectos establecidos en la fase preliminar, se debe proceder a realizar la verificación en campo. Se deberá seguir la ruta de trabajo de dieciocho pasos, las fuentes de información y los criterios para definir el número de transectos y levantamientos a evaluar planteados en Prieto-Cruz et al. (2016).

6.1.3.3.3 Analizar información obtenida en campo

Se deberá sistematizar la información obtenida en campo con el objeto de definir las dominancias de las especies típicas de humedal o de tierra firme. Para ello deberá seguirse el procedimiento descrito en Prieto-Cruz et al., (2016) para tener la composición de especies de la zona transicional,

¹³ www.sibcolombia.org

¹⁴ <http://www.humboldt.org.co/es/servicios/colecciones-biologicas/herbario-federico-medem>

¹⁵ <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>

¹⁶ <http://herbario.udistrital.edu.co/herbario/>

¹⁷ http://www.sinchi.org.co/coleccionesbiologicas/index.php?option=com_herbario_v_oc&Itemid=29

listados de especies por categoría de humedad e índices de dominancia en la interfase tanto para la vegetación de tipo rasante y herbácea como para la vegetación de tipo arbustiva y arbórea.

6.1.3.3.4 Delimitar el componente ecosistémico

De acuerdo con Prieto-Cruz et al., (2016), los valores de importancia (*VI*) determinan cuáles especies (e.g. hidrófitas, helófitas, higrófitas o de tierra firme) 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. Para su evaluación, se deberá seguir el procedimiento presentado en Prieto-Cruz et al., (2016).

Dentro de las zonas sugeridas por Prieto-Cruz et al., (2016), el límite externo de la denominada “Zona intermitente del humedal” será la que defina el componente ecosistémico del sistema léntico. Lo anterior debido a que es la “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, helófitas, higrófitas y especies de tierra firme.” En tal sentido, el componente ecosistémico de los sistemas lénticos se trazará a partir de su cauce permanente y hasta el límite externo de la “zona intermitente del humedal” teniendo como producto final el respectivo mapa.

6.1.3.4 Consideraciones especiales

Se presentan las siguientes especificaciones, para determinar el componente ecosistémico para los siguientes casos:

Nacimientos de agua. Los nacimientos son sitios, que al igual que las corrientes, tienen una zona correspondiente al componente ecosistémico en la cual se debe mantener la vegetación natural. Esta zona se determina mediante la circunferencia mínima definida por un radio de 4H y en ningún caso será menor a 100 m según lo establecido en la normatividad vigente (literal a) del numeral 1. del artículo 2.2.1.1.18.2. del Decreto 1076 de 2015).

Dolinas. El componente ecosistémico se determina mediante la circunferencia mínima definida por un radio de 4H.

Cañones profundos. En cañones verticales muy profundos donde no es posible determinar el componente ecosistémico como una distancia horizontal, este componente será equivalente a la unidad geomorfológica de cañón.

Manglares, cativales, natales, guandales, morichales y otros bosques inundables. La distribución de la vegetación que se desarrolla en suelos hidromórficos y que por tanto dependen de la interacción continua con masas de agua dulce y/o salada, está condicionada en gran medida por la geomorfología, la hidrología y el clima de la zona. En los casos que se tenga información sobre la extensión de la vegetación nativa predominante, dicha extensión será la mínima por considerar, como componente ecosistémico, desde el procedimiento establecido para sistemas lénticos (numeral 6.1.3.3). En los casos en que no exista información, el componente ecosistémico podrá ser de mínimo 4H considerando la vegetación nativa potencial, los cuales serán medidos a partir del cauce permanente.

Zonas urbanas. En las zonas urbanas consolidadas, hay un gran número de bienes y servicios ecosistémicos asociados al arbolado por lo cual su demanda y uso es más intenso si se compara con zonas menos densamente pobladas (Luederitz et al., 2015). Por tanto, el componente ecosistémico está definido por la vegetación asociada a los cuerpos de agua, producto de la planeación paisajística a partir de los criterios propios de la silvicultura urbana, es decir, prevalecen las funciones ecosistémicas de conectividad y paisajismo, así de como las de servir de efecto barrera o amortiguación de la entrada de contaminantes al cuerpo agua. En los casos de centros poblados se deberán considerar los mismos criterios que en zonas urbanas consolidadas.

6.1.4 Definición del límite físico de la ronda hídrica

El límite físico de la ronda hídrica es la envolvente de la superposición de las superficies obtenidas para cada uno de los tres componentes: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico. En la Figura 6-30 se esquematiza el proceso cartográfico para determinar la envolvente y obtener la superficie que define la ronda hídrica en sistemas lóticos (Figura 6-30a) y lénticos (Figura 6-30b).

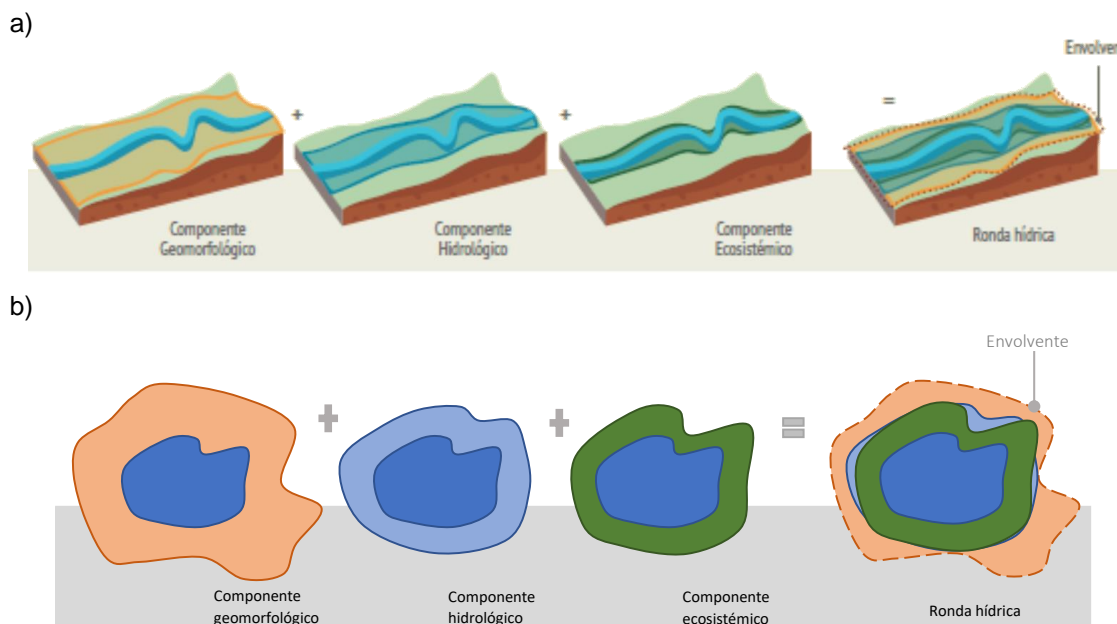


Figura 6-30. Límite físico de la ronda hídrica, trazado a partir del cauce permanente, resultado de la superposición de los componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.

6.2 Directrices para el manejo ambiental de las rondas hídricas

El desarrollo histórico de los asentamientos humanos se ha realizado, entre otras, alrededor de cuerpos de agua por la diversidad de servicios ecosistémicos que éstos prestan. En tal sentido, deben darse manejos que sean compatibles con la funcionalidad de la ronda hídrica a partir de los resultados del análisis que soporta su delimitación física. Lo anterior permitirá evitar la generación de condiciones de riesgos por inundación, avenidas torrenciales y estabilidad geotécnica al prevenir la exposición de personas, bienes o servicios, así como orientar su aprovechamiento de manera sostenible. Las distintas formas de ocupación del territorio, usos de la tierra y aprovechamiento de los recursos naturales, pueden llegar a tener impactos significativos en las funciones geomorfológicas, hidrológicas y ecosistémicas de las rondas hídricas. Por ello es necesario definir, al interior de la ronda hídrica delimitada, las estrategias para el manejo ambiental a que haya lugar considerando como mínimo las directrices que en este apartado se establecen para el logro del objeto de conservación.

6.2.1 Generalidades

En las rondas hídricas se deben identificar áreas con características similares desde el punto de vista de los resultados del límite físico, así como de la identificación de los servicios ecosistémicos que presta, para establecer las estrategias que orienten los futuros procesos de ordenamiento ambiental del territorio. Se deberá considerar el resultado de la delimitación física de la ronda hídrica (a partir de sus componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico), así como su grado de ocupación y uso de la tierra identificando las zonas urbanas y rurales, localizando áreas de recreación existentes, identificando si existen prácticas ancestrales, culturales y demás actividades

antrópicas. Se deberán involucrar las proyecciones que se tienen desde los actores como posibles escenarios de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables dentro de la ronda hídrica haciendo una distinción entre sus dos elementos constituyentes debido a que éstos tienen diferentes grados de condicionamientos para el manejo ambiental. El primer elemento de la ronda hídrica será el más restrictivo desde el punto de vista de la ocupación antrópica, ya que es la zona que se inunda periódicamente y en la que está la vegetación de ribera por lo que la estrategia fundamental será la de preservación, y cuando aplique la de restauración. En los casos particulares de ríos de montaña, donde la estabilidad geotécnica sea un factor detonante de riesgos en personas, bienes y servicios ya expuestos y susceptibles de ser dañados por la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa, tales tramos deben incluirse dentro del primer elemento. En el segundo elemento constituyente los condicionamientos dependerán de los atributos de funcionalidad de los tres componentes que dan el soporte para la delimitación física de la ronda hídrica, y en general los condicionamientos serán menos restrictivos que el primer elemento por lo que la estrategia de manejo será fundamentalmente de usos sostenibles.

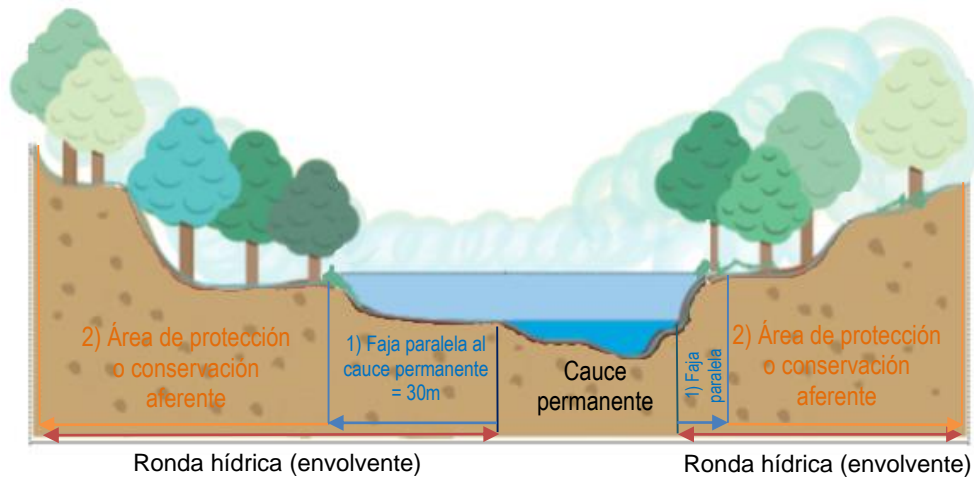
6.2.2 Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011

Dentro del límite físico de la ronda hídrica se encuentran sus dos elementos constituyentes establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011: i) *“la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974”*, ii) *“y el área de protección o conservación aferente”* (Figura 3-1). La delimitación de dichos elementos y sus atributos definidos desde las estrategias para su manejo ambiental se representarán cartográficamente y se deberán tener en cuenta por parte de las entidades competentes en las actuaciones a que haya lugar.

De acuerdo con lo anterior, el componente hidrológico (tanto para cuerpos de agua con modificaciones considerables en su morfología o los que no) es el criterio con base en el cual se define el primer elemento de la ronda hídrica, esto es, la faja paralela a que refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

En los casos en que el componente hidrológico comprenda una extensión mayor a 30 metros, a partir del cauce permanente o de la línea de mareas máximas, “la faja paralela” será igual a 30 metros y la extensión restante formará parte del “área de protección o conservación aferente” junto con los otros dos componentes (Figura 6-31).

a)



b)

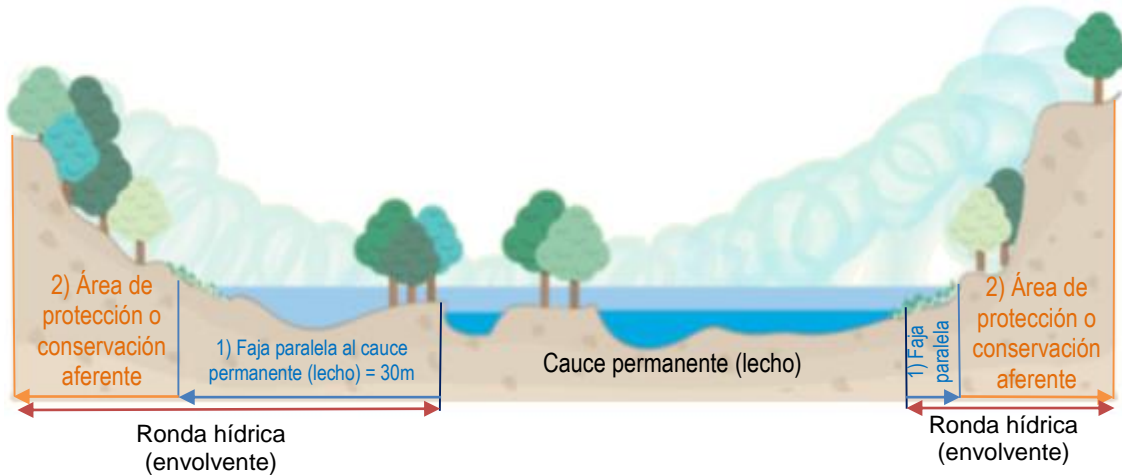
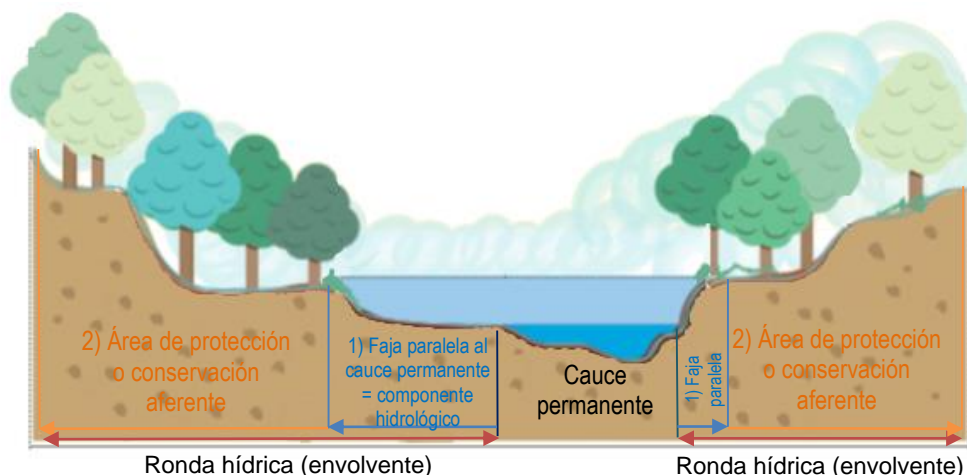


Figura 6-31. Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual a 30 metros y el resto es hasta el límite de la envolvente de los tres componentes en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.

En caso contrario, “la faja paralela” corresponderá a la extensión que haya dado el componente hidrológico, y el “área de protección o conservación aferente” corresponderá con el área complementaria obtenida desde la envolvente que integra los otros dos componentes (geomorfológico y ecosistémico) como se muestra en la Figura 6-32.

a)



b)

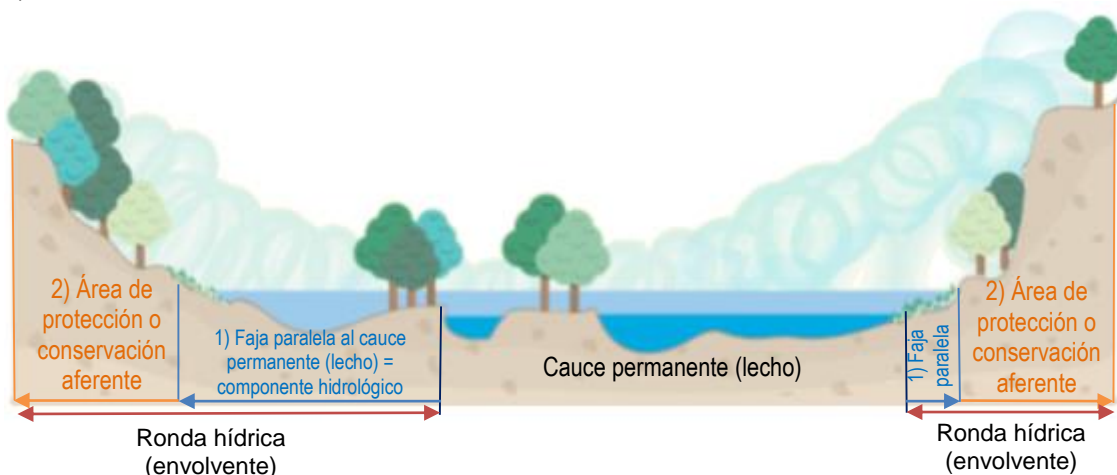


Figura 6-32. Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual al componente hidrológico (< 30 metros) y el resto es hasta el límite de la envolvente de los otros dos componentes (geomorfológico y ecosistémico) en sistemas: a) lóticos; b) lénticos.

6.2.3 Identificación de actores

Esta actividad consiste en la identificación de los principales actores que tienen relación con las rondas hídricas una vez ésta ya se ha delimitado. La participación de los actores en el conocimiento de los resultados del estudio de acotamiento de la ronda hídrica, así como en el aportar información para la identificación de servicios ecosistémicos que ellos perciben, contribuirá a que la Autoridad Ambiental defina las estrategias para el manejo ambiental de la ronda hídrica con base en un análisis integral de las dimensiones físico-biótica y socioeconómica. Igualmente, el proceso servirá para promover la responsabilidad colectiva y la concientización relacionada con la importancia de estas áreas del territorio dentro de las dinámicas del sistema fluvial, y en particular en la regulación natural de fenómenos de inundaciones o avenidas torrenciales, evitando con ello la generación de condiciones de riesgo, así como la efectividad en la implementación de las estrategias para el manejo ambiental.

6.2.4 Identificación de servicios ecosistémicos

Para la definición de las estrategias para el manejo ambiental se deberá considerar lo dispuesto por la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE- (Minambiente, 2012), en la cual se establece que los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad. En esta Política los servicios ecosistémicos se clasifican en los siguientes tipos:

a) Servicios de regulación

Se refieren a los beneficios producidos por la regulación o los procesos ecosistémicos, tales como la regulación hídrica y almacenamiento y captura de carbono. En los criterios de la presente guía, estos servicios se abordan en los tres componentes que definen el límite físico de la ronda hídrica.

b) Servicios de soporte

Son necesarios para la prestación de los demás servicios, especialmente los de aprovisionamiento. Aunque este tipo de servicios no han sido suficientemente estudiados, entre ellos se pueden incluir, la producción primaria, la formación del suelo y el ciclo de nutrientes. En los criterios de la presente guía, estos servicios se abordan en los tres componentes que definen el límite físico de la ronda hídrica.

c) Servicios de aprovisionamiento

Son los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas. Generalmente los bienes se separan de los servicios para efectos de los estudios de valoración que se realizan como requerimiento de los instrumentos de planificación o administración de los recursos naturales renovables. En los criterios de la presente guía, estos servicios están relacionados con los usos de la tierra y las actividades socioeconómicas que dependen de los recursos de la ronda hídrica.

d) Servicios culturales

Son beneficios no materiales, tales como la recreación, la contemplación y el turismo, que involucran en muchos casos las decisiones sobre la conservación o protección de ecosistemas. Estos beneficios son obtenidos a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas. En los criterios de la presente guía, estos servicios pueden identificarse de la mano de los actores directos relacionados.

La identificación de prácticas culturales en las rondas hídricas debe contemplar las estrategias de adaptación por parte de las comunidades y una identificación de los espacios públicos donde se realizan prácticas locales ancestrales. El resultado de esta identificación permitirá definir estrategias para el manejo ambiental que sean compatibles con la funcionalidad de la ronda hídrica. Ejemplo de ellas puede ser la destinación de áreas, dentro del límite físico de la ronda hídrica, en las cuales se hayan identificado prácticas locales sociales que requieran el espacio de la ronda hídrica para continuar con su desarrollo (e.g. sitios sagrados, áreas para recreación pasiva y contemplativa).

Considerando lo anterior, se deben identificar y georreferenciar las actividades de aprovechamiento de recursos naturales y actividades económicas o de servicios realizadas por los actores identificados, por ejemplo:

- Recurso hídrico: uso del agua para consumo humano, riego de cultivos, navegación, transporte, hidroenergía, descargas y vertimientos, otras demandas sectoriales.
- Recurso bosque: recolección de madera, leña, y otros subproductos secundarios del bosque (bejucos, flores, hojas, cortezas, raíces, semillas, etc.). También la caza y otros productos derivados del aprovechamiento de la fauna.

- Recursos hidrobiológicos: pesca artesanal, piscicultura y recolección.
- Recursos minerales: minería de aluvión y materiales de arrastre.
- Actividades económicas o de servicios: agricultura y ganadería temporal o permanente; vivienda y redes de servicios públicos, incluida infraestructura vial, de saneamiento (colectores-emisarios), obras hidráulicas, etc.

En relación con estas actividades, se debe hacer una evaluación de la presión sobre los recursos naturales, la existencia o potencialidad de conflictos por el uso de la tierra dentro de la ronda hídrica, así como evidencias de degradación ambiental (e.g. procesos de erosión debido a inadecuadas prácticas en el uso de la tierra). Para ello, es de relevancia la evaluación de los grados de dependencia que tienen las poblaciones circundantes de los cuerpos de agua y sus rondas hídricas, así como los tipos de tecnologías utilizadas para la extracción o aprovechamiento de recursos naturales. Igualmente, es importante identificar los patrones de asentamiento que están definidos por la ubicación y distribución de la población a lo largo del territorio en áreas urbanas y en expansión, así como las áreas rurales y sus tendencias de desarrollo.

6.2.5 Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas.

De acuerdo con lo establecido en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Minambiente, 2012), *"la conservación es un concepto que trasciende la visión asociada exclusivamente a la preservación de la naturaleza; la conservación debe ser entendida y gestionada como una propiedad emergente, generada a partir del balance entre acciones de preservación, uso sostenible, generación de conocimiento y restauración de la biodiversidad, de manera que se mantenga o incremente la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos y con ella el suministro de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano"*. En tal sentido, para el logro del objetivo de Conservación se tienen estrategias relacionadas con la *preservación, restauración y uso sostenible*.

La *preservación* se refiere a mantener la composición, estructura y función de la biodiversidad, conforme a su dinámica natural y evitando los posibles disturbios que ocasionen las acciones humanas. En estos casos estarían, por ejemplo, aquellas áreas donde se encuentre bosque de ribera nativo (bosque de galería).

La *restauración* se enfoca en restablecer parcial o totalmente la composición, estructura y función de la biodiversidad, en áreas de la ronda hídrica que hayan sido alteradas o degradadas que contribuyan a la conectividad ecológica. Como lo menciona el Plan Nacional de Restauración (Minambiente, 2015): *"Considerar la ecología en las prácticas de la restauración es fundamental desde las fases iniciales de cualquier intervención, ya que es necesario entender los procesos que ocurren en los diferentes componentes del ecosistema, como las interacciones entre la biota (flora - fauna - microorganismos), la geomorfología, los suelos, la hidrología, y los procesos que giran alrededor del uso de la tierra (naturales y antrópicos), que en conjunto determinan el estado actual del ecosistema. Los procesos históricos de transformación en el uso de la tierra, las condiciones actuales y las necesidades locales de las comunidades hacen que la restauración esté dirigida hacia diferentes objetivos: la restauración ecológica para iniciar o acelerar procesos de restablecimiento de un área degradada, en relación a su función, estructura y composición; la rehabilitación para recuperar la productividad y/o los servicios del ecosistema en relación con los atributos funcionales o estructurales; y la recuperación o reclamación para retornar la utilidad del ecosistema respecto a la prestación de servicios ambientales diferentes a los del ecosistema original, integrándolo ecológica y paisajísticamente a su entorno"*. En estos casos estarían, por ejemplo, áreas funcionales para la conectividad de relictos de bosques de galería o para la reconexión del corredor ripario a lo largo de tramos, segmentos o la cuenca hidrográfica.

El establecimiento de áreas para *uso sostenible* permite actividades que no afectan la funcionalidad de la ronda hídrica, es decir que las actividades que allí se desarrollen no alteren los atributos actuales identificados en sus tres componentes físico-bióticos:

- Geoformas y procesos morfodinámicos asociados al flujo y almacenamiento temporal de agua y sedimentos, ajuste de la forma del cauce y sus patrones de alineamiento.
- Dinámica de los flujos de agua (y con ellos los de sedimentos y nutrientes) a lo largo de la red de drenaje de la cuenca hidrográfica.
- Papel de la vegetación de ribera en las condiciones microclimáticas y las condiciones de hábitat en los cuerpos de agua, corredor biológico, filtro de contaminantes que por escorrentía podrían llegar al cuerpo de agua, estabilidad de las orillas del cuerpo de agua, entre otras.

Considerando lo anterior, se debe propender por el desarrollo de los enfoques de adaptación y mitigación basados en ecosistemas. La adaptación basada en ecosistemas es un enfoque para aumentar y mantener la capacidad adaptativa y reducir el riesgo de degradación o colapso de los socio-ecosistemas al cambio ambiental (incluido el cambio climático) integrando el uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en una estrategia global de adaptación (Minambiente, 2012). La mitigación basada en ecosistemas se fundamenta en la capacidad que tienen todos los ecosistemas, para detener o reducir las causas que amenazan la integridad estructural y funcional de los socio-ecosistemas, poniendo en riesgo la resiliencia de la biodiversidad, y por ende la provisión de los servicios derivados de esta (Minambiente, 2012). A dichos enfoques aportarían, por ejemplo, las actividades relacionadas con silvicultura contribuyendo a capturar y almacenar gases de efecto invernadero (GEI), así como a la prevención de la entrada de contaminantes al cuerpo de agua, la erosión y posterior aporte de sólidos al cuerpo de agua, entre otros.

A continuación, se presentan las directrices mínimas para el establecimiento de las estrategias para el manejo ambiental, las cuales deben considerar la distinción entre los dos elementos de la ronda hídrica (ver numeral 6.2.2) teniendo en cuenta los resultados de la identificación de servicios ecosistémicos. Igualmente, deben tenerse presente los aspectos planteados en el Anexo III para los casos concretos allí planteados.

6.2.5.1 Estrategia de preservación

Dentro de esta estrategia se encuentran las siguientes áreas de la ronda hídrica que por sus atributos deberán ser preservadas evitando la ocupación humana:

- Áreas de existencia de vegetación nativa (e.g. bosque de galería, vegetación helófito o higrófito).
- Áreas donde se identifiquen los hábitats necesarios para la sobrevivencia de las especies o comunidades de especies que presentan condiciones particulares de especial interés para la conservación de la biodiversidad, con énfasis en aquellas de distribución espacial restringida, especies endémicas, en alguna categoría de amenaza, hábitat de especies migratorias.
- Áreas donde se requiera conservar la capacidad productiva de ecosistemas naturales y la viabilidad de las poblaciones de especies silvestres de manera que se garantice una oferta y aprovechamiento de los recursos biológicos y servicios ecosistémicos.
- El área completa de la ronda hídrica de los nacimientos de cuerpos de agua.
- Áreas de recarga de acuíferos.
- El componente hidrológico de la ronda hídrica en sistemas lóticos¹⁸.

6.2.5.2 Estrategia de restauración

Identificar y adelantar acciones de restauración de áreas que han tenido algún tipo de intervención y donde puede restituirse el ecosistema natural, buscando conservar o restaurar corredores biológicos.

¹⁸ En los casos de regímenes especiales como las sabanas y playones comunales, los usos que allí se definan por la entidad competente para ello deberán ser compatibles con los de la funcionalidad de las rondas hídricas en esta área en particular, que en general es frecuentemente inundable. Considerar para ello las directrices para la estrategia de usos sostenibles.

La estrategia de restauración puede definirse teniendo en cuenta ecosistemas de referencia que brinden información del estado previo al disturbio o del estado al cual se quiere alcanzar. Para ello se deberá tomar como referencia mínima, la información utilizada para establecer el límite del componente ecosistémico de la ronda hídrica en la unidad geomorfológica que le corresponda utilizando ya sea lo inferido desde información secundaria o desde la vegetación nativa encontrada en tramos similares (unidades morfológicas idénticas) dentro de la unidad geomorfológica.

En los casos de existencia de áreas funcionales para la conectividad de relictos de vegetación nativa (e.g. bosques de galería) y en general del corredor ripario a lo largo de tramos, segmentos o la cuenca hidrográfica, tales áreas serán objeto de la presente estrategia para buscar el restablecimiento de la composición, estructura y función de la biodiversidad.

6.2.5.3 Estrategia de uso sostenible

Las áreas que no están catalogadas dentro de las anteriores estrategias pueden ser establecidas para usos sostenibles compatibles con el objeto de conservación de la funcionalidad de las rondas hídricas. En esta estrategia se incluirán las áreas que se encuentren en conflicto por usos de la tierra o grado de deterioro ambiental identificados tanto en la definición del límite funcional como la de servicios ecosistémicos, así como en la que se puedan desarrollar actividades económicas que sean compatibles con la funcionalidad de los tres componentes de la ronda hídrica identificados en el numeral 6.1.

Los atributos de esta estrategia para el manejo ambiental deben ser claramente diferenciados, ubicados espacialmente e incorporadas de manera progresiva para cumplir con la estrategia de uso sostenible de los recursos naturales dentro de las áreas con aptitud para ello y evitar a su vez una mayor degradación ambiental o la generación de nuevos conflictos.

Cuando se encuentra alguna actividad ya establecida y que pueda ser compatible con este uso, se deberán establecer las respectivas medidas a que haya lugar para que dicha actividad sea sostenible a través del tiempo y no interfiera en la funcionalidad de las rondas hídricas. Ejemplo de ello puede ser: reconversión de agricultura tradicional a agricultura ecológica o de buenas prácticas agrícolas, sistemas productivos como la permacultura, silvicultura o silvopastoreo; no utilización de agroquímicos lo cual evitará su aporte a la contaminación por escorrentía al cuerpo de agua; propender por la labranza mínima del suelo evitando la aceleración de procesos de erosión; generar sistemas productivos que favorezcan gradientes de vegetación similares a las observadas en la vegetación riparia existente.

Dentro de esta estrategia deben integrarse también las áreas que prestan servicios culturales como el deleite, la recreación, la educación, conocimiento, investigación y la valoración social de la naturaleza. En esta estrategia se encuentran los espacios asociados a elementos de cultura material o inmaterial de grupos étnicos y sus prácticas ancestrales.

En las áreas que por tradición han sido utilizadas por las comunidades con actividades de agricultura de várzea o que en general utilizan temporalmente las playas o los playones en épocas secas para el cultivo de especies de corto periodo, se deberán definir las orientaciones para el mantenimiento de su aprovechamiento sostenible (e.g. evitar el uso de agroquímicos o de labranza intensiva). En esta estrategia los condicionamientos de las actividades o intervenciones que permitan la prestación de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y culturales deberán enfocarse a que éstas no modifiquen los atributos de funcionalidad de las rondas hídricas.

6.3 De la remisión de los resultados del acotamiento de las rondas hídricas y de sus estrategias para el manejo ambiental a los municipios y distritos

Las áreas delimitadas en el acotamiento de la ronda hídrica, con sus correspondientes estrategias para el manejo ambiental, serán representadas cartográficamente y deberán ser remitidas oficialmente por el representante legal de la autoridad ambiental a los municipios y distritos para que adopten las medidas a que haya lugar en materia de reglamentación de usos del suelo. La información a ser remitida comprenderá de:

- El cauce permanente del sistema lótico y/o léntico delimitado, y cuando aplique el área ocupada por la línea de mareas máximas de los cuerpos de agua continentales afectados por la dinámica marina.
- El límite físico de la ronda hídrica como resultado de la superposición (envolvente) de las superficies obtenidas para cada uno de los tres componentes: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.
- Las áreas¹⁹ dentro de la ronda hídrica identificadas con características similares desde el punto de vista de los resultados del límite físico y de los servicios ecosistémicos que presta, considerando a su vez sus elementos constituyentes (i) *“la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974”*, y ii) *“el área de protección o conservación aferente”*.

El acotamiento de la ronda hídrica y las estrategias para su manejo ambiental se constituyen en determinante ambiental.

¹⁹ Cada una de estas áreas deberá tener su respectiva estrategia para el manejo ambiental como un atributo cartográfico.

7 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

El presente capítulo aborda los aspectos relacionados con el seguimiento a la efectividad en la implementación de las estrategias establecidas en el numeral 6.2.5, para el logro del objetivo de conservación y protección ambiental en el corto, mediano y largo plazo. Para el logro de lo anterior, la Autoridad Ambiental competente deberá tener un programa de seguimiento permanente y sistemático que le permita evaluar y tomar los correctivos a que haya lugar, para el logro y sostenibilidad del acotamiento de la ronda hídrica de los cuerpos de agua en su jurisdicción.

Para el seguimiento y evaluación del estado de las rondas hídricas, considerando que se están implementando las estrategias previstas en el proceso se utilizan indicadores. Considerando que la vegetación de ribera es un indicador del estado de disponibilidad y calidad del ecotono entre los ecosistemas acuático y terrestre, además de tener la línea base levantada desde el acotamiento de las rondas hídricas, se propone ésta como principal indicador. Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo y la aplicación de índices de calidad de riberas adaptados a las características de los sistemas acuáticos locales que permitan detectar, monitorear y gestionar riesgos asociados a la modificación del ambiente ripario autóctono (Basílico, et al., 2016). En el numeral 7.1 se desarrollan los indicadores mínimos a considerar para sistemas lóticos y en el numeral 7.2 para sistemas lénticos.

7.1 Indicadores para sistemas lóticos

Dentro de la literatura se pueden encontrar diversos indicadores para la evaluación de la calidad del sistema fluvial, principalmente desde enfoques hidromorfológicos como es el caso de la Directiva Marco del Agua en Europa (ver por ejemplo Fernández et al., 2011; González del Tánago et al., 2016). Para la estimación de la calidad de las zonas riparias, se tiene por ejemplo el índice RQI (por sus siglas en inglés de "*Riparian Quality Index*") propuesto por González del Tánago et al., (2006), para ríos españoles. En este índice se consideran siete atributos de fácil reconocimiento visual a partir de los diferentes aspectos de la estructura y del funcionamiento de los sistemas riparios, los cuales están fuertemente determinados por la dinámica hidromorfológica fluvial. No obstante, no se han desarrollado ejercicios con este índice en ecosistemas tropicales, por lo que primero debe probarse su aplicabilidad en las condiciones locales.

Por lo anteriormente expuesto, se propone la aplicación del índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR por las siglas en catalán: *Qualitat del Bosc de Ribera*) propuesto por Munné et al., (1998) para los ríos mediterráneos y del índice RFV (por sus siglas en inglés de "*Riparian Forest eValuation*") propuesto por Magdaleno et al. (2010) para ríos permanentes. Ambos índices han tenido adaptaciones en aplicaciones en casos de estudio en Colombia (ver García, 2014; Posada-Posada y Arroyave-Maya, 2015; López-Delgado et al., 2016). El propósito es el de estimar el estado de las zonas riparias como zonas de transición entre las corrientes de agua (ecosistema acuático) y los ecosistemas terrestres adyacentes.

Es importante resaltar que los siguientes indicadores son aplicables aquellas áreas de la ronda hídrica de sistemas lóticos para las cuales se establecieron estrategias de preservación y restauración. En los casos que la estrategia establecida haya sido la de "usos sostenibles" se deberán considerar al menos los indicadores del numeral 7.1.3. En ambos casos, la línea base se puede calcular desde la misma información utilizada en la delimitación física de la ronda hídrica.

7.1.1 Índice de calidad del bosque de ribera (QBR)

El índice de calidad del bosque de ribera (QBR por sus siglas en catalán de "*Qualitat del Bosc de Ribera*") propuesto por Munné et al., (1998, 2003) integra aspectos estructurales de la vegetación ribereña (cobertura, estructura), aspectos de la morfología de la ribera y el grado de intervención del terreno (cauces, terrazas, diques).

Antes del cálculo del índice QBR, se deben diferenciar el cauce permanente y la ronda hídrica. Para este fin, se deberán considerar los resultados obtenidos de la aplicación de lo establecido en la presente Guía para la delimitación del cauce permanente y del límite físico de la ronda hídrica.

La evaluación de cada componente se hace de forma independiente. Cada sección está compuesta por uno o varios factores, a los cuales se les asigna una puntuación de 0, 5, 10 o 25 según el estado de la zona. También existe la posibilidad de aumentar o disminuir el total mediante la suma o resta de 5 o 10 puntos, si se presentan unas características específicas (Posada-Posada y Arroyave-Maya, 2015). El protocolo establece que, en la suma de cada sección, los valores negativos se redondean a cero y los superiores a 25 se llevan a 25; de esta forma, el intervalo de variación del QBR se extiende entre 0 y 100 (Kutschker et al., 2009).

Este índice se centra en cuatro aspectos fundamentales de la vegetación ribereña que se describen a continuación con sus respectivos criterios para la puntuación.

7.1.1.1 Grado de cobertura vegetal natural de la zona ribereña

Se destaca el papel de la vegetación como elemento estructural del ecosistema de ribera. La calidad disminuye a medida que se pierde la vegetación nativa y la conectividad con los ecosistemas adyacentes. Los criterios para la puntuación se presentan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1. Grado de cobertura de la zona de ribera. Fuente: FEM (s.f.)

PUNTUACIÓN	CRITERIO
25	> 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera
10	50-80% de cubierta vegetal de la zona de ribera
5	10-50% de cubierta vegetal de la zona de ribera
0	<10% de cubierta vegetal de la zona de ribera
+10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total
+5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%
-5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%
-10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%

7.1.1.2 Estructura de la vegetación

Se analiza la similitud entre la cobertura vegetal existente y la vegetación que debería estar presente de manera natural en la zona ribereña (e.g. la vegetación que se infiere desde las zonas de vida). En la Tabla 7-2 se presentan los criterios para la puntuación.

Tabla 7-2. Estructura de la cobertura. Fuente: FEM (s.f.)

PUNTUACIÓN	CRITERIO
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %
+10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %
+5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %
+5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque
-5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %
-5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad
-10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %

7.1.1.3 Calidad de la cobertura vegetal

Hace referencia específicamente a su naturalidad y complejidad. La naturalidad está relacionada con las especies arbóreas nativas que se tendrían que encontrar en una situación sin alteración de ribera, y la complejidad incluye diferentes elementos como la continuidad a lo largo del río de las comunidades vegetales naturales, la disposición en galería de las diferentes comunidades o la existencia de distintas especies arbóreas y arbustivas. Además, la presencia de especies introducidas en la zona se penaliza en esta parte del índice. En la Tabla 7-3 se presentan los criterios para la puntuación los cuales dependen del tipo geomorfológico de la zona de ribera.

Tabla 7-3. Calidad de la cobertura. Fuente: FEM (s.f.)

PUNTUACIÓN	CRITERIO	TIPO		
		1	2	3
25	número de especies diferentes de árboles autóctonos	>1	>2	>3
10	número de especies diferentes de árboles autóctonos	1	2	3
5	número de especies diferentes de árboles autóctonos	-	1	1-2
0	Sin árboles autóctonos			
+10	si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río, uniforme y ocupando > 75 % de la ribera (en toda su anchura)			
+5	si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50 - 75 % de la ribera)			
+5	si existe una disposición en galería de diferentes comunidades			
+5	si el número diferente de especies de arbustos es:	> 2	> 3	> 4
-5	si existen estructura construidas por el hombre			
-5	si existe alguna especie de árbol introducida (alóctona) aislada			
-10	si existen especies de árboles alóctonas formando comunidades			
-10	si existen vertidos de basuras			

Para determinar la calidad de la cobertura se debe conocer el tipo geomorfológico de la zona de ribera. Para ello se deberá tener como línea base el análisis geomorfológico respectivo presentado en la presente Guía (numeral 6.1.1) y utilizando la puntuación sugerida en el protocolo del índice desarrollado por el grupo de investigación en ecología y gestión de agua dulce de la Universidad de Barcelona (formato de la Figura 7-1). Finalmente, a partir de los puntos que se asignaron se obtienen tres categorías de tipos geomorfológicos.

Tabla 7-4. Tipo geomorfológico según la puntuación. Fuente: adaptado de FEM (s.f.)

Puntuación total	Tipo	Descripción del tipo geomorfológico
> 8	1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un extenso bosque de ribera
entre 5 y 8	2	Riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
< 5	3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso

		Puntuación	
Tipos de desnivel de la zona riparia		Izquierda	Derecha
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas crecientes (caudal a banca llena)		6	6
Igual pero con un pequeño talud o orilla inundable periódicamente (crecientes ordinarias)		5	5
Pendiente entre el 45 y 75 °, escalado o no. La pendiente se cuenta con el ángulo entre la horizontal y la recta entre la orilla y el último punto de la ribera. $\Sigma a > \Sigma b$		3	3
Pendiente entre el 20 y 45 °, escalonado o no. $\Sigma a < \Sigma b$		2	2
Pendiente < 20 °, ribera uniforme y llana.		1	1
Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río			
Anchura conjunta "a" > 5 m.		-2	
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.		-1	
Potencialidad de soportar una masa vegetal de ribera. Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente			
> 80 %		No se puede medir	
60 - 80 %		6	
30 - 60 %		4	
20 - 30 %		2	
Puntuación total			

Figura 7-1. Puntuación para el índice QBR de acuerdo con los tipos de desnivel de las márgenes del cuerpo de agua y la existencia de islas dentro del cauce permanente. Adaptado de FEM (s.f.)

7.1.1.4 Grado de alteración del cauce

Se consideran las modificaciones el cauce y en las riberas. En la Tabla 7-5 se presentan los criterios para evaluar el grado de naturalidad.

Tabla 7-5. Grado de naturalidad del cauce

Puntuación	Criterio
25	el cauce del río no ha estado modificado
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del cauce
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el cauce del río
0	río canalizado en la totalidad del tramo
-10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
-10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río

7.1.1.5 Interpretación de la calificación

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25, por lo que los puntos en exceso o por defecto no se contabilizan. En tal sentido, la puntuación final será el resultado de la suma de los cuatro bloques y, por lo tanto, variará entre 0 y 100. En la Tabla 7-6 se presentan los descriptores para la interpretación de la calificación en cinco niveles asociados a los colores que se indican respectivamente. Tales colores pueden ser representados cartográficamente y sirve para realizar el respectivo seguimiento de la calidad, compararlo con otros lugares o constatar la evolución de un mismo punto frente a perturbaciones naturales o antrópicas (Posada-Posada y Arroyave-Maya, 2015).

Tabla 7-6. Interpretación de la calificación

Descriptor	Ámbito numérico	Color
Degradación extrema, calidad pésima	(0 – 25)	Rojo
Alteración fuerte, calidad mala	(30 – 50)	Naranja
Inicio de alteración importante, calidad aceptable	(55 – 70)	Amarillo
Ligeramente perturbado, calidad buena	(75 – 90)	Verde
Sin alteraciones, estado natural	≥95	Azul

7.1.1.6 Consideraciones adicionales

Posada et al., (2015) proponen las siguientes modificaciones al índice para su uso en un río interandino en un ecosistema tropical.

- En la evaluación del grado de cobertura vegetal natural de la zona ribereña considerar los bosques secundarios, los rastrojos altos y bajos y la guadua como cobertura natural.
- En la calidad de la cobertura vegetal, considerar que más que un número de especies potencialmente posible, lo ideal es contar con una cobertura vegetal de bosque secundario y en menor grado de rastrojos altos, independiente de la geomorfología del terreno.
- En el grado de alteración del cauce, se realiza la valoración del índice para cada una de las márgenes por separado.

Si es posible, realizar varios transectos (cada 100-200m) y evaluar el QBR en un tramo largo para tener una puntuación más representativa de la zona (Munné et al., 1998).

Los datos obtenidos a partir de la aplicación del índice corresponden a observaciones puntuales, en un momento dado y en un tramo particular del curso de agua, lo cual impide hacer generalizaciones espaciales y temporales en relación con la calidad de una ribera (Kutschker et, al. 2009).

7.1.2 Índice de evaluación del bosque de ribera (RFV)

El RFV (por sus siglas en inglés de "Riparian Forest eValuation") fue propuesto por Magdaleno et al., (2010) para ríos permanentes, debido a que las singularidades hidromorfológicas y ecológicas de los ríos temporales, intermitentes y efímeros requieren otras valoraciones. En esos casos se puede aplicar el índice QBR (ver numeral 7.1.1).

El índice RFV se basa en la valoración de la continuidad espacial del bosque de ribera en sus tres dimensiones (longitudinal, transversal y vertical) y de la continuidad temporal del bosque, representada por la regeneración natural de la vegetación, garante de su continuidad futura, a partir de la agregación directa del valor de esos cuatro elementos (García, 2014).

El índice RFV se centra en la evaluación de la integridad ecológica del bosque ripario. La interacción de las alteraciones hidromorfológicas del cauce con el estado del bosque ripario se encuentran, sin embargo, intrínsecamente incluidas en los diferentes descriptores empleados para la valoración. El

índice RFV no emplea valoraciones basadas anchos fijos de las diferentes dimensiones del bosque, sino que realiza la evaluación a partir de la anchura de banca llena del río

En este índice se incorpora una base geomorfológica asociada a la estructura y funcionamiento del cauce en el cálculo de los indicadores, su determinación en campo es sencilla, pero ofrece una visión completa del estado ecológico del bosque de ribera. Adicionalmente, la valoración final del índice no se basa en la suma directa de indicadores, sino que penaliza en el resultado final el mal estado de alguno de sus indicadores y permite la valoración en continuo del estado ecológico del bosque de ribera (Magdaleno et al., 2010). Para el cálculo del índice RFV, Magdaleno et al., (2010) propone las siguientes actividades.

7.1.2.1 Determinar el nivel de banca llena del río (cauce permanente)

La determinación del nivel de banca llena (W_b) corresponde a la delimitación del cauce permanente. Se deberán considerar los resultados de la delimitación del cauce permanente (Capítulo 4.3.4).

7.1.2.2 Determinar la superficie de análisis

Después de determinar el nivel de banca llena (cauce permanente), se define la superficie de análisis de la aplicación del índice (Figura 7-2a). De acuerdo con las modificaciones realizadas para la aplicación del índice en un cuerpo de agua en Colombia, el ancho del corredor ripario, a evaluar en cada margen, sería igual al ancho de la ronda hídrica en ese punto. El largo del tramo será como mínimo 10 veces el ancho promedio del nivel de banca llena o cauce permanente para ese tramo. Adicionalmente, se sugiere subdividir el tramo en cinco secciones para facilitar la obtención del ancho promedio del río y la aplicación del índice tal como lo sugiere García (2014) y se muestra en la Figura 7-2b.

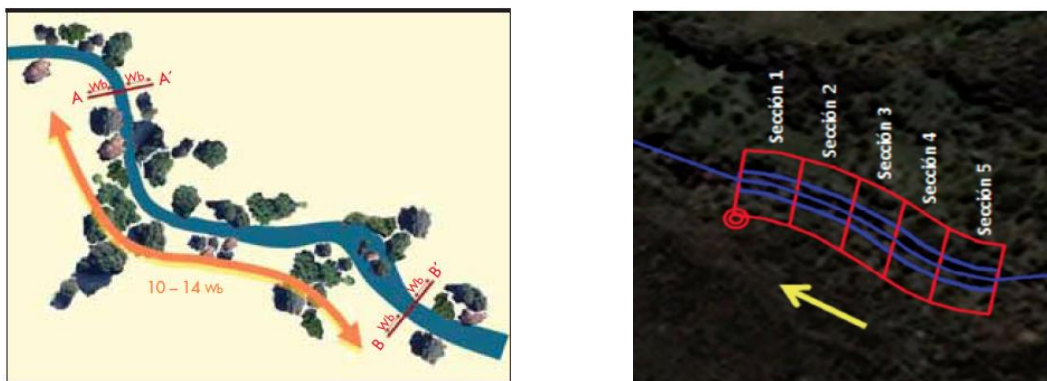


Figura 7-2. Izquierda: a) Superficie de análisis en la aplicación del índice RFV. Tomado de Magdaleno et al., (2010). Derecha: b) Separación del tramo de estudio en al menos cinco (5) secciones. Tomado de García (2014).

7.1.2.3 Continuidad longitudinal del bosque de ribera

Sobre un transecto de una longitud de 10 veces el ancho del cauce permanente del río se evalúa, de manera conjunta para ambas orillas, la continuidad longitudinal del bosque de ribera autóctono. Como bosque de ribera se consideran los taxones arbóreos o arbustivos autóctonos y no las herbáceas. La existencia de taxones alóctonos se deberá considerar como una discontinuidad del bosque ripario y deberá evaluarse como tal.

No se considerará una discontinuidad la inexistencia de vegetación riparia como consecuencia de un sustrato rocoso en las riberas, o la presencia de afluentes o cauces secundarios. La continuidad de la vegetación riparia se evaluará sobre la línea perimetral del cauce permanente (en proyección vertical), en ambos márgenes del cauce. Ver criterios en la Tabla 7-7.

Tabla 7-7. Criterios para la evaluación de la continuidad longitudinal

Estado	Criterio	Puntuación
Excelente	Más del 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	5
Bueno	Entre un 70 y un 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	4
Moderado	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	3
Deficiente	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	2
Malo	Menos de un 30% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	1

7.1.2.4 Continuidad transversal del bosque de ribera

A lo largo de cinco (5) a siete (7) secciones separadas entre sí, dos veces el ancho del cauce permanente del río, y ortogonales a la línea de vaguada (o "thalweg") del río, se evalúa la continuidad transversal del bosque de ribera autóctono. Para esto se considera positivamente la vegetación compuesta por taxones arbóreos y arbustivos autóctonos. La continuidad de la vegetación riparia debe evaluarse a partir de la línea perimetral de banca llena (en proyección vertical), en ambos márgenes del cauce.

Como discontinuidades transversales se entenderán la falta de cobertura vegetal de taxones leñosos autóctonos o de macrófitas autóctonas, la existencia de taxones alóctonos, o la existencia de usos de la tierra de carácter antrópico (infraestructuras de cualquier tipo y material, cultivos, plantaciones, construcciones, etc.). En la Tabla 7-8 se encuentran los criterios para la evaluación de la continuidad transversal.

Tabla 7-8. Criterios para la evaluación de la continuidad transversal

Estado	Característica	Puntuación
Excelente	Más del 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono.	5
Bueno	Entre un 70 y un 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	4
Moderado	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	3
Deficiente	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	2
Malo	Menos de un 30% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	1

7.1.2.5 Complejidad

A partir de las secciones evaluadas desde el punto de vista de la continuidad transversal, se evalúa la complejidad ecológica del bosque ripario, en términos de composición y estructura de la vegetación. Este tercer bloque se puntuará de la manera mostrada en la Tabla 7-9.

No se considerará negativamente una menor densidad de la vegetación en bosques claros cuyas condiciones naturales o de referencia sean las de un bosque discontinuo. El valor final del parámetro se calculará como el promedio total de los valores de ambas márgenes, en cada una de las secciones establecidas. Cuando la puntuación contenga decimales, el valor final se ajustará al entero más próximo. Si el valor final tiene como decimal el guarismo 5, se ajustará al entero inferior. Así, un valor final de 3,7 equivaldría a un estado bueno (4), y un valor final de 3,5 equivaldría a un estado moderado (3).

Tabla 7-9. Criterios para la evaluación de la complejidad

Estado	Característica	Puntuación
Excelente	Bosques muy densos de especies autóctonas, con sotobosque formado por diferentes especies arbustivas, y presencia de especies lianoides, nemorales y epífitas	5
Bueno	Bosques densos de especies autóctonas, con sotobosque formado por pocas especies arbustivas, escasez de especies lianoides, nemorales y epífitas. Presencia puntual de algunas especies nitrófilas y ruderales, o de algunas especies alóctonas	4
Moderado	Bosques claros de especies autóctonas y alóctonas, con escaso sotobosque, y presencia notoria de especies nitrófilas y ruderales.	3
Deficiente	Bosques muy claros con abundancia de especies alóctonas, nitrófilas y ruderales, sin apenas sotobosque	2
Malo	Pies aislados, en su mayor parte de especies alóctonas. Dominancia de especies nitrófilas y ruderales.	1

7.1.2.6 Regeneración natural

Sobre un transecto de una longitud de 10-14 veces la anchura del cauce permanente, se evalúa la regeneración del bosque ripario. Para ello, se estudia la existencia de brinzales, retoños y renuevos de la vegetación riparia autóctona del cauce, en ambas orillas. No se puntuará negativamente la inexistencia de regenerado del bosque ripario debido a la falta de luz, por competencia con los ejemplares adultos, o por la existencia de un sustrato rocoso. Este cuarto bloque se puntuará de la manera mostrada en la Tabla 7-10. Por abundancia de regenerado se entenderá la observación, de visu, de un número elevado de ejemplares jóvenes de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas.

Por presencia de regenerado se entenderá la observación de diferentes ejemplares jóvenes de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas. Por presencia puntual de regenerado se entenderá la observación de ejemplares jóvenes aislados de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas.

Tabla 7-10. Criterios para la evaluación de la regeneración natural

Estado	Característica	Puntuación
Excelente	Abundancia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	5
Bueno	Presencia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	4
Moderado	Presencia puntual de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas	3
Deficiente	Inexistencia de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas.	2
Malo	Sólo existen pies extramaduros y con problemas fitopatológicos.	1

7.1.2.7 Interpretación de la calificación

La valoración final del bosque de ribera se realizará atendiendo a la agregación directa de los valores cuantitativos obtenidos para cada bloque. El estado final del bosque de ribera se clasificará mediante un código de colores asociado a los EQR (Ecological Quality Ratios) utilizados en la Directiva Marco del Agua, cada uno de los cuales tendrá una calificación (Muy bueno, Bueno, Moderado, Deficiente, Malo) como se aprecia en la Tabla 7-11.

Tabla 7-11. Código cualitativo para la determinación del estado final del bosque de ribera a partir del índice RFV.

Muy bueno	El bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal casi total, su regeneración está asegurada y su composición y estructura atienden a las características de un bosque de gran valor ecológico.	
Bueno	El bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal elevada, presenta regeneración, y su composición y estructura muestran un notable valor ecológico	
Moderado	El bosque de ribera presenta una cierta alteración de la continuidad longitudinal y transversal, su regenerado es escaso, o bien su composición y estructura responden a una cierta antropización.	
Pobre	El bosque de ribera cuenta con una apreciable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el regenerado es prácticamente inexistente, o bien la composición y estructura muestran evidentes signos de artificialidad.	
Malo	El bosque de ribera presenta una notable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el bosque no tiene regeneración natural, o bien su composición y estructura evidencian una falta completa de valor ecológico.	

La determinación del estado final del bosque ripario se realizará a partir de la puntuación numérica obtenida tras la agregación de los indicadores parciales (Tabla 7-12). En algunos casos, en los que la puntuación se encuentra asociada a dos posibles estados, la identificación final se llevará a cabo considerando las puntuaciones parciales de cada indicador, como se puede observar en la siguiente tabla de asignaciones. En este último caso, el código de valores obtenido por cada parámetro es independiente del orden de los parámetros.

Tabla 7-12. Código de asignación del valor final del índice RFV a partir de la puntuación de los cuatro indicadores parciales

Suma	Código	
20		
19		
18		
17	5444	5552-5543
16	4444	5533
15		
14	4433	5432
13	4333	5422-5332-4432
12	3333	5322-4422-4332-5421
11	4322-3332	5411-4421
10	3322	4311-3321
9	3222	4311-3321
8	2222	3311-3221
7	3211-2221	
6	2211	
5	2111	
4	1111	

En la evaluación de las condiciones actuales del corredor ripario del río Chisacá (Bogotá, Colombia), García (2014) concluyó que se debe aplicar el índice RFV en cada margen del río por separado, debido a que en un mismo tramo con frecuencia se presentaron diferencias considerables en cuanto a la continuidad y estructura del bosque ripario.

7.1.3 Otros indicadores

Considerando la clasificación morfológica propuesta, se pueden considerar los siguientes indicadores como soporte para la evaluación de las presiones antrópicas, procesos y respuestas morfológicas a dos escalas fundamentales: segmento y tramo. Lo anterior siguiendo la propuesta de Gurnell et al. (2016).

7.1.3.1 *Escala de segmento*

Los procesos claves a esta escala son el tamaño del corredor ripario, las funciones de la vegetación de ribera, los procesos de sucesión y provisión de madera. Indicadores para ello pueden ser:

- Ancho promedio del corredor ripario.
- Continuidad de la vegetación riparia a lo largo del río.
- Edad de la estructura de la vegetación de ribera.

7.1.3.2 *Escala de tramo*

Los procesos claves a esta escala son la extensión de la inundación, tipo y dimensiones de las llanuras inundables y las dinámicas de la vegetación de ribera. Indicadores para ello pueden ser:

- Porcentaje de la llanura inundable accesible para el flujo de la inundación.
- Presencia de unidades morfológicas asociadas a la ribera.
- Porcentaje del corredor ripario con vegetación de ribera
- Árboles maderables de gran porte o árboles caídos dentro de la vegetación de ribera.
- Abundancia de árboles y árboles maderables de gran porte dentro de cada unidad morfológica.

7.2 Indicador del estado y estructura de la ronda hídrica en sistemas lénticos

El indicador evalúa la presencia o ausencia de alteraciones significativas en la orilla (morfológicas o del sustrato) así como de la vegetación riparia (MAAM, 2013). Tal indicador es aplicable a todo tipo de sistemas lénticos. Para la evaluación, se considera alteración significativa la existencia de los siguientes tipos de impactos:

- Acumulación antrópica de materiales
- Existencia de actividades de extracción de materiales
- Ocupación por infraestructura antrópica (muros, jarillones, puertos)
- Roturación para usos agrícolas
- Reducción de la cobertura natural de vegetación riparia
- Actividad ganadera intensiva
- Erosión forzada por procesos antrópicos
- Plantación de especies exóticas
- Criterios adicionales que considera la autoridad ambiental competente.

Se considerará que existe una alteración significativa cuando dichas alteraciones, afecten en su conjunto a más del 1% de la superficie total de la ronda hídrica. Tales análisis se pueden realizar desde imágenes de sensores remotos con análisis de transectos en campo para su verificación.

De la misma manera, es necesario tomar como referencia el programa de monitoreo de los humedales que será definido por este Ministerio según lo establecido por el artículo 172 de la Ley 1753 de 2015.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altier L.S., Lowrance, R., Williams, R.G., Inamdar, S.P., Bosch, D.D., Sheridan, J.M., Hubbard, R.K., Thomas, D.L., 2002. Riparian ecosystem management model: Simulator for ecological processes in riparian zones. United States Department of Agriculture (USDA). Agricultural Research Service. Conservation Research Report 46, 216 pp.
- AMVA, CORANTIOQUIA; CORNARE; UNAL, 2007. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá-AMVA, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-CORANTIOQUIA, Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare-CORNARE, Universidad Nacional de Colombia- UNAL Sede Medellín. Medellín, Colombia. 238 pp.
- Baker, V. R., 2008. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects, *Geomorphology*, 101, 1-13.
- Basílico, G.O., De Cabo, L., Faggi, A., 2016. Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 17(2), 119-134.
- Bates, P. D., 2004. Remote sensing and flood inundation modelling, *Hydrol.Process.*, 18, 2593-2597.
- Bayley, P.B., 1995. Understanding large river: floodplain ecosystems. *BioScience*, 45(3), pp.153-158.
- Beechie TJ, Liermann M, Pollock MM, Baker, S., Davies J., 2006. Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology* 78: 124–141.
- Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A. D., Gurnell, A. M., Mosselman, E., 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 73(5), 2079-2100.
- Belletti, B., Rinaldi, M., Bussetini, M., Comiti, F., Gurnell, A.M., Mao, L., Nardi, L., Vezza, P., 2017. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. *Geomorphology*, 283, pp.143-157.
- Benito, G. y Thorndycraft, V., 2005. Palaeoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences, *J.Hydrol.*, 313, 3-15.
- Benito, G., Lang, M., Barriendos, M., Llasat, M. C., Francés, F., Ouarda, T., Thorndycraft, V., Enzel, Y., Bardossy, A. y Coeur, D., 2004. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. Review of scientific methods, *Nat.Hazards*, 31, 623-643.
- Bennett, N.D., Croke, B.F., Guariso, G., Guillaume, J.H., Hamilton, S.H., Jakeman, A.J., Andreassian, V., 2013. Characterising performance of environmental models. *Environmental Modelling & Software*, 40, 1-20.
- Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., Savenije, H., (Eds.), 2013. *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales*. Cambridge University Press.
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W. Y Benito, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe, *Hydrol.Sci.J./J.Sci.Hydrol.*, 51, 739-764, doi: 10.1623/hysj.51.5.739.
- Buckhouse, J.C., Elmore., W., 1991. Grazing practice relationships: Predicting riparian vegetation response from stream systems. In Bedell, T. (ed.). *Watershed management guide for the Interior Northwest*. Oregon State University Extension Service, Corvallis, Oregon. pp. 47-52.
- CARDER, 2011. Acuerdo No. 028 de 2011 “Por el cual se fijan los lineamientos para orientar el desarrollo de las áreas urbanas, de expansión urbana y de desarrollo restringido en suelo rural”. Corporación Autónoma Regional de Risaralda-CARDER.

Carvajal, J.H., 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá D.C., 2012

Charlton, R., 2008. Fundamentals of fluvial geomorphology. Routledge. Taylor and Francis Group. London and New York. 234 pp.

Chen, J., 1991. Edge effects: microclimatic patterns and biological responses in old-growth Douglas-fir forests. Ph. D. dissertation. University of Washington, Seattle, WA. 174 pp.

Chen, J., Saunders, S.C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Broszofsky, K. D., Mroz, G. D., Brookshire, B.L., Franklin, J.F., 1999. Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology: Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 49(4).

Chow, V.T., 1994. Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill Interamericana S.A. pp.113-121.

Comiti, F., Mao, L., Wilcox, A., Wohl, E. E., Lenzi, M. A. 2007. Field-derived relationships for flow velocity and resistance in high-gradient streams. *Journal of Hydrology*, 340, 48– 62.

Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., Gurnell, A. M., 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: a review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews*, 84(1), 56-86.

CORNARE, 2006. Elementos ambientales a tener en cuenta para la delimitación de retiros a corrientes hídricas y nacimientos de agua en el Suroriente Antioqueño. 2da ed. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), 38 pp.

CORNARE, 2011. Acuerdo No. 251 de 2011 “Por medio del cual se fijan determinantes ambientales para la reglamentación de las rondas hídricas y las áreas de protección o conservación aferentes a las corrientes hídricas y nacimientos de agua en el Oriente del departamento de Antioquia, jurisdicción de CORNARE”. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE).

COPORCALDAS, 2012. Resolución No. 561 de 2012 “Por la cual se fijan los lineamientos para demarcar la faja de protección de los cauces naturales de las corrientes urbanas y las reglas para su intervención”. Corporación Autónoma Regional de Caldas.

Daily, GC. 1997. Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC.

De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem function, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393–408.

De Groot R., Brander L., van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie P., Portela R., Rodriguez L., ten Brink P., van Beukering P., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1:50–61.

Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J.L., Blöschl, G. 2013. Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), pp.3295-3303.

Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., Llorente-Isidro, M., 2008. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Riesgos geológicos/geotecnia No. 1. Madrid, España.

Díez, A., Ballesteros, J. A., Bodoque, J., Eguíbar, M., Fernández, J., Génova, M., Laín, L., Llorente, M., Rubiales, J. y Stoffel, M., 2007. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas, *Boletín Geológico y Minero*, 118, 789-802.

Döring, M., Tockner, K., 2008. Morfología y dinámica de las áreas de ribera. En: Arizpe, Daniel; Mendes, Ana y Rabaça, João E. (coordinadores). *Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión*. Valencia, Generalitat Valenciana, pp. 69–83.

Dosskey, M.G., Vidon, P., Gurwick, N.P., Allan, C.J., Duval, T.P., Lowrance, R., 2010. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association*. 261-277.

Egozi, R., Ashmore, P. 2008: Defining and measuring braiding intensity. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 2121–38

Elosegui, A., Sabater, S., (Eds.), 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. ISBN: 978-96515-87-1 (http://www.fbbva.es/TLFU/microsites/ecologia_fluvial/index.htm).

Environmental Laboratory. 1987. Corp of engineers wetland delineation manual. Wetlands Research Program Technical Report Y.87-1. 143 p.

FEM (Freshwater Ecology and Management research group), s.f. Índice de calidad del bosque de ribera: QBR. QBR - Protocolo. Universitat de Barcelona, España.

FEMA (Federal Emergency Management Agency), 1998. *Managing Floodplain Development Through The National Flood Insurance Program*. Gobierno de los Estados Unidos. Official website of the Department of Homeland Security. <http://www.fema.gov/floodway>. Último acceso: 16 de mayo de 2016.

FEMAT (Forest Ecosystem Management and Assessment Team). 1993. *Forest Ecosystem Management: An Ecological, Economic and Social Assessment*. USDA Forest Service, BLM, USFWS, NOAA, EPA and National Park Service, Portland, Oregon.

Fernández, D., Barquín, J., Raven, P., 2011. A review of river habitat characterisation methods: indices vs. characterisation protocols. *Limnetica*, 30(2), 0217-234.

Finol, H., 1971. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes. *Revista Forestal Venezolana*, 14 (21), 29 - 42.

FISRWG (The Federal Interagency Stream restoration Working Group), 1998. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practice*. 15 Federal agencies of the US gov't. GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2: EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3.

Flores, A.N., Bledsoe, B.P., Cuhacyan, C.O., Wohl, E.E., 2006. Channel-reach morphology dependence on energy, scale, and hydroclimatic processes with implications for prediction using geospatial data. *Water Resources Research*, 42 (6).

García, R., 2014. Evaluación de condiciones actuales del corredor ripario del río Chisacá (Bogotá, Colombia) con el fin de identificar estrategias para su restauración. *RIAA*, 5(2), 181-204.

García-Arias, A., 2015. Desarrollo de un modelo ecohidrológico para el análisis de la dinámica de ecosistemas riparios. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, España. 228 pp.

Godesky, M., 2006. Mapas de peligrosidad por inundaciones en los Estados Unidos. En: Díez-Herrero, A., Lain-Huerta, L., Llorente-Isidro, M. *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*. Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, España.

González Del Tánago, M., García De Jalón, D., Lara, F., Garilleti, R., 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ingeniería Civil*, 143, 97-108.

González Del Tánago, M., Gurnell, A. M., Belletti, B., García De Jalón, D., 2016. Indicators of river system hydromorphological character and dynamics: understanding current conditions and guiding sustainable river management. *Aquatic sciences*, 78(1), 35-55.

Goudie, A.S., (Ed.), 2004. *Encyclopedia of Geomorphology*. Londres: Routledge. 1156 pp.

Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A., Cummins, K.W., 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41(8), pp.540-551.

Gurnell, A.M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Buijse, A.D., Bussetini, M., Camenen, B., Comiti, F., Demarchi, L., García De Jalón, D., González Del Tánago, M., Grabowski, R., Gunn, I., Habersack, H., Hendriks, D., Henshaw, A., Klösch, M., Lastoria, B., Latapie, A., Marcinkowski, P., Martínez Fernández, V., Mosselman, E., Mountford, J.O., Nardi, L., Okruszko, T., O'Hare, M.T., Palma, M., Percopo, C., Surian, N., van de Bund, W., Weissteiner, C., Ziliani, L., 2016. A multiscale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquat. Sci.* 78 (1):1–16. <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-015-0424-5>.

Hashimoto, T., Stedinger, J.R., Loucks, D.P., 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), pp.14-20.

Haug, G. H., Huguen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C., Röhl, U., 2001. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.

Hidroconsulta (2015). Modelación hidrológica e hidráulica y el análisis geomorfológico, ecosistémico y socioeconómico de las zonas urbanas y suburbanas de los municipios ribereños del río Magdalena en su cuenca alta y media, en desarrollo del proyecto piloto que tiene por objeto el acotamiento de la ronda hídrica y la identificación de zonas de riesgo por inundación. Segunda Etapa de la Fase II. Contrato No. 513 de 2014. Informe final. Inédito.

Hidroconsultores (2015). Ajuste de los criterios para el acotamiento de rondas hídricas en zonas urbanas e implementación de los criterios en trece cuerpos de agua de la ciudad de Cartagena, departamento de Bolívar. Contrato No. 415 de 2014. Informe final. Inédito.

Holdridge, L., 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Translation of: *Life zone ecology*, 1967.

Holmgren, M., Scheffer, M., Ezcurra, E., Gutiérrez, J. R., Mohren, G. M., 2001. El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(2), 89-94.

Horritt, M., Bates, P., 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *J.Hydrol.*, 268, 87-99.

Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), pp.275-370.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), INGEOMINAS (Instituto colombiano de Geología y Minería), MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), 2009. Formulario único nacional para el inventario de puntos de agua subterránea. Instructivo diligenciar el formulario. 8 pp.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2013a. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2013b. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. Diciembre de 2013, Bogotá D.C., Colombia.

Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. y Flórez, C. (Eds.), 2015. Colombia Anfibia, un país de humedales. Volumen 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 pp.

Jarret, R.D., 1984. Hydraulics of high - Gradient streams. *Journal of Hydrology Engineering ASCE*, 1519 - 1539.

Jiménez, M., 2015. Morphological representation of drainage networks, implications on solute transport and distributed simulation at the basin scale. Tesis doctoral, UNAL, Medellín.

Jiménez, M. A., Wohl, E., 2013. Solute transport modeling using morphological parameters of step-pool reaches, *Water Resour. Res.*, 49, 1345–1359, doi: 10.1002/wrcr.20102.

Johnson, S.L., 2004. Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61 (6): 913–923. DOI: 10.1139/f04-040.

Johnson, R.R., Carothers, S.W., Simpson, J.M., 1984. A riparian classification system. In: Warner, R.E and Hendrix, K.M. (eds.), *California riparian systems*. University of California Press, Berkeley. pp. 375-382.

Junk, W.J., Bayley, P.B., Sparks, R.E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), pp.110-127.

Kidson, R., Richards, K. S., 2005. Flood frequency analysis: assumptions and alternatives. *Progress in Physical Geography*, 29(3), 392-410.

Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(1), 13-24

Knighton, D.A., 1998. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, 383 pp., Edward Arnold, London.

Kutschker, A., Brand, C., Miserendino, M. L. 2009. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología austral*, 19(1), 19-34.

Laio, F., Di Baldassarre, G., Montanari, A., 2009. Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes, *Water Resour. Res.*, 45, W07416, doi:10.1029/2007WR006666.

Lewin, J., 1989. Floods in fluvial geomorphology. En: Beven, K. y Carling P., (Eds.), 1989. *Floods: Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications*. John Wiley & Sons New York. p. 265-284.

Leite, G.F., Silva, F.T.C., Gonçalves, J.F.J., Salles, P., 2015. Effects of conservation status of the riparian vegetation on fish assemblage structure in neotropical headwater streams. *Hydrobiologia*, 762(1), pp.223-238.

Leopold, L.B., 1994. *A View of the River*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.

Lewis, L., Clark, L., Krapf, R., Manning, M., Staats, J., Subirge, T., Townsend, L., Ypsilantis, B., 2003. Riparian area management: Riparian wetland soils. Technical Reference 1737-19. Bureau of Land Management, Denver, CO. BLM/ST/ST-03/001+1737. 109 pp.

Londoño, C. 2001. Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales, caracterización, planificación, administración. Universidad del Tolima.

López-Delgado, E., Vásquez-Ramos, J., Villa-Navarro, F., Reinoso-Florez, G., 2016. Evaluación de la calidad del bosque de ribera, utilizando un método simple y rápido en dos ríos de bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga*, 1(10).

Lowrance R, Leonard R, Sheridan J., 1985. Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40 (1): 87.

Lowrance, R., Altier, L.S., Williams, R.G., Inamdar, S.P., Bosch, D.D., Sheridan, J.M. and Thomas, D.L., 1998. The riparian Ecosystem Management Model (REMM): Simulator for ecological processes in buffer systems. In: *Proceeding of the First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, Las Vegas, NV. pp.1: 81-88.

Luederitz C, Brink E, Gralla F, Hermelingmeier V, Meyer M, Niven L, Partelow S, Rau A, Sasaki R, Abson D, Lang D, Wamsler C, Wehrden H. 2015. A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research. *Ecosystem Services* 14:98–112.

MAAM (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España), 2013. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para indicadores hidromorfológicos. Julio de 2013.

Magdaleno, F., Martínez, R., Roch, V., 2010. Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil*, 157, 85-96.

Malanson, G.P., 1993. *Riparian landscapes*. Cambridge studies in ecology. 1. Landscape ecology. 2. Riparian ecology. I. Title. II. Series. QH541.15.L35M35 1993. Cambridge Univ Press. ISBN 0 521 38431 1 hardback. 296 pp.

MARM (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino), 2011. *Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables*. Capítulo 8: Delimitación de dominio público hidráulico probable y de la zona de flujo preferente y zonificación de la inundabilidad. Gobierno de España. 349 pp.

Martínez, J.I., 2009. La historia cenozoica del fenómeno del Niño. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 33, 491-511.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), 2010. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C., Colombia. Marzo de 2010. 124 pp.

Merritt, D. M., 2013. Reciprocal Relations between Riparian Vegetation, Fluvial Landforms, and Channel Processes. In: Wohl, E. (ED), *Fluvial geomorphology*, Vol. 9. 219-243 pp.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), 2012. *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*, República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. 124 pp.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), 2013. *Mapa de cuencas hidrográficas objeto de plan de ordenación y manejo*. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), 2014. *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de ordenación y manejo de Cuencas hidrográficas*. Documento publicado para el Proyecto “Formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento Ambiental del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como una Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País”. Bogotá D.C., noviembre de 2014. 122 pp.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), 2015. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Textos: Ospina Arango, Olga Lucia; Vanegas Pinzón, Silvia; Escobar Niño, Gonzalo Alberto; Ramírez, Wilson; Sánchez, John Jairo. Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), UNAL (Universidad Nacional de Colombia), 2012. Informe final del Contrato Interadministrativo No. 377 de julio de 2012 entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Inédito.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), UNAL (Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín), 2013. Informe Final del Convenio Interadministrativo 191 del 29 de julio de 2013 entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Inédito.

Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), CORNARE (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare), 2016. Convenio Interadministrativo MADS-CORNARE No. 366-2015. Informe Final: Propuesta metodológica de estimación de caudales ambientales a escala regional.

Minambiente, IDEAM, IAVH, INVEMAR, 2017. Mapa de humedales de Colombia versión 2.0 a escala 1:100.000.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente), 2002. Política Nacional para Humedales interiores de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Julio de 2002. 67 pp.

Mo, K.C., Kousky, V.E., 1993. Further analysis of the relationship between circulation anomaly patterns and tropical convection. *J. Geophys. Res.* 98 (D3), 5103– 5113.

Montgomery, D. R., Buffington, J. M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. (U. d. Washington, Ed.) *Geological Society of America* (105), 596-611.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE*, 50(3), 885-900.

Munné, A., Solá, C., Prat, N., 1998. QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua*, 175, 20–37.

Munné, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N., Rieradevall, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13 (2), 147-163.

Naggettini, M., Silva, A.T., 2017. *Fundamentals of Statistical Hydrology*. Springer International Publishing. Doi: 10.1007/978-3-319-43561-9.

Naiman, R.J., Decamps, H., Pollock, M., 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological applications*, 3(2), pp.209-212.

OMM (Organización Meteorológica Mundial), 2011. Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II, Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. WMO-No. 168. Sexta edición, 2011. ISBN 978-92-63-30168-0.

OMM (Organización Meteorológica Mundial), UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), 2012. Glosario Hidrológico Internacional. WMO-No. 385. Ginebra, Suiza. ISBN 978-92-63-03385-8.

Opperman, J.J., Galloway, G.E., Fargione, J., Mount, J.F., Richter, B.D., Secchi, S., 2009. Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. *Science*, 326 (5959), pp.1487-1488.

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.

Pinto-Correia, T., 2008. Análisis del paisaje y del papel estructurante de los corredores ripícolas. n: Arizpe, Daniel; Mendes, Ana y Rabaça, João E. (coordinadores). Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión. Valencia, Generalitat Valenciana, pp. 122-141.

Plate, E.J., 2002. Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267(1), pp.2-11.

Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R.E., Stromberg, J. C., 1997. The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.

Posada-Posada, M.I.; Arroyave-Maya, M. del P. 2015. Análisis de la calidad del retiro ribereño para el diseño de estrategias de restauración ecológica en el río La Miel, Caldas, Colombia. *Revista EIA*, 12(23) enero- junio, pp. 117- 128.

Poveda, G., 2004. La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, Vol. 28 (107), 201-222.

Poveda, G., Vélez, J. I., Mesa, O., Hoyos, C. D., Mejía, J. F., Barco, O. J., Correa, P. L., 2002. Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*, 6, 121-130.

Poveda, G., Álvarez, D. M., Rueda, Ó.A., 2011. Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics*, 36(11-12), 2233-2249.

Poveda, G., Álvarez, D.M., 2012. El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. *Revista de Ingeniería*, (36), 65-76.

Poveda, G., & Mesa, Ó. J., 2015. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(1), 21-37.

Prieto-Cruz, A., Arias-García, J.C., Rudas-Lleras, A. Vegetación de humedal. Capítulo IX. 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.

Prosser, I.P., L. Karssies, R. Ogden and P.B. Hairsine. 1999. Using buffers to reduce sediment and nutrient delivery to streams. Chapter in Price, P. and S. Lovett (eds) 1999. Riparian Land Management Technical Guidelines, Volume 2: On ground management tools and techniques, LWRRDC Canberra. http://www.rivers.gov.au/acrobat/techguidelines/tech_guide_vol2_chapd.pdf.

Pusey, B.J., Arthington, A.H., 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research*, 54(1), pp.1-16.

Rahmstorf, S., 2002. Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature* 419.6903 (2002): 207-214.

Rayne S, Henderson G, Gill P, Forest K., 2008. Riparian Forest Harvesting Effects on Maximum Water Temperatures in Wetland-sourced Headwater Streams from the Nicola River Watershed, British Columbia, Canada. *Water Resources Management* 22 (5): 565–578. DOI: 10.1007/s11269-007-9178-8.

Restrepo-Zambrano, D.F., 2006. Delimitación del humedal desde una perspectiva hidrológica Capítulo VII. 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.

Rinaldi, M., Belletti, B., Van de Bund, W., Bertoldi, W., Gurnell, A., Buijse, T., Mosselman, E., 2013. Review on eco-hydromorphological methods. Deliverable 1.1 REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment management) project, 2007-2013.

Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Bussetini, M., Mao, L., Gurnell, A.M., 2015. The Geomorphic Units Survey and Classification System (GUS), Deliverable 6.2, Part 4, of REFORM.

Rojas, S., Estupiñán-Suárez, L.M., 2016. Sensores remotos: principios y aplicaciones. Capítulo V. 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.

Rosgen, D. L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169–199.

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.

Salazar G., S.A., 2013. Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de "retención de agua en el territorio" Tesis doctoral. Editorial Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/29329.

Sarache S., M., 2015. Una propuesta técnica para el fortalecimiento de la normatividad colombiana en relación con la definición de ronda hidráulica. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Schumm, S.A., 1977. *The Fluvial System*. New York: Wiley-Interscience. 338 pp.

Swanson, F.J., Kratz, T.K., Caine, N., Woodmansee, R.G., 1988. Landform effects on ecosystem patterns and processes. *BioScience*, 38(2), pp.92-98.

Tobler, Waldo. 1987. "Measuring Spatial Resolution", *Proceedings, Land Resources Information Systems Conference*, Beijing, pp. 12-16.

Tobler, Waldo. 1988. "Resolution, Resampling, and All That", pp. 129-137 of H. Mounsey and R. Tomlinson, eds., *Building Data Bases for Global Science*, London, Taylor and Francis.

Turner MG, Chapin III, F.S., 2005. Causes and consequences of spatial heterogeneity in ecosystem function. In: Lovett, G.M., Jones, C.G., Turner, M.G., Weathers, K.C. (Eds.), *Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes*. Springer-Verlag, New York, pp. 9–30.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A.M., 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 236 pp.

Wohl, E., Bledsoe, B. P., Jacobson, R. B., Poff, N. L., Rathburn, S. L., Walters, D. M., Wilcox, A. C., 2015. The natural sediment regime in rivers: broadening the foundation for ecosystem management. *BioScience*, 65(4), 358-371.

Zhang, W., Montgomery, D. R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. *Water resources research*, 30(4), 1019-1028.

Zinck, A., 2012. Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series. ISBN: 90 6164 339 2.

ANEXO I. FORMATOS PARA ENTREVISTA CON COMUNIDADES

Anexo I.1. Formato para inundaciones fluviales lentas

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES			
¿SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES EN LA ZONA?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS <input type="checkbox"/>	Entre 31 y 50 años <input type="checkbox"/>		
Entre 5 y 15 años <input type="checkbox"/>	Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/>		
Entre 16 y 30 años <input type="checkbox"/>	Mayor a 75 años <input type="checkbox"/>		
¿Conoce la fecha exacta? <input type="checkbox"/>	¿Cuál fué? <input type="checkbox"/>		
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS?			
Departamento		Municipio o Distrito	
Barrio o Localidad		Vereda o Centro Poblado	
Nombre de la corriente			
Delimitación del lugar			
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA INUNDACIÓN? <input type="checkbox"/>			
Nivel alcanzado:		Duración (horas, días):	
Personas afectadas:		Daños:	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura <input type="checkbox"/>	Con Dudas <input type="checkbox"/>		
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura <input type="checkbox"/>	Con Dudas <input type="checkbox"/>		
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable <input type="checkbox"/>	Poco Fiable <input type="checkbox"/>	Nada Fiable <input type="checkbox"/>	
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA		PERSONA QUE ENCUESTA	
Anónimo <input type="checkbox"/>	Nombre y Apellidos:		
Nombre y Apellidos		Responsabilidad:	
Dirección			
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20 <input type="checkbox"/>	41-50 <input type="checkbox"/>		
21-30 <input type="checkbox"/>	51-75 <input type="checkbox"/>		
31-40 <input type="checkbox"/>	76-100 <input type="checkbox"/>		
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:			
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA :			

Anexo I.2. Formato para avenidas torrenciales

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES			
¿SE HAN PRESENTADO AVENIDAS TORRENCIALES EN LA ZONA?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NS/R	<input type="checkbox"/>
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS	<input type="checkbox"/>	Entre 31 y 50 años	<input type="checkbox"/>
Entre 5 y 15 años	<input type="checkbox"/>	Entre 51 y 75 años	<input type="checkbox"/>
Entre 16 y 30 años	<input type="checkbox"/>	Mayor a 75 años	<input type="checkbox"/>
¿Conoce la fecha exacta?	<input type="checkbox"/>	¿Cuál fué? _____	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS?			
Departamento		Municipio o Distrito	
Barrio o Localidad		Vereda o Centro Poblado	
Nombre de la corriente			
Delimitación del lugar			
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA AVENIDA TORRENCIAL? <input type="checkbox"/>			
Nivel alcanzado:		Duración (horas, días):	
Tipo Depósitos (rocas, árboles, barro)			
Tamaño de los depósitos:			
Personas afectadas:		Daños:	
¿La avenida coincidió con un evento de?			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
Movimiento en masa	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
¿Cuál? _____			
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura	<input type="checkbox"/>	Con Dudas	<input type="checkbox"/>
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura	<input type="checkbox"/>	Con Dudas	<input type="checkbox"/>
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable	<input type="checkbox"/>	Poco Fiable	<input type="checkbox"/>
		Nada Fiable	<input type="checkbox"/>
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA		PERSONA QUE ENCUESTA	
Anónimo	<input type="checkbox"/>	Nombre y Apellidos:	
Nombre y Apellidos			
Dirección		Responsabilidad:	
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20	<input type="checkbox"/>	41-50	<input type="checkbox"/>
21-30	<input type="checkbox"/>	51-75	<input type="checkbox"/>
31-40	<input type="checkbox"/>	76-100	<input type="checkbox"/>
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:			
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA :			

ANEXO II. FORMATOS PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS

Anexo II. 1. Formato para inundaciones fluviales lentas

FORMATO PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS			
FUENTE			
Análisis multitemporal	<input type="checkbox"/>	Encuesta	<input type="checkbox"/>
Hemeroteca	<input type="checkbox"/>	Estudios/investigaciones	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>	¿Cuál?	
DATOS SOBRE EL EVENTO			
Fecha			
Subzona hidrográfica	Municipio/distrito		
Nivel subsiguiente	Barrio/Localidad		
Cuerpo de agua	Vereda/Centro poblado		
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA ZONA			
¿Hay estación de precipitación? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	¿Hay estación de caudal? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Código de la estación:	Código de la estación:		
Nombre de la estación:	Nombre de la estación:		
Magnitud (mm)	Magnitud (m ³ /s)		
Duración (hrs)	Duración (hrs)		
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	<input type="checkbox"/>	Mayor que el de:	
De los más grandes	<input type="checkbox"/>	Menor que el de:	
Recurrencia media	<input type="checkbox"/>	Similar al de:	
Periódico	<input type="checkbox"/>	Como el de los años:	
LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA			
Coordenadas Punto			
Coordenadas Polígono			
Indicaciones de lugares			
Área de la zona afectada respecto al área de la geoforma correspondiente			
<10%	<input type="checkbox"/>	10-25%	<input type="checkbox"/>
26-50%	<input type="checkbox"/>	51-75%	<input type="checkbox"/>
76-100%	<input type="checkbox"/>		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por la inundación			
<20cm	<input type="checkbox"/>	76-100cm	<input type="checkbox"/>
20-50cm	<input type="checkbox"/>	101-200cms	<input type="checkbox"/>
51-75cm	<input type="checkbox"/>	>200cms	<input type="checkbox"/>
b) Velocidad			
< 0.25 m/s	<input type="checkbox"/>	0.25-0.5 m/s	<input type="checkbox"/>
0.51-0.75 m/s	<input type="checkbox"/>	0.76-2 m/s	<input type="checkbox"/>
2.01-3.0 m/s	<input type="checkbox"/>	> 3.0 m/s	<input type="checkbox"/>
c) Características del material depositado:			
d) Descripción de las afectaciones y daños producidos por el evento			
Número de vidas perdidas:	Pérdidas económicas:		
Número de damnificados:	Medio afectado: Agua subterránea ▼		
Sector económicos afectados:	Otro medio afectado: Flora ▼		

Anexo II. 2. Formato para avenidas torrenciales

FORMATO PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS VALIDADOS			
FUENTES CONSULTADAS			
Análisis multitemporal (evidencias)	<input type="checkbox"/>	Encuesta	<input type="checkbox"/>
Hemeroteca	<input type="checkbox"/>	Estudios/investigaciones	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>	¿Cuál? _____	
DATOS SOBRE EL EVENTO			
Fecha			
Subzona hidrográfica	Municipio/distrito		
Nivel subsiguiente	Barrio/Localidad		
Cuerpo de agua	Vereda/Centro poblado		
DETONANTE DE LA AVENIDA TORRENCIAL			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
Movimiento en masa	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
¿Cuál? _____			
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA ZONA			
¿Hay estación de precipitación? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	¿Hay estación de caudal? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Código de la estación:	Código de la estación:		
Nombre de la estación:	Nombre de la estación:		
Magnitud (mm)	Magnitud (m³/s)		
Duración (hrs)	Duración (hrs)		
REGISTROS SISMICOS (Acelerógrafo)			
Código de la estación:	Aceleración (m²/s)		
Nombre de la estación:	Profundidad (m)		
Duración (s)			
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	<input type="checkbox"/>	Mayor que el de:	
De los más grandes	<input type="checkbox"/>	Menor que el de:	
Recurrencia media	<input type="checkbox"/>	Similar al de:	
Periódico	<input type="checkbox"/>	Como el de los años:	
LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA			
Coordenadas Punto			
Coordenadas Polígono			
Indicaciones de lugares			
Área de la zona afectada respecto al área de la geoforma correspondiente			
<10%	<input type="checkbox"/>	10-25%	<input type="checkbox"/>
26-50%	<input type="checkbox"/>	51-75%	<input type="checkbox"/>
76-100%	<input type="checkbox"/>		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por el flujo de tierra, barro o detritos.			
<20cm	<input type="checkbox"/>	76-100cm	<input type="checkbox"/>
20-50cm	<input type="checkbox"/>	101-200cms	<input type="checkbox"/>
51-75cm	<input type="checkbox"/>	>200cms	<input type="checkbox"/>
b) Características de las rocas depositadas:			
Descubiertas	<input type="checkbox"/>	Semidescubiertas	<input type="checkbox"/>
Casi cubierta en totalidad	<input type="checkbox"/>		
c) Color de la cubierta de líquenes en las rocas depositadas:			
Ninguno	<input type="checkbox"/>	Negro	<input type="checkbox"/>
Negros-Blancos	<input type="checkbox"/>	Negros-Blancos-Verdes	<input type="checkbox"/>
d) Estado de los clastos			
Sin meteorizar	<input type="checkbox"/>	En meteorización	<input type="checkbox"/>
Meteorizados	<input type="checkbox"/>		
e) Espesor del suelo depositado:			
0-10 cm	<input type="checkbox"/>	11-20 cm	<input type="checkbox"/>
> 20cm	<input type="checkbox"/>		
f) Incisión de la ladera donde ocurrió el evento:			
Angulada	<input type="checkbox"/>	Semiangulada	<input type="checkbox"/>
Redondeada	<input type="checkbox"/>		
g) Evidencias de daños en la vegetación: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
Edad aproximada de cuando ocurrió la afectación			
h) Descripción de las afectaciones y daños producidos por el evento			
Número de vidas perdidas:	Pérdidas económicas:	Agua subterránea	▼
Número de damnificados:	Medio afectado:	Agua superficial	▼
Sectores económicos afectados:	Otro medio afectado:		

ANEXO III. CRITERIOS MÍNIMOS A CONSIDERAR PARA LA OCUPACIÓN DE RONDAS HÍDRICAS

La realización de cualquier actividad que involucre la ocupación permanente o temporal de la ronda hídrica está sujeta a lo dispuesto en las directrices para el establecimiento de estrategias para su manejo ambiental (numeral 6.2). A continuación, se definen algunos criterios mínimos que se deben tener en cuenta en el uso y ocupación de los cauces, cuando esta ocupación también afecte la ronda:

Criterios generales por tipo de ríos:

Para la ocupación del cauce y la ronda hídrica en ríos de montaña deben considerarse los rasgos descritos en el numeral 2.2.2.1., lo cual debe incluir el cauce natural activo en su totalidad (cauce permanente), las bancas y las zonas de acumulación de sedimentos activos que son la prueba de su comportamiento torrencial. Eventos trágicos recientes (e.g. Salgar, Antioquia o Mocoa, Putumayo) han mostrado el gran impacto que tiene este tipo de corriente cuando existen personas, bienes y servicios expuestos en las áreas pertenecientes a su dinámica. La gran velocidad y capacidad de transporte de material que tienen estos sistemas tienen, hace que la mayoría de obras de “protección” conocidas sea inefectiva. Por ello se debe evitar la ocupación permanente en estas áreas.

En los ríos sinuosos, debe analizarse el conjunto de rasgos descritos en el numeral 2.2.2.2. Es muy importante reconocer que cualquier tipo de obra de intervención del río debe estar por fuera de la faja de meandros, y si se pretende intervenir el cauce con obras de paso o adaptación debe hacerse considerando la faja de movilidad natural de la corriente.

Los ríos trezados son altamente variables, con cambios frecuentes en la posición de los cauces y barras. Es común el cambio fuerte en el gradiente, lo que les hace extremadamente peligrosos si llegan a existir asentamientos humanos o actividades económicas en sus áreas de influencia directa, Tal dinámica cambiante debe ser contemplada para evitar ocupaciones antrópicas permanentes.

Los ríos anastomosados pueden tener grandes llanuras de inundación las cuales ocupan durante las épocas lluviosas. Se debe considerar el conjunto de cauces sin importar que sólo conduzcan agua ocasionalmente, o incluso parezcan abandonados. Se deben reconocer los diques naturales, o segmentos de éstos, pues se considera que el conjunto del cauce puede quedar comprendido entre estos rasgos geomorfológicos naturales. Las obras o intervenciones que se pretendan en este tipo de corrientes deben reconocer y respetar su dinámica propia. En tal sentido, es muy importante mantener y conservar las zonas de deriva de estos ríos que por sus dimensiones pueden ocasionar grandes daños en la infraestructura localizada en sus islas, cauces secos estacionales, orillas o llanuras de inundación.

Los complejos de humedales que se originan de la interacción del río, los cauces y entre ellos mismos, requieren de la funcionalidad en su conjunto. Se deben evitar las modificaciones de sus cauces, la construcción de diques o los rellenos ya que estos alteran significativamente su dinámica natural.

Obras de protección:

En el caso de que sea necesaria la construcción de obras de protección hidráulica, se deben hacer por fuera de la ronda hídrica, de tal forma que se permita el desarrollo de la dinámica geomorfológica e hidrológica del cuerpo de agua y se reconozca el carácter cambiante de la misma.

Ocupación de cauces por obras de captación o presas:

Las obras de captación o presas (que se utilizan en acueductos, generación de energía, riego, entre otros) son barreras que interrumpen la continuidad del flujo ocasionando cambios drásticos en el régimen de caudales que a su vez afectan la temperatura, el caudal, el transporte de sedimentos y

los ecosistemas acuáticos. De igual forma, aumentan también el riesgo hidrológico y de daños por inundaciones ya que provocan desequilibrios en los cauces.

La construcción de estas obras debe hacerse de tal forma que se garantice la continuidad del transporte de sedimentos que el río lleva considerando sus atributos de magnitud, estacionalidad, duración (e.g. compuertas a diferentes niveles de presa que permitan la descarga continua o periódica de los sedimentos según sea la capacidad de transporte de sedimentos de la corriente para diferentes períodos hidrológicos) y que se respete el caudal ambiental en los términos establecidos por la Autoridad Ambiental competente. Estos criterios deben incluirse como condicionantes para el diseño de las obras de captación y exigirse en los procesos de licenciamiento ambiental de dichas obras.

Ocupación del cauce por infraestructura vial, transporte y portuaria

Los puentes, pontones y obras hidráulicas de las vías y demás infraestructura de transporte, que ocupan el cauce de los ríos en forma longitudinal o transversal, modifican la dinámica hidrológica y geomorfológica del mismo, al estrechar, en la mayoría de los casos el cauce. Para este tipo de obras se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

Los terraplenes y estribos de los puentes deben estar por fuera de la faja de terreno que conforma la ronda hídrica, de tal forma que se permita el transporte permanente y temporal del agua y sedimentos y los demás procesos morfodinámicos propios del río, los cuales también deben ser considerados cuando las pilas estarán dentro del cauce o ronda. En los ríos meándricos, trenzados, anastomosados y en los abanicos y deltas, se debe evitar la construcción de este tipo de obras hidráulicas.

La distancia entre las pilas de los puentes debe permitir la continuidad en el transporte de agua y sedimentos que lleva el río en esta sección para el criterio de diseño escogido. Para ello se recomienda que las pilas, estribos, cimentaciones y demás elementos mojados deben ser paralelos a la corriente.

Todas las estructuras hidráulicas deberán diseñarse para permitir el paso de caudales máximos correspondientes al período de retorno de 100 años bajo los criterios ya establecidos en el apartado 6.1.2.

Las vías y demás infraestructuras de transporte que hacen ocupación lineal del cauce y sus riberas (incluso infraestructura portuaria), deben estar como mínimo por fuera de la franja de terreno definida por el componente hidrológico, es decir, por fuera de la mancha de inundación del caudal máximo de los 15 años, lo anterior sin perjuicio de tomar como punto de referencia para la evaluación las crecientes con período de retorno de 100 años bajo los criterios establecidos en el apartado 6.1.2. o en su defecto la ronda hídrica como tal. Se debe evitar que estas obras invadan transversalmente, los ríos o tramos de ríos, donde estos presentan abanicos, sinuosidad, o son trenzados, anastomosados o en deltas, ya que estas represan las aguas y pueden ocasionar desbordamiento del río.