

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

Bogotá, mayo de 2017

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
Juan Manuel Santos Calderón

MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Luis Gilberto Murillo Urrutia

VICEMINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Carlos Alberto Botero López

DIRECTORA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO
Luz Hicela Mosquera Mosquera

EQUIPO TÉCNICO

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Sergio Andrés Salazar Galán, Claudia Liliana Buitrago Aguirre.

Universidad Nacional de Colombia de Colombia Sede Medellín
Jaime Ignacio Vélez Upegui, José Humberto Caballero Acosta, Marleny Durango López, Laura Flórez Botero, Miriam Benjumea Hernández, Jenny Machado, José Manuel Mojica Vélez, Carolina Neme, Carlos Alberto Zarate Yepes, Clara Inés Villegas Palacio.

AGRADECIMIENTOS

Colaboradores de la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible durante el proceso de construcción desde 2012- 2014.

Profesionales: 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, Juan Diego González, Hilda María Palacio Betancur.

Directores: Claudia Patricia Pineda González, Carlos Arturo Álvarez, Luis Alfonso Escobar Trujillo, Ricardo Arnold Baduin Ricardo, Diana Marcela Moreno Barco.

Oficina Asesora Jurídica
Claudia Fernanda Carvajal Miranda, Héctor Abel Castellanos Pérez

Profesionales de las Direcciones Técnicas de Minambiente

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN.....	9
1 GENERALIDADES	11
1.1 Glosario	11
1.2 Antecedentes.....	12
1.3 Propósito de la Guía.....	13
2 MARCO CONCEPTUAL	14
2.1 Procesos geomorfológicos y fluviales	17
2.2 Cuerpos de agua en el sistema fluvial	24
2.2.1 Nacimientos.....	25
2.2.2 Tipos de ríos.....	25
2.2.3 Sistemas lénticos.....	32
2.2.4 Desembocaduras de ríos al mar	35
3 MARCO METODOLÓGICO	36
3.1 Fase 0. Acciones previas	38
3.2 Fase 1. Delimitación del cauce permanente o de la línea de mareas máximas.....	39
3.3 Fase 2. Caracterización físico-biótica y sociocultural y definición de medidas de manejo ambiental	39
3.3.1 Definición del límite funcional	39
3.3.2 Caracterización de las condiciones socio-culturales dentro del límite funcional.	41
3.3.3 Definición de medidas de manejo ambiental	41
3.4 Fase 3: Seguimiento y evaluación	41
4 FASE 0: ACCIONES PREVIAS.....	42
4.1 Priorización de cuerpos de agua para el acotamiento de su ronda hídrica	42
4.1.1 Criterios de priorización.....	42
4.1.2 Metodología para realizar el análisis multicriterio de priorización	45
4.2 Recopilación de información	45
4.2.1 Información requerida.....	45
4.2.2 Fuentes de información.....	46
4.3 Diseño preliminar de la estrategia de participación	47
4.4 Alistamiento institucional	48
4.4.1 Comisión conjunta.....	48
4.4.2 Diseño conceptual de la base de datos geográfica	48
4.4.3 Programación de actividades	48

5	FASE 1: DELIMITACIÓN DEL CAUCE PERMANENTE O DE LA LÍNEA DE MAREAS MÁXIMAS	49
5.1	Procedimiento para sistemas lóticos.....	50
5.1.1	Análisis multitemporal de la variación del cauce.....	50
5.1.2	Análisis geomorfológico.....	51
5.1.3	Análisis hidrológico.....	52
5.2	Procedimiento para sistemas lénticos.....	53
5.3	Procedimiento para cuerpos de agua continentales afectados por las mareas	53
6	FASE 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-BIÓTICA Y SOCIOCULTURAL Y DEFINICIÓN DE MEDIDAS DEMANEJO AMBIENTAL.....	54
6.1	Definición del límite funcional.....	54
6.1.1	Delimitación del componente geomorfológico	54
6.1.2	Delimitación del componente hidrológico.....	71
6.1.3	Delimitación del componente ecosistémico	85
6.1.4	Determinación de la envolvente para definir el límite funcional.....	97
6.1.5	Determinación de los elementos de la ronda hídrica establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011	97
6.2	Caracterización de las condiciones socio-culturales dentro del límite funcional	98
6.2.1	Caracterización de la ocupación del territorio y uso de los recursos naturales	98
6.2.2	Caracterización de actores.....	100
6.3	Definición de medidas de manejo ambiental	100
6.3.1	Definición de áreas homogéneas.....	101
6.3.2	Definición de estrategias de manejo en cada área homogénea.....	101
7	FASE 3: SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	104
7.1	Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR).....	104
7.1.1	Grado de cobertura vegetal natural de la zona ribereña.....	105
7.1.2	Estructura de la vegetación.....	105
7.1.3	Calidad de la cobertura vegetal.....	105
7.1.4	Grado de alteración del cauce	107
7.1.5	Interpretación de la calificación	108
7.1.6	Consideraciones adicionales.....	108
7.2	Índice de evaluación del bosque de ribera (RFV)	108
7.2.1	Determinar el nivel de banca llena del río (cauce permanente)	109
7.2.2	Determinar la superficie de análisis	109
7.2.3	Continuidad longitudinal del bosque de ribera	110
7.2.4	Continuidad transversal del bosque de ribera.....	110
7.2.5	Complejidad.....	111
7.2.6	Regeneración natural	111
7.2.7	Interpretación de la calificación	112
7.3	Otros indicadores	113

7.3.1	Escala de segmento	113
7.3.2	Escala de tramo.....	113
7.3.3	Indicador del estado y estructura de la ronda hídrica en sistemas lénticos.....	114
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	ANEXO I. FORMATOS PARA ENTREVISTA CON COMUNIDADES.....	123
	Anexo I.1. Formato para inundaciones fluviales lentas	123
	Anexo I.2. Formato para avenidas torrenciales	124
	ANEXO II. FORMATOS PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS.....	125
	Anexo II. 1. Formato para inundaciones fluviales lentas	125
	Anexo II. 2. Formato para avenidas torrenciales	126
	ANEXO III. CRITERIOS MÍNIMOS A CONSIDERAR PARA LA OCUPACIÓN DE RONDAS HÍDRICAS	127

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 a utilizar en ejercicios participativos de análisis de transectos.....	83
Tabla 6-6. Insumos base para la delimitación del componente ecosistémico.....	90
Tabla 6-7. Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje. Fuente: Londoño (2001).	94
Tabla 6-8. Cálculo de densidades de drenaje para diferentes cuencas de Colombia a escala 1:25000.	94
Tabla 6-9. Rangos de clasificación de áreas aferentes. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.	95
Tabla 6-10. Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.....	95
Tabla 7-1. Grado de cobertura de la zona de ribera.....	105
Tabla 7-2. Estructura de la cobertura.....	105
Tabla 7-3. Calidad de la cobertura.....	106
Tabla 7-4. Grado de naturalidad del cauce.....	107
Tabla 7-5. Interpretación de la calificación.....	108
Tabla 7-6. Criterios para la evaluación de la continuidad longitudinal.....	110
Tabla 7-7. Criterios para la evaluación de la continuidad transversal.....	111
Tabla 7-8. Criterios para la evaluación de la complejidad.....	111
Tabla 7-9. Criterios para la evaluación de la regeneración natural.....	112
Tabla 7-10. Código cualitativo para la determinación del estado final del bosque de ribera a partir del índice RFV.....	112
Tabla 7-11. Código de asignación del valor final del índice RFV a partir de la puntuación de los cuatro indicadores parciales.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas. Fuente: adaptado de Poff et al., (1997).	14
Figura 2-2. Importancia de las riberas en la regulación de transferencia de energía (radiación solar) y de material (orgánico e inorgánico) en los ecosistemas acuáticos, en particular sobre las comunidades de peces. Adaptado de Pusey y Arthington (2003).	16
Figura 2-3. Ejemplos de dinámicas dentro del sistema fluvial. Adaptado desde http://www.mdba.gov.au/	18
Figura 2-4. Zonas del sistema Fluvial de acuerdo con Schumm (1977). Fuente: Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	20
Figura 2-5. 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.	21
Figura 2-6. Material transportado y depositado en la avenida 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.	22
Figura 2-7. 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.	22
Figura 2-8. 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 Humberto Caballero Acosta.	23
Figura 2-9. Patrón de drenaje sinuoso confinado de un río de montaña. Río Penderisco, municipio de Urrao, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	23
Figura 2-10. Patrón de río trenzado confinado en corrientes de montaña. Río Herradura, municipio de Abriaquí, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.	24
Figura 2-11. Esquemmatización de un río recto de montaña con su forma típica en planta.	26
Figura 2-12. Delimitación de la extensión (franjas color lila y azul que representan sectores con depósitos de material grueso y fino respectivamente) de la avenida torrencial ocurrida entre el 31-03 y 01-04-2017 en el	27
Figura 2-13. Esquemmatización de un río sinuoso.	28
Figura 2-14. Tramo sinuoso del río Cauca donde se pueden observar los meandros abandonados (con y sin agua). Fuente: Google Earth (2017)	29
Figura 2-15. Esquemmatización de un río trenzado.	30
Figura 2-16. Río Trenzado en el Piedemonte llanero de Colombia. Fuente: Google Earth (2017)..	30
Figura 2-17. Esquemmatización de un río anastomosado.	31
Figura 2-18. Tramo anastomosado del río Magdalena. Fuente: Google Earth (2017)	32
Figura 2-19. Lagunas de origen glaciar y laguna del Otún. Fuente: Google Earth (2017).	33
Figura 2-20. Complejos de humedales que interactúan con la dinámica de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge. Fuente: Google Earth (2017).	33
Figura 2-21. Lagunas costeras a los dos márgenes del río Magdalena en su desembocadura en Barranquilla. Fuente: Google Earth (2017)	34
Figura 2-22. Vista parcial del delta externo del río Atrato en el Golfo de Urabá. Fuente: Google Earth (2017).	35
Figura 2-23. Llanuras mareales en el Pacífico. Fuente: Google Earth (2017)	35
Figura 3-1. Definición de la ronda hídrica de acuerdo con el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 discriminado para sistemas: lóticos (a) y lénticos (b). Imágenes adaptadas de FISRWG (1998). ...	36
Figura 3-2. Componentes físico-bióticas mínimas a ser consideradas para definir el límite funcional de las rondas hídricas. * La componente denominada "Hidrológica" se entiende en adelante como el componente que resume las funciones hidrológico-hidráulicas de la ronda hídrica.	37
Figura 3-3. Fases y actividades para el acotamiento de la ronda hídrica.	38
Figura 3-4. Componentes físico-bióticos para fijar el límite funcional de la ronda hídrica en sistemas lóticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	40
Figura 3-5. Componentes físico-bióticos para fijar el límite funcional de la ronda hídrica en sistemas lénticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).	40

Figura 3-6. Límite funcional de la ronda hídrica como resultado de la superposición de los componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.	41
Figura 5-1. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente.....	50
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.	51
Figura 5-3. Geometría hidráulica hacia aguas abajo del ancho de banca llena. Fuente: Minambiente (2016)	52
Figura 6-1. Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico.	56
Figura 6-2. Relación de invarianza para el radio de curvatura R_c	60
Figura 6-3. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en la parte alta de una cuenca.	63
Figura 6-4. Componente geomorfológico para zonas con cambios de pendiente. A) de mayor a menor pendiente. B) de menor a mayor pendiente.	64
Figura 6-5. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para tramos sinuosos en corrientes de montaña.....	65
Figura 6-6. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para tramos trezados en corrientes de montaña.....	65
Figura 6-7. Componente geomorfológico para tramos anastomosados en corrientes de montaña.	66
Figura 6-8. Componente geomorfológico para corrientes trezadas en piedemontes.	67
Figura 6-9. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para corrientes sinuosas en llanuras.	68
Figura 6-10. Componente geomorfológico de las rondas hídricas 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 de la ronda hídrica para un delta externo.	70
Figura 6-13. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en un estuario.....	70
Figura 6-14. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en desembocaduras directas.	71
Figura 6-15. Componente hidrológico de las rondas hídricas poco intervenidas.	73
Figura 6-16. Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico	74
Figura 6-17. Esquematización del proceso metodológico.	76
Figura 6-18. 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).	78
Figura 6-19. Cartografía social de habitantes del río Chicagua, Depresión Momposina.	82
Figura 6-20. 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).....	83
Figura 6-21. Cruce de información hidrológica y testimonios de la comunidad asentada en el corredor aluvial. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012	84
Figura 6-22. Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico.....	86
Figura 6-23. Efectos del ancho de la franja riparia en el microclima. Adaptado de Chen (1991). ...	88
Figura 6-24. Efectos del ancho de la franja riparia en las corrientes. Adaptado de Chen (1991). ...	89
Figura 6-25. Delimitación del componente ecosistémico.....	89
Figura 6-26. Delimitación de zonas de vida.	91
Figura 6-27. Determinación de la densidad de drenaje por unidad geomorfológica.	94
Figura 6-28. (a) Esquema de determinación del Componente Ecosistémico y (b) ejemplo de aplicación – Quebrada El Perro, Manizales-Colombia.	96
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. Tomado de FEM (s.f.)	107
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).	110

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"*.

Con base en los criterios probados en diferentes casos de estudio en el territorio nacional, y retroalimentados con diferentes entidades del Sistema Nacional Ambiental, en la presente Guía se establece el alcance del "acotamiento" de las rondas hídricas, su importancia dentro de la dinámica geomorfológica, hidrológica y ecosistémica, así como sus características sociales. El enfoque tiene como principio rector la funcionalidad las rondas hídricas, en la medida que éstas son áreas en que 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, así como el espacio mínimo que debe tener un manejo ambiental que permita orientar aprovechamientos sostenibles de los recursos naturales y evitar la generación de condiciones de riesgo al ser áreas frecuentemente inundables. Sobre esta base, se establecen los criterios orientadores para definir las medidas de manejo ambiental para que en dichas áreas se dé alcance al objeto de protección y conservación, considerando las actuales alteraciones de origen antrópico en el sistema ribereño. El enfoque está planteado para ser desarrollado en cuatro fases: i) acciones previas, que involucra el alistamiento institucional de la Autoridad Ambiental competente (priorización, recopilación de información secundaria, revisión de necesidad de realizar comisión conjunta y/o consulta previa), ii) delimitación del cauce permanente de sistemas lóticos y lénticos, o de la línea de mareas máximas para el caso de cuerpos de agua desembocando al mar; iii) definición del límite funcional y su caracterización socio-cultural, así como la definición de medidas de manejo ambiental; iv) seguimiento (se sugieren indicadores asociados a la existencia y estado de vegetación de ribera como variable indicadora de fácil levantamiento y costo/eficiente) y evaluación.

Para la definición del límite funcional se deben considerar 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-hidráulico** (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). Sin embargo, considerando que las rondas hídricas han sido atractivas por la prestación de servicios ecosistémicos que brindan, (ej: tierras fértiles para el desarrollo agrícola, actividades comerciales y de transporte, prácticas culturales) se consideran dentro del análisis las intervenciones en las que se han modificado, o se está modificando, su funcionalidad para los tres aspectos físico-bióticos analizados. Para la definición de medidas de manejo ambiental, se incorpora una caracterización socio-cultural dentro del límite funcional, lo cual contribuye con la definición de áreas homogéneas para la definición de estrategias de manejo ambiental (preservación, restauración, usos sostenibles) que deben atender al objeto de conservación y se deben incorporar al ordenamiento territorial como determinante ambiental.

Lo anterior, considerando que las rondas hídricas por definición, están dentro de la categoría de "conservación y protección ambiental" dada la funcionalidad y los servicios ecosistémicos asociados que presta, por lo que su no consideración en el ordenamiento ambiental del territorio (en los términos del artículo 7 de la Ley 99 de 1993) hace que estas áreas se vayan degradando y pierdan sus atributos ambientales cuando no se dan manejos compatibles. En tal sentido, las rondas hídricas pueden catalogarse dentro de los "ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos" y hacen parte de la "estructura ecológica principal" de acuerdo con las definiciones dadas por el Artículo 2.2.3.1.1.3 del Decreto 1076 de 2015. En los mismos términos en el Decreto

1077 de 2015 se establece que: i) las “rondas hídricas” hacen parte de las “Áreas para la conservación y preservación del sistema hídrico” como “Elementos constitutivos naturales” del espacio público; ii) las rondas hídricas hacen parte de las “áreas de especial importancia ecosistémica” de las “áreas de conservación y protección ambiental” dentro de las “categorías de protección en suelo rural”.

El objetivo de la Guía es estandarizar y unificar criterios para el desarrollo técnico del acotamiento de las rondas hídricas por parte de las Autoridades Ambientales competentes. Para el logro de lo anterior, la Guía se ha estructurado en los siguientes capítulos. El capítulo 1 contiene las generalidades del proceso, lo cual incluye un glosario y antecedentes. 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 7 orientan el proceso mediante fases (0: acciones previas; 1: delimitación del cauce permanente y de la línea de mareas máximas; 2: caracterización de la ronda hídrica y definición de medidas de manejo ambiental; 3: seguimiento y evaluación) y sus actividades específicas que dan alcance al marco metodológico. Finalmente, se presentan 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/lecho y ronda hídrica (Anexo III),

1 GENERALIDADES

1.1 Glosario

A continuación, se presentan algunas definiciones que serán utilizadas en el desarrollo de la presente Guía.

- **Corriente permanente (continua, perenne):** Masa de agua que por lo general fluye en un cauce natural y no se interrumpe ni en el espacio ni en el tiempo durante todo el año hidrológico.
- **Corriente intermitente (efímera):** Masa de agua que por lo general fluye en un cauce natural y es respuesta directa a la precipitación o al flujo de una fuente discontinua de agua.
- **Nacimiento:** 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).
- **Período de retorno:** 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.
- **Sistema léntico:** Dícese de un hábitat de agua dulce caracterizado por aguas en calma o quietas (OMM y UNESCO, 2012).
- **Sistema lótico:** Característica de un hábitat de agua dulce fluyente (OMM y UNESCO, 2012).

1.2 Antecedentes

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH (MAVDT, 2010) tiene como objetivo principal: 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. Con relación al Objetivo 1 se proponen las siguientes estrategias:

Estrategia 1.2. Planificación: se encuentra orientada a establecer lineamientos específicos a nivel de la cuenca hidrográfica (aguas superficiales...), para orientar la gestión y el uso sostenible del agua, teniendo en cuenta las dinámicas de ocupación del territorio, de tal forma que se garantice el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, pero garantizando su conservación para las generaciones futuras y la supervivencia de los ecosistemas que dependen de él. Para tal fin se prevén líneas de acción estratégicas, entre ellas:

Promover la articulación de los planes de ordenamiento territorial a los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, como determinantes para la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.
(...)

Estrategia 1.3. Conservación: se orienta a la restauración y preservación de los ecosistemas considerados clave para la regulación de la oferta hídrica, tales como acuíferos, glaciares, páramos, humedales, manglares, zonas de ronda, franjas forestales protectoras, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, áreas marinas y costeras, entre otros. Para tal fin se prevén acciones entre ellas:

Promover y apoyar procesos nacionales, regionales y locales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, a través de acciones como la formulación e implementación de planes de manejo cuando haya lugar.

Adquirir, delimitar, manejar y vigilar las áreas donde se encuentran los ecosistemas clave para la regulación de la oferta del recurso hídrico.

En línea con lo anterior, 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), se tiene como referente la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia (MMA, 2002), la cual tiene como objetivo general el de propender por la conservación y el uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios

ecológicos, económicos y socioculturales, 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 a 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.

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 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, el cual fue probado en diferentes casos de estudio 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 u ocupación antrópica de las áreas de ribera. En el proceso de retroalimentación participaron diferentes entidades del Sistema Nacional Ambiental, con especial participación de las Autoridades Ambientales competentes y aportes de las diferentes direcciones técnicas del Minambiente.

1.3 Propósito de la Guía

En esta guía se establecen los criterios para el acotamiento de las rondas hídricas por parte de las Autoridades Ambientales competentes a través de un procedimiento estandarizado. Tales criterios orientarán el proceso de delimitación del límite físico-biótico de la ronda hídrica, la caracterización socio-cultural dentro de dicho límite, para llegar a establecer zonas homogéneas con sus medidas de manejo ambiental que apunten al logro del objeto de conservación en el corto, mediano y largo plazo.

2 MARCO CONCEPTUAL

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 son las franjas contiguas a los cuerpos de agua continentales, sean naturales o artificiales, estén en movimiento (ríos, quebradas, arroyos) o relativamente estancados (lagos, lagunas, pantanos, esteros), sean efímeros (intermitentes) o continuos (perennes). 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 de La Tierra (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 estas zonas de transición, 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 sustratos 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 vegetación de ribera y 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, el cual está fuertemente correlacionado con muchas características físico-químicas tales como temperatura, geomorfología del cauce y diversidad de hábitats, puede ser considerado como la "variable maestra" que limita la distribución y abundancia de especies y regula la integridad ecológica en los sistemas fluviales (Poff et al., 1997). Un resumen gráfico de ello puede verse en la Figura 2-1.

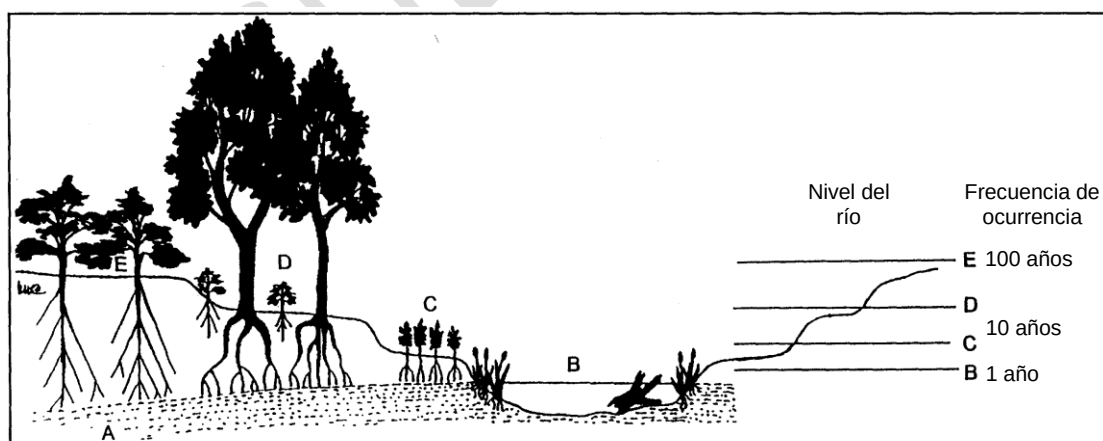


Figura 2-1. Relación del régimen natural de flujo y las rondas hídricas. Fuente: adaptado de Poff et al., (1997).

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 muchas especies (E).

Los bosques riparios son ecosistemas que se encuentran inmediatamente a ambos lados de quebradas y ríos, incluyendo los bancos aluviales, sistemas lénticos y terrazas de inundación, los cuales interactúan con el río en tiempos de crecidas o inundaciones (Olson et al., 2000). La zona ribereña o riparia, comprende la zona transicional entre un río, quebrada o corriente de agua (ecosistema acuático) y el ecosistema terrestre adyacente. Esta franja se caracteriza por un nivel freático alto y es altamente influenciada por las fluctuaciones en los niveles de agua (Posada et al., 2015). Estos sistemas son heterogéneos, complejos y difíciles de estudiar. Como zonas de transición, cumplen la función de filtro y actúan como sistemas depuradores al evitar la erosión de las riberas, amortiguar el ingreso de contaminantes al cuerpo de agua y regular la temperatura y la entrada de luz, factores importantes para la estructura y la dinámica de los diferentes niveles tróficos del ecosistema (Kutschker et al., 2009).

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). Adicionalmente, los sistemas lóticos suelen estar sujetos a pulsos de inundación en los cuales ocurre el desborde de las aguas hacia la llanura aluvial, lo que modifica 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).

Entre las características más relevantes de las 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 sometidos 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 potencial de vida salvaje (García-Arias, 2015).
- 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 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. Las rondas hídricas: 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 autóctonas y alóctonas 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). En la Figura 2-2 se presenta un resumen gráfico sobre las rondas hídricas y su relación con los procesos de transferencia de energía solar al ecosistema acuático y 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. Una explicación detallada puede verse en Pusey y Arthington (2003).

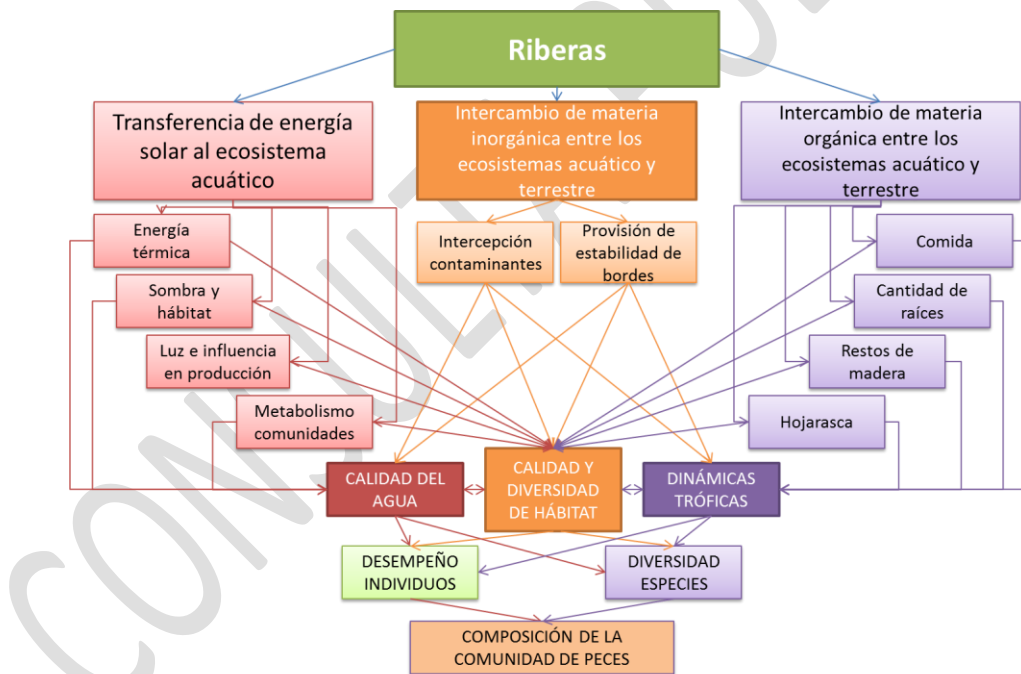


Figura 2-2. Importancia de las riberas en la regulación de transferencia de energía (radiación solar) y de material (orgánico e inorgánico) en los ecosistemas acuáticos, en particular sobre las comunidades de peces. Adaptado de Pusey y Arthington (2003).

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). Ésto significa 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 neo trópico, 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, a 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 socioeconómicos 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 las mismas, 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, conformado por la cuenca, cauces y otras entidades que interactúan o reaccionan con ellos, es un ejemplo de 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 (Posada, 1996). En la Figura 2-3 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 migratorias, 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 de 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.

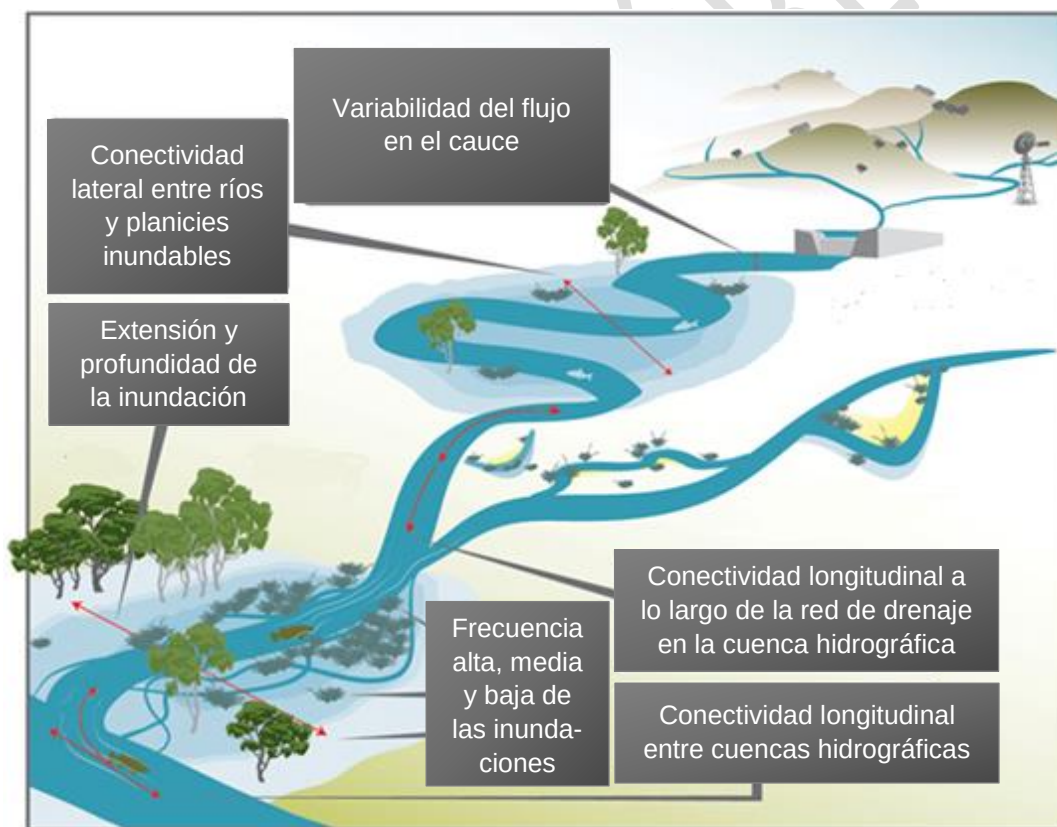


Figura 2-3. Ejemplos de dinámicas dentro del sistema fluvial. Adaptado desde <http://www.mdba.gov.au/>.

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 claves 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 (Figura 2-2). La vegetación de ribera tiene una clara relación con la dinámica geomorfológica, en la medida que las características hidrogeomorfológicas (e.g. geoformas y profundidades de la inundación) condicionan las dinámicas sucesionales vegetales y 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 (Merrit, 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 2-4), 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.

Entendiendo que es una simplificación, el modelo anteriormente descrito 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 interesantes de tener en cuenta en el momento de definir 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.

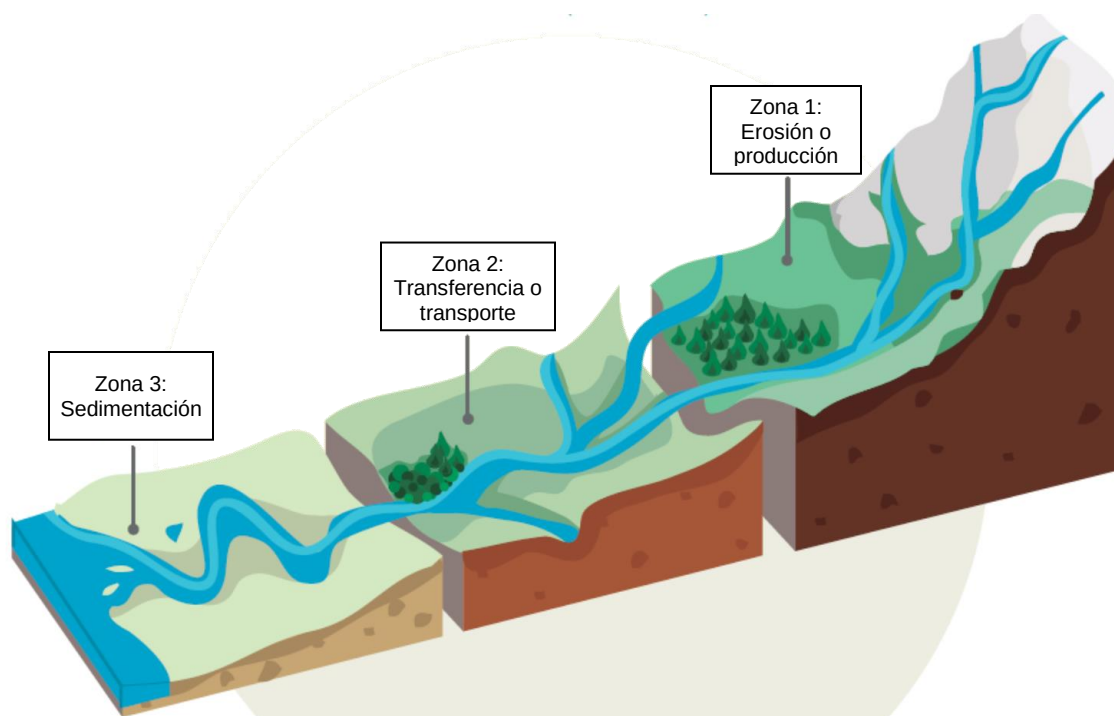


Figura 2-4. Zonas del sistema Fluvial de acuerdo con Schumm (1977). Fuente: Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

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 hiporreica, 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, se advierte que 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 2-5 se ilustra este tipo de corrientes.



Figura 2-5. 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.

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 2-6).



Figura 2-6. Material transportado y depositado en la avenida 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 2-7). 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 2-8).



Figura 2-7. 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 2-8. 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 Humberto Caballero Acosta.

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 2-9).



Figura 2-9. Patrón de drenaje sinuoso confinado de un río de montaña. Río Penderisco, municipio de Urrao, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.

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 del Estado que de manera subsidiaria los hayan elaborado.

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 2-10 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.



Figura 2-10. Patrón de río trenzado confinado en corrientes de montaña. Río Herradura, municipio de Abriaquí, Antioquia. Foto tomada por Humberto Caballero Acosta.

A medida que el río se acerca a su desembocadura, su gradiente se reduce y la energía disponible para transportar 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.

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

También conocidos como manantiales, fuentes, surgencias, ojos de agua. Emergen en la superficie dependiendo de la naturaleza de la recarga y de las condiciones de almacenamiento y transmisión del acuífero a través del cual fluye el agua subterránea; éstos pueden ser permanentes, estacionales o intermitentes. El flujo puede presentar variaciones en el tiempo o responder de manera rápida a la recarga, variando el caudal en varios órdenes de magnitud. Algunas fuentes o manantiales pueden tener flujo controlado por proceso de sifonamiento, presentando filtración regulada con períodos de minutos u horas (Goudie, 2004).

Los nacimientos de origen kárstico se encuentran predominantemente en posiciones topográficamente bajas como fondos de valles aluviales, en ríos, lagos e incluso el mar. Algunas fuentes kársticas pueden estar en posiciones altas dependiendo de controles geológicos y geomorfológicos.

Los nacimientos que se presentan en materiales no kársticos pueden resultar de la convergencia del flujo subterráneo y una depresión topográfica o de la concentración del flujo de agua a lo largo de fracturas abiertas tales como fallas, diaclasas o planos de estratificación.

En medios porosos (rocas, sedimentos, depósitos) el flujo está limitado por la conductividad hidráulica, por lo que los nacimientos asociados generalmente tienen poca descarga y pueden presentarse a lo largo de grandes superficies de filtración (Goudie, 2004).

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 la literatura se conocen distintos tipos de clasificación de ríos. Rosgen (1994) presenta una síntesis histórica del proceso de clasificación, y propone un sistema de clasificación que diferencia más de cuarenta tipos que él considera útiles para su propósito principal, que es la restauración de ríos y corrientes en el territorio de Estados Unidos de América.

En aras de la simplicidad, se propone una clasificación en cuatro tipos principales, advirtiendo que dada 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, lo conforman un gran número de geoformas relacionadas con el río o con las vertientes. La clasificación que se propone se concentra principalmente en las formas del cauce y en menor grado de la llanura de inundación (llanura geomorfológica). 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. Éstos 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 más pertinente a efectos de la presente Guía es la siguiente: i) el cauce permanente, el cual funciona transportando los caudales durante la mayor parte del año hidrológico; y ii) el cauce mayor, conformado por el conjunto de cauces que sirven para el tránsito de los caudales altos de diferentes periodos hidrológicos e involucra elementos de la llanura inundable. Como se verá en los párrafos siguientes, este concepto de cauce mayor podrá cambiar dependiendo del tipo de corriente. Los tipos de ríos que se describirán son los rectos de montaña, sinuosos, trenzados y anastomosados.

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 2-11). Los tamaños de este tipo de ríos varían en gran medida, dependiendo de la condición geomorfológica.

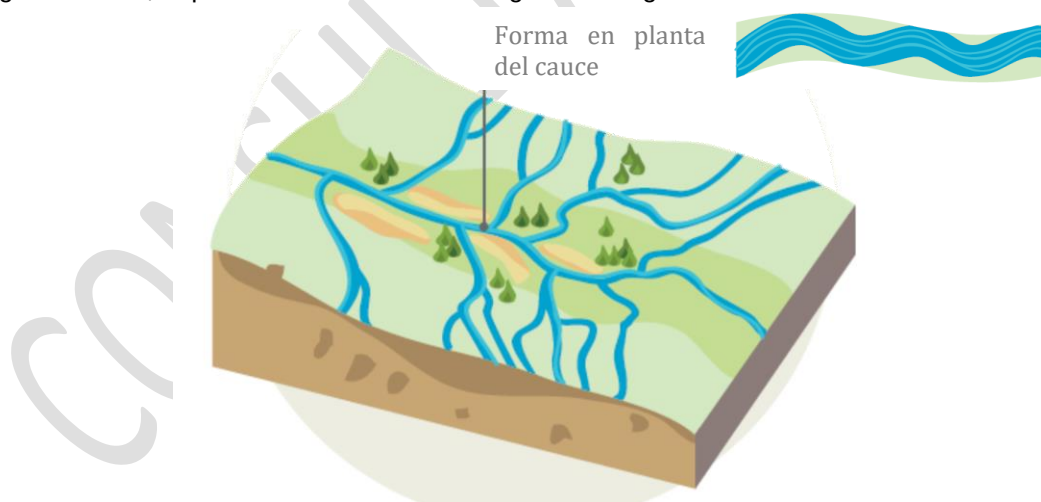


Figura 2-11. Esquemización de un río recto de montaña con su forma típica en planta.

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.

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

[illegible]

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 a 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 2-13).

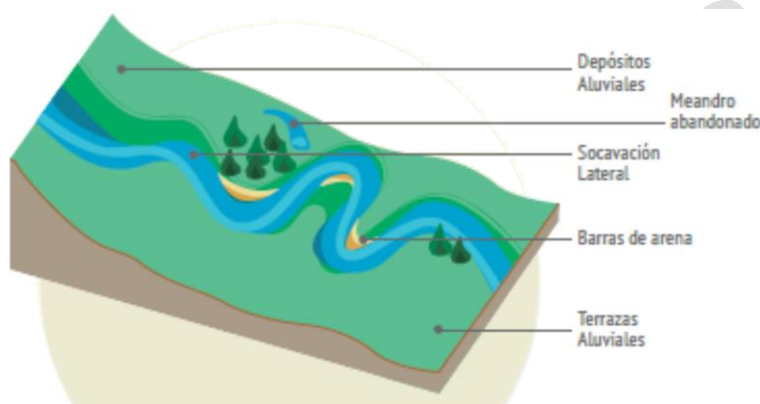


Figura 2-13. Esquematización de un río sinuoso.

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 la corriente. 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.

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 Amazonia en los tramos comprendidos entre los abanicos de piedemonte 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 2-14 se muestra un tramo sinuoso de un río de llanura.

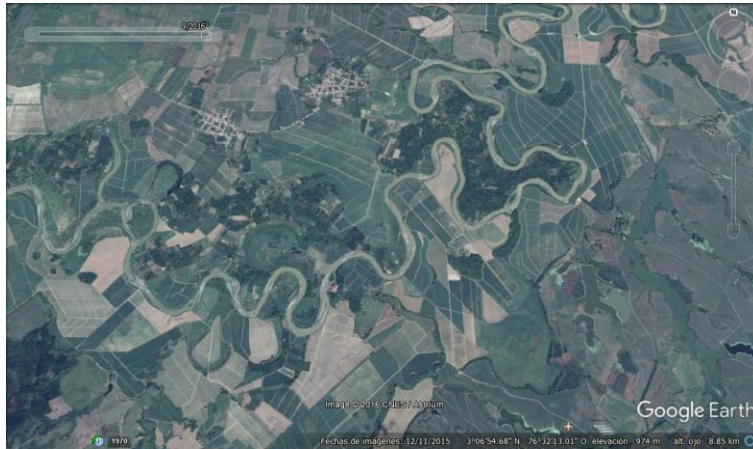


Figura 2-14. Tramo sinuoso del río Cauca donde se pueden observar los meandros abandonados (con y sin agua). Fuente: Google Earth (2017)

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 en razón de condiciones geomorfológicas, sedimentológicas o hidrológicas. Están caracterizados por cauces amplios y relativamente superficiales, en los cuales el flujo se divide y se junta a través de barras (Figura 2-15). La apariencia de los ríos trenzados varía de acuerdo a como cambien 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.

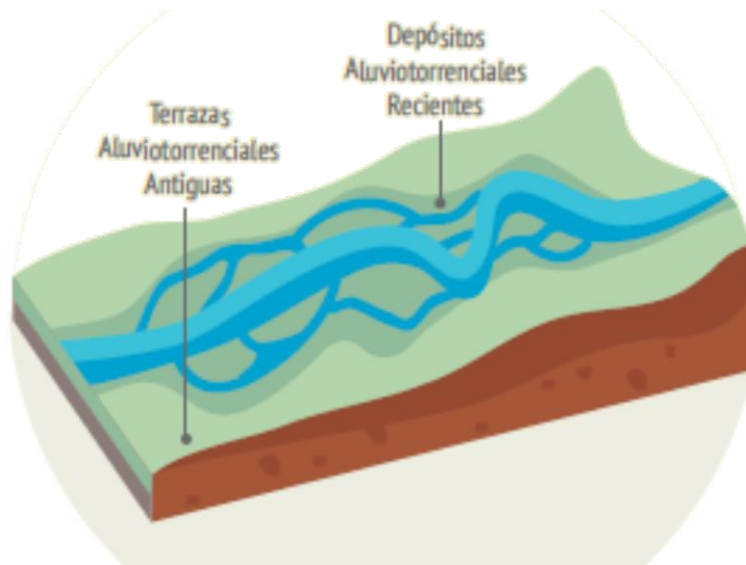


Figura 2-15. Esquematzación de un río trenzado.

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 2-16), y algunos ríos menores de piedemontes internos en su desembocadura al Cauca y al Magdalena.

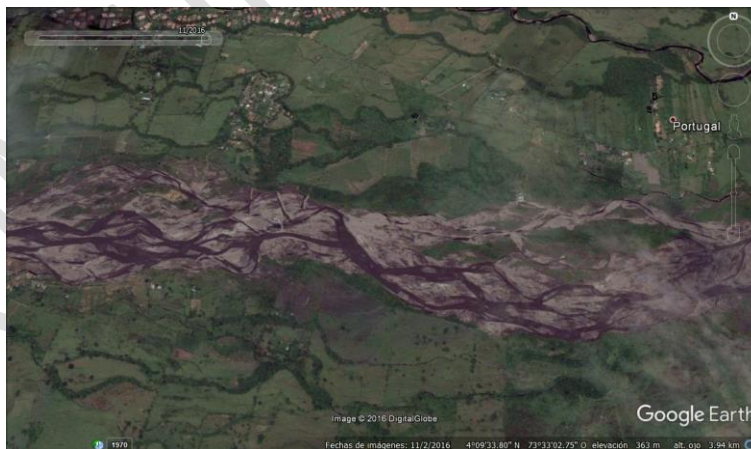


Figura 2-16. Río Trenzado en el Piedemonte llanero de Colombia. Fuente: Google Earth (2017).

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 2-17). Los ríos de este tipo frecuentemente presentan sinuosidad general de índice bajo.

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.

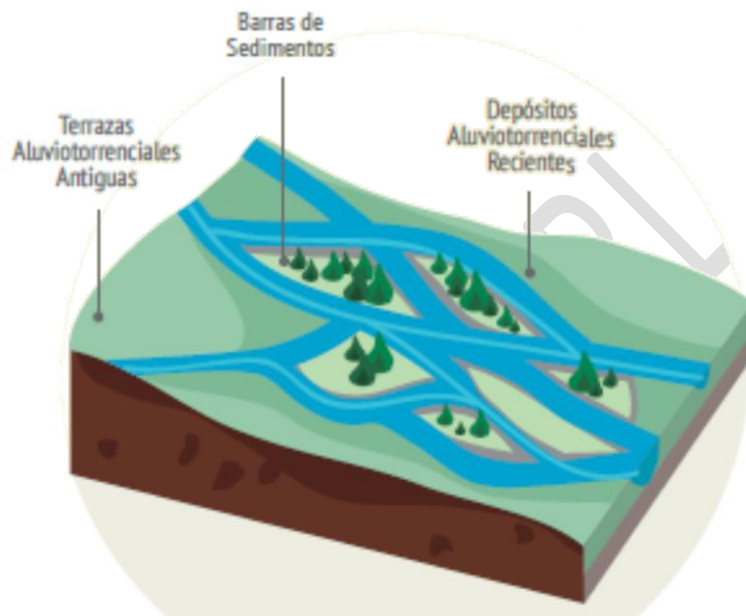


Figura 2-17. Esquematización de un río anastomosado.

Nuevos brazos pueden aparecer cuando las aguas rompen uno de los brazos existentes e incisan 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 puede clasificar dentro de este tipo algunos de los tramos del río Cauca y el Magdalena Medio (Figura 2-18), 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 climáticas del país. 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.

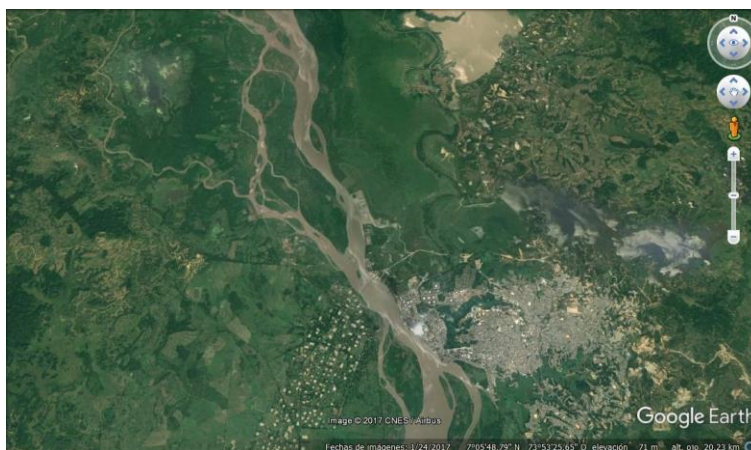


Figura 2-18. Tramo anastomosado del río Magdalena. Fuente: Google Earth (2017)

2.2.3 Sistemas lénticos

Para el alcance de la presente Guía se trabaja con la definición clásica de sistemas lénticos presentada en el Glosario. 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 biogeográficas e hidroclimáticas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan a continuación algunas consideraciones geomorfológicas que se deben tener en cuenta para 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 se mantienen saturados 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.

2.2.3.1.1 *Lagos y lagunas*

Sistemas que se encuentran generalmente 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 2-19) 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 su geoforma y de las condiciones de aguas máximas siendo determinante su origen 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.

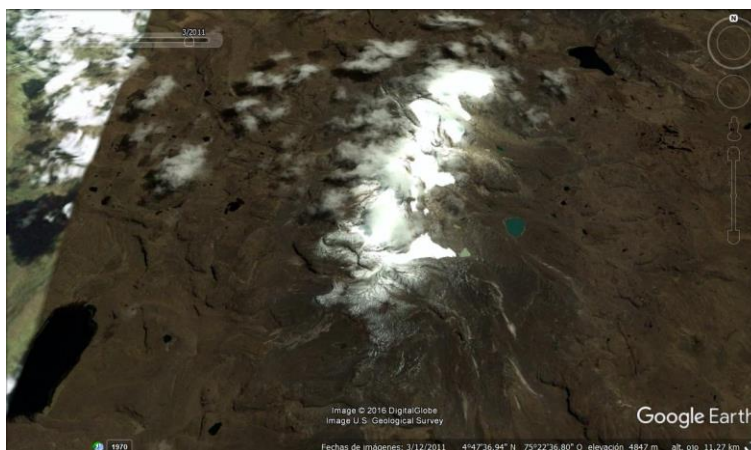


Figura 2-19. Lagunas de origen glaciar y laguna del Otún. Fuente: Google Earth (2017).

2.2.3.1.2 Afloramientos de nivel freático

Conocidos en algunas regiones del país como "ojos de agua", representan una importante, y en ocasiones la única fuente de abastecimiento local. Ocurren principalmente en las zonas de sabana de la región Caribe y de la Orinoquia. Son sistemas de pequeñas dimensiones, existentes en las áreas de cambio de pendiente de pequeñas serranías o sistemas de colinas donde se recarga el acuífero que los alimenta. Desde el punto de vista geomorfológico, es fácil determinar la ronda observando los suelos saturados, o que lo han estado, en la época de lluvias.

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 2-20), mediante los cuales reciben y entregan agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes al y desde el sistema principal. 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.



Figura 2-20. Complejos de humedales que interactúan con la dinámica de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge. Fuente: Google Earth (2017)

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 decir 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 valiosos y como fuente de servicios ecosistémicos para grandes comunidades asentadas en su entorno.

2.2.3.2.2 *Meandros abandonados*

Sistemas que corresponden a antiguos brazos o cauces de ríos sinuosos o anastomosados, pero que, debido a la dinámica de estas corrientes, han quedado aislados. Sin embargo, los mismos cumplen un papel importante, pues 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 2-14)

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 y las aguas saladas ingresan a la laguna; tienen suministro de agua dulce proveniente de corrientes y de agua lluvia (Figura 2-21). Este tipo de cuerpos de agua se considera más común en el mar Caribe por sus condiciones micro mareales.

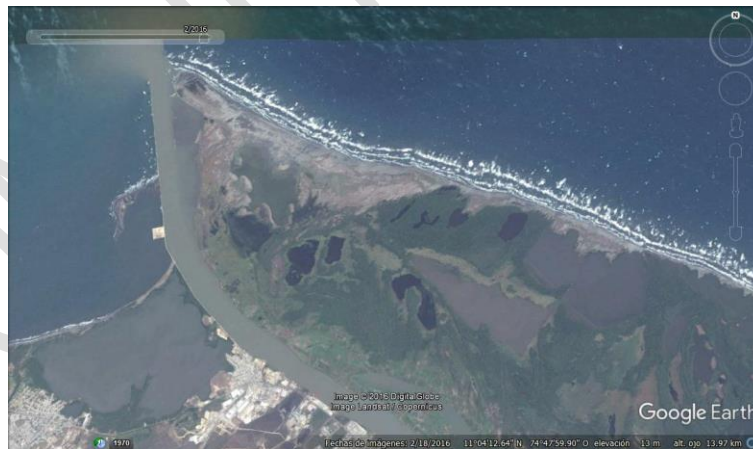


Figura 2-21. Lagunas costeras a los dos márgenes del río Magdalena en su desembocadura en Barranquilla.
Fuente: Google Earth (2017)

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 secular de la marea, que transporta sedimentos finogranulares tipo arena y lodos, que se depositan en las llanuras mareales existentes entre los cauces. Este tipo de cuerpos de agua pueden estar asociados a los márgenes de estuarios, bordes deltaicos o litorales

abiertos sometidos a oleajes suaves (French, 2004). 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 2-22).

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 2-23). 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.

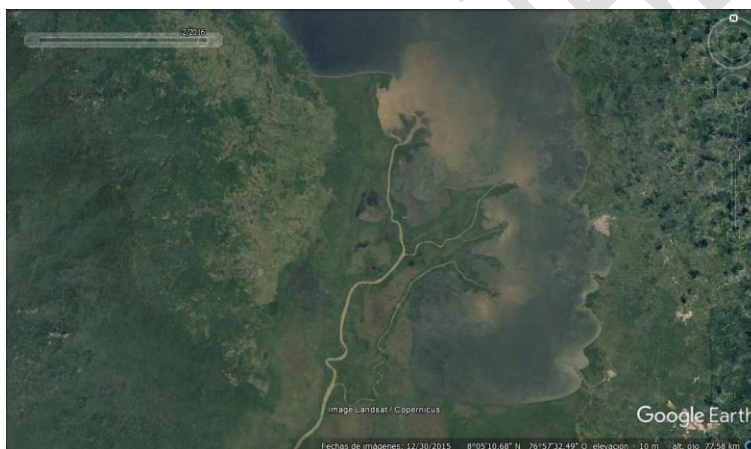


Figura 2-22. Vista parcial del delta externo del río Atrato en el Golfo de Urabá. Fuente: Google Earth (2017).

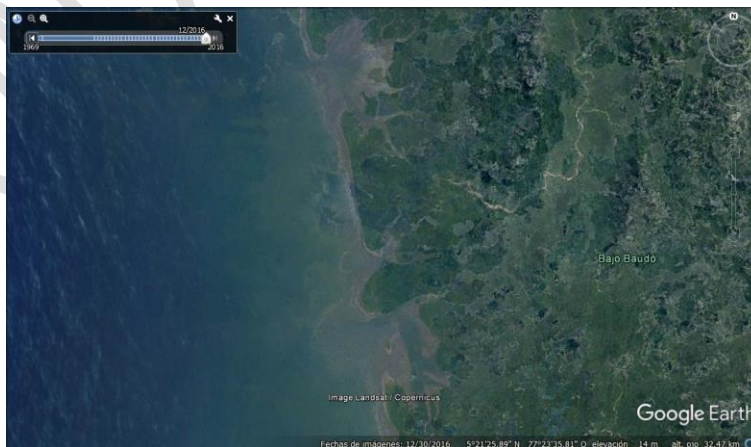


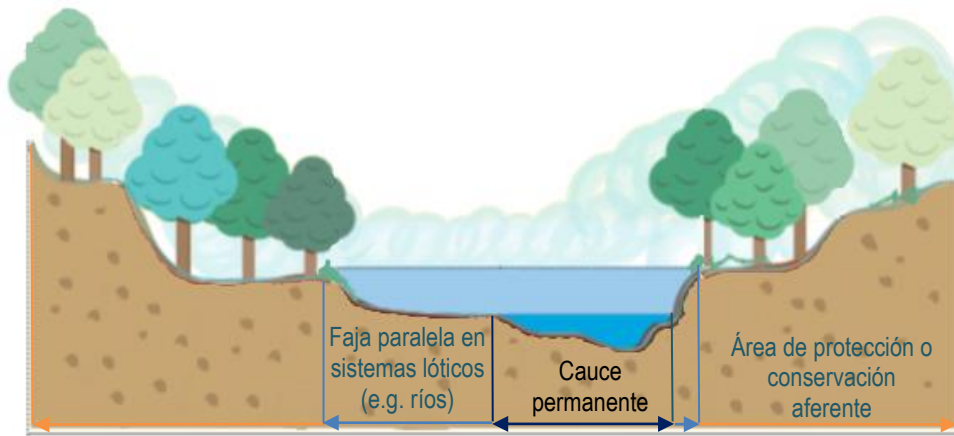
Figura 2-23. Llanuras mareales en el Pacífico. Fuente: Google Earth (2017)

3 MARCO METODOLÓGICO

El acotamiento de las rondas hídricas, por parte de las Autoridades Ambientales competentes, está orientado desde la perspectiva de su funcionalidad, la cual da el soporte para el establecimiento de medidas de manejo ambiental, considerando los principales procesos biofísicos y la alteración antrópica de sus funciones, siendo de especial relevancia los procesos geomorfológicos y fluviales para efectos de lo dispuesto en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011. En la Figura 3-1 se esquematizan dichos elementos de las rondas hídricas para sistemas lóticos y lénticos. 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.

En este capítulo se realiza una breve descripción respecto al alcance de cada fase del acotamiento, y en capítulos posteriores se presenta su desarrollo en detalle.

a)



b)

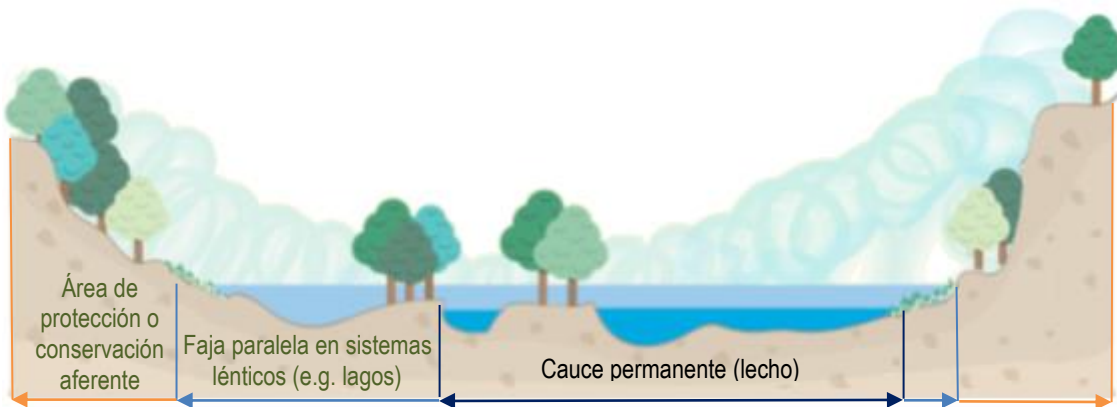


Figura 3-1. Definición de la ronda hídrica de acuerdo con el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 discriminado para sistemas: lóticos (a) y lénticos (b). Imágenes adaptadas de FISRWG (1998).

El funcionamiento del sistema fluvial requiere de continuidad longitudinal y conectividad 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 el desarrollo de la dinámica natural del sistema fluvial, donde pueden darse sin restricciones sus funciones geomorfológicas (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), hidrológico-hidráulicas (servir de soporte físico para el almacenamiento y tránsito de agua, sedimentos y nutrientes en la llanura inundable a lo largo de la cuenca hidrográfica); y sus funciones ecosistémicas (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 y taludes adyacentes al cuerpo de agua, entre otras). 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. Igualmente, las rondas deben incluir el espacio necesario para garantizar las actividades culturales y económicas de una manera sostenible según proceda, sin interrumpir la dinámica natural del sistema y favoreciendo la convivencia y el bienestar de la comunidad.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos físico-bióticos y socio-culturales, el marco metodológico considera en primer lugar la perspectiva ecosistémica para definir el límite funcional de la ronda hídrica (Figura 3-2), dentro del cual se definirán las medidas de manejo ambiental pertinentes. Tales medidas de manejo ambiental deberán considerar las condiciones actuales del estado de la funcionalidad de las rondas hídricas, así como de los beneficios que perciben los humanos como reflejo de sus interacciones con estas zonas, con el fin de mantener o restaurar su funcionalidad y darles un aprovechamiento sostenible. En tal sentido, el acotamiento de las rondas hídricas es el proceso mediante el cual la Autoridad Ambiental competente fija el límite funcional de las rondas hídricas de los cuerpos de agua continentales estableciendo dentro de éste las medidas de manejo ambiental que se trasladarán al ordenamiento territorial como determinante ambiental.

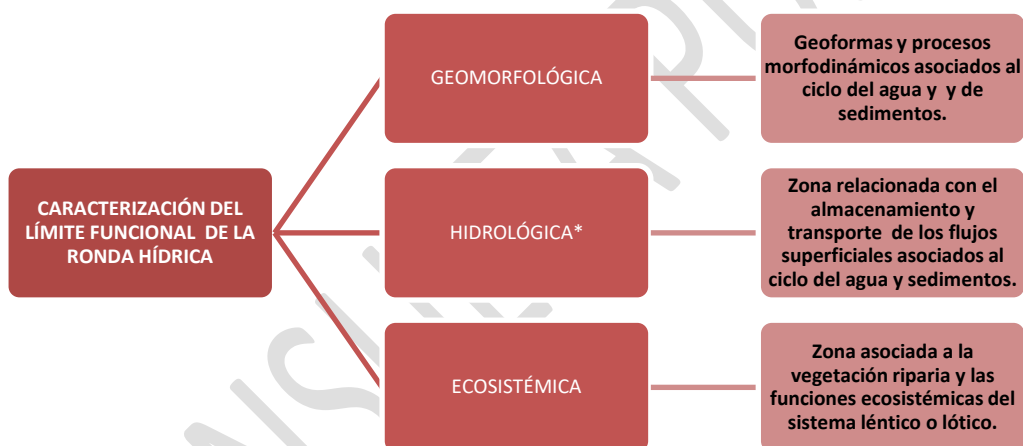


Figura 3-2. Componentes físico-bióticas mínimas a ser consideradas para definir el límite funcional de las rondas hídricas. * La componente denominada "Hidrológica" se entiende en adelante como el componente que resume las funciones hidrológico-hidráulicas de la ronda hídrica.

El acotamiento de la ronda hídrica comprende varias fases: acciones previas, delimitación del cauce permanente, caracterización físico-biótica y sociocultural y definición de medidas de manejo ambiental, seguimiento y evaluación (Figura 3-3). Cada una de estas fases comprende una serie de actividades denominadas, en la Figura 3-3, como "A" seguida del número de fase y finalmente del número de actividad de la fase.

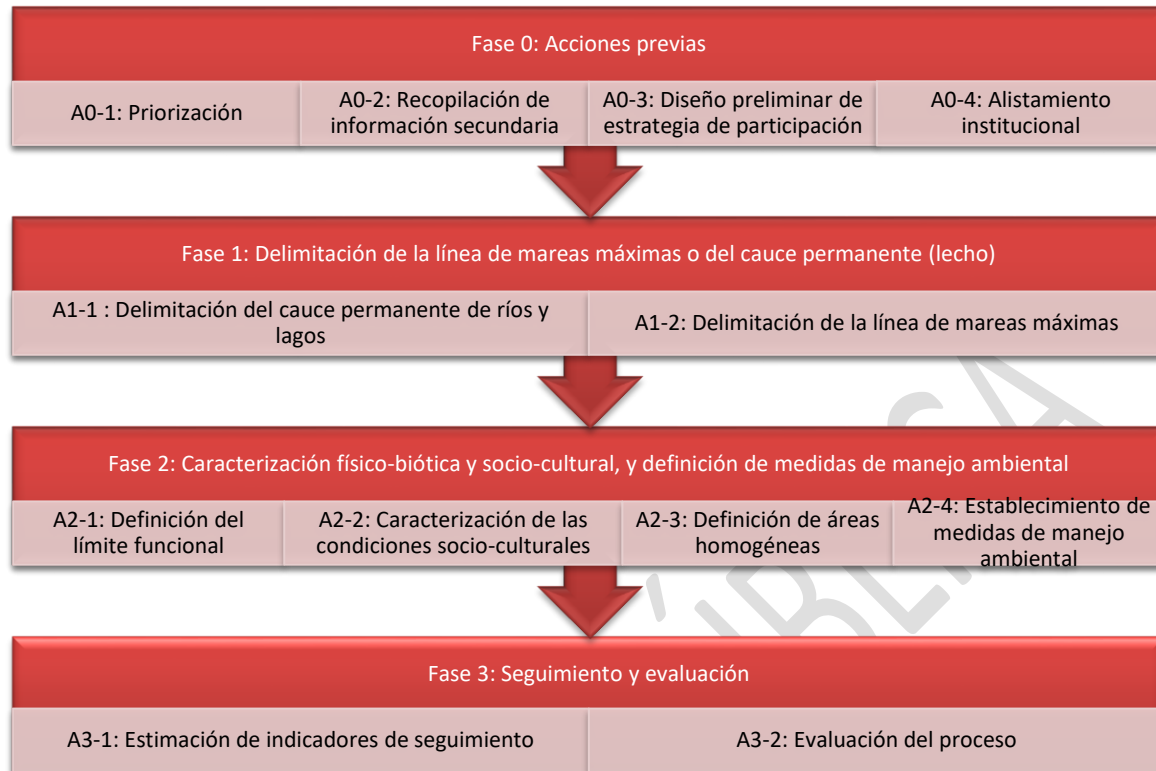


Figura 3-3. Fases y actividades para el acotamiento de la ronda hídrica

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. Ésta es la primera acción necesaria para empezar el acotamiento de las rondas hídricas, como un proceso gradual de implementación de una medida concreta de administración de los recursos naturales renovables por parte de las Autoridades Ambientales competentes.

Una vez se tienen las prioridades de intervención, y la Autoridad Ambiental competente empieza el proceso por el orden de prioridades establecido, la siguiente actividad está relacionada con la "recopilación de información" secundaria que sea de utilidad para las siguientes fases. Sobre la base de la información recopilada, y del análisis de necesidades respecto a personal cualificado, adquisición de información y tiempos estimados para el proceso, se realiza la actividad denominada como "alistamiento institucional". En ésta se fijan los roles, cronograma y presupuestos designados para el inicio del proceso, de acotamiento de la ronda hídrica del cuerpo de agua (o los cuerpos de agua) priorizado(s), considerando la estrategia preliminar de participación.

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*" según lo establecido en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011. 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 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 el logro de lo anterior se orientan 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), edafología (e.g. existencia de suelos hidromórficos), la hidrología (e.g. niveles máximos asociados a la dinámica hidrológica de un período intranual normal);

iii) en cuerpos de agua continentales desembocando al mar, la elevación máxima promedio anual, debido a la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol, a la que llega el mar en éstos.

3.3 Fase 2. Caracterización físico-biótica y sociocultural y definición de medidas de manejo ambiental

La ronda hídrica, tal como lo establece la legislación que da origen a la presente Guía, está compuesta por "*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*". Para su acotamiento el punto de partida es definir el límite funcional desde el punto de vista físico-biótico para luego caracterizar las condiciones socio-culturales dentro de dicho límite.

3.3.1 Definición del límite funcional

La primera actividad de esta fase tiene como alcance caracterizar y fijarlos límites, a partir de la línea de mareas máximas o del cauce permanente, desde el punto de vista del funcionamiento físico-biótico (incluye criterios desde lo geomorfológico, hidrológico y ecosistémico asociados a los sistemas lóticos y lénticos). En la Figura 3-4 se esquematiza el límite de cada uno de los componentes físico-bióticos que contribuyen al proceso de definir el límite funcional de la ronda hídrica en sistemas lóticos y para sistemas lénticos en la Figura 3-5.

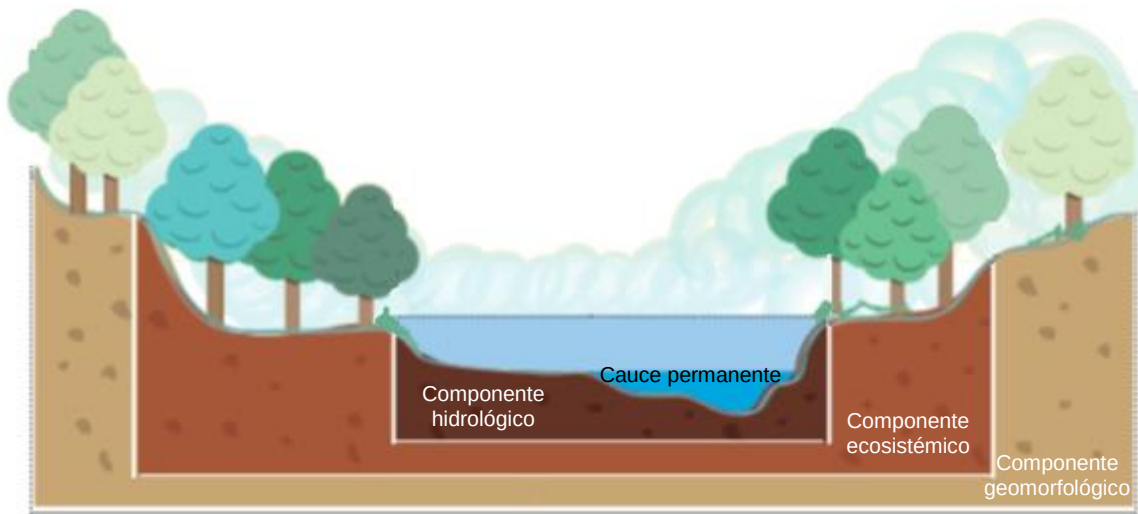


Figura 3-4. Componentes físico-bióticos para fijar el límite funcional de la ronda hídrica en sistemas lóticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

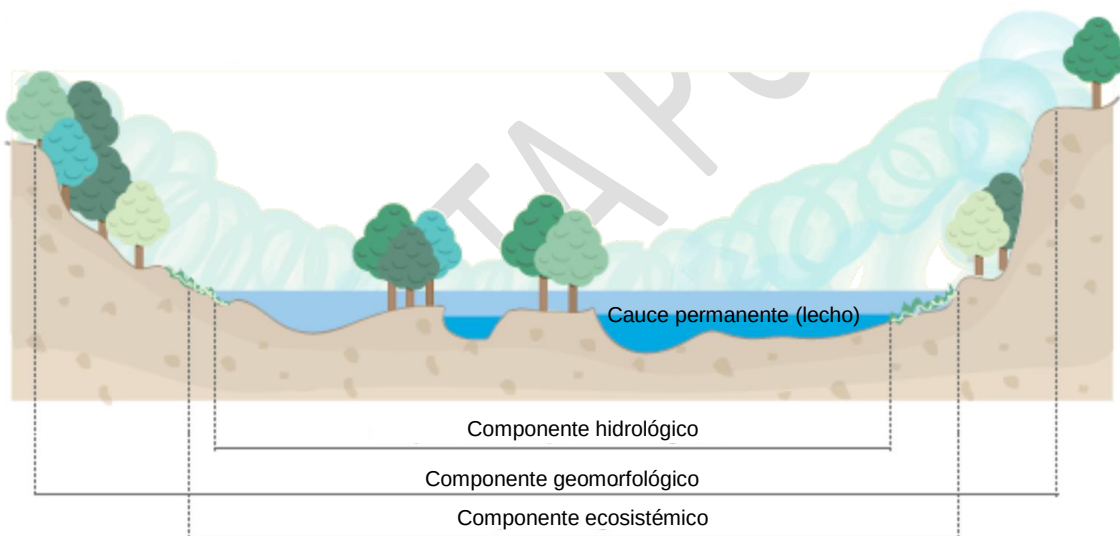


Figura 3-5. Componentes físico-bióticos para fijar el límite funcional de la ronda hídrica en sistemas lénticos. Imagen adaptada desde FISRWG (1998).

El límite funcional de la ronda hídrica es el resultado de la envolvente que genera la superposición de los tres componentes físicos preponderantes de las características físico-bióticas de estos ecosistemas de transición: geomorfológicas, hidrológico-hidráulicas y ecosistémicas (Figura 3-6).

Una vez fijado el límite funcional de la ronda hídrica, se procede a determinar los elementos de la misma. Para delimitarlo, desde el punto de vista del funcionamiento, se usará el componente hidrológico. Lo anterior para garantizar, de acuerdo a las características de cada cuerpo de agua, que dentro de lo que hace parte de lo público se configure, toda o parcialmente, la zona de la ronda hídrica que tendrá mayores restricciones ya que será la que se inunda periódicamente (incluidos los efectos de la variabilidad climática) y en la que está la vegetación de ribera (con la importancia que la misma tiene en estos ecosistemas de transición, así como en los acuáticos y los terrestres, como se describió en el marco conceptual).. 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 fenómenos de movimientos en masa, debe incluirse este análisis en la metodología geomorfológica y se involucrará dicho análisis en la envolvente para fijar el dominio de lo público.

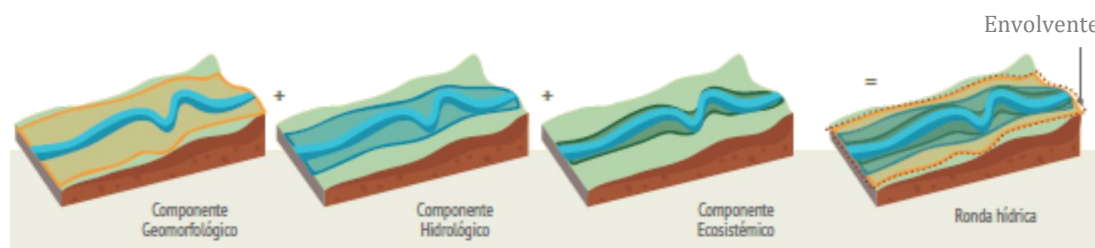


Figura 3-6. Límite funcional de la ronda hídrica como resultado de la superposición de los componentes geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.

3.3.2 Caracterización de las condiciones socio-culturales dentro del límite funcional.

En esta actividad se realiza un análisis de la ocupación del territorio y uso de los recursos naturales, así como caracterización cultural, de actores en la perspectiva de establecer el mecanismo de participación de los actores para la definición de los objetivos y estrategias de manejo ambiental.

3.3.3 Definición de medidas de manejo ambiental

Esta Fase tiene como alcance la identificación de zonas homogéneas dentro del límite funcional ya fijado en la fase anterior (Fase 2). Para dichas zonas homogéneas se deberán establecer los respectivos objetivos y estrategias a corto, mediano y largo plazo, y como síntesis las medidas de manejo ambiental que se trasladarán al ordenamiento territorial como determinante ambiental. En el contexto del alcance del instrumento, el determinante ambiental se constituye en los condicionamientos que se establecen para cada zona homogénea con el fin de lograr el objetivo de conservación del funcionamiento ecosistémico y resiliencia de las rondas hídricas, a través de estrategias de preservación, restauración, rehabilitación o usos sostenibles. En tal sentido, se obtendrán diferentes niveles de condicionamientos para el establecimiento de los usos del suelo por parte de las entidades territoriales, así como medidas de manejo que orienten el desarrollo de actividades socio-económicas y de aprovechamiento de los recursos naturales dentro de la ronda hídrica.

3.4 Fase 3: Seguimiento y evaluación

Esta Fase orienta el seguimiento mediante el uso de indicadores para posteriormente realizar la evaluación al cumplimiento de los objetivos establecidos a corto, mediano y largo plazo.

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 intervendrá, sistemática y sostenidamente en el tiempo, los cuerpos de agua en una cuenca hidrográfica para el acotamiento de su ronda hídrica. Considerando que el marco metodológico orientador del proceso se basa en una perspectiva ecosistémica, pero a su vez considera las condiciones socio-culturales que han dado lugar a procesos de co-evolución del paisaje y la sociedad, por las características singulares de las zonas de ribera de los cuerpos de agua, 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 red de drenaje oficial a escala 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.

4.1.1 Criterios de priorización

Como criterios mínimos se deben tener en cuenta los siguientes:

4.1.1.1 *Cuerpos de agua priorizados para el acotamiento de rondas hídricas desde un Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA adoptado*

El Decreto 1076 de 2015, en el Libro 2, Título 3 (Aguas No Marítimas), Capítulo 1. (De los instrumentos de planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos), el artículo 2.2.3.1.6.12., 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 priorizados para la definición de ronda hídrica”*. Igualmente, en la Sección 8., que trata de las comisiones conjuntas, en el artículo 2.2.3.1.8.4., se establece que *“La Comisión Conjunta cumplirá las siguientes funciones:” (...)* *“3. Recomendar las directrices para la planificación y administración de los recursos naturales renovables de la cuenca hidrográfica común objeto de formulación o ajuste del Plan de Ordenación y Manejo, en relación con los siguientes instrumentos entre otros:” (...)* *“El acotamiento de las rondas hídricas”*.

4.1.1.2 *Cuerpos de agua en los que su cuenca hidrográfica está en proceso de formulación del Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA*

El Decreto 1076 de 2015, en el Libro 2, Título 3 (Aguas No Marítimas), Capítulo 1. (De los instrumentos de planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos), en la Sección 5, artículo 2.2.3.1.5.2. (De las directrices), menciona que *“La ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta:” (...)* *“2. Los ecosistemas y zonas que la legislación Ambiental ha priorizado en su protección, tales como: (...)* *nacimientos de aguas, humedales, rondas hídricas, (...)* (negrilla fuera de texto). En la Sección 6, artículo 2.2.3.1.6.5., que trata de la armonización de los instrumentos de planificación, establece que deberá tenerse en cuenta, entre otros instrumentos, el acotamiento de rondas hídricas. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante que en los procesos de formulación de POMCA o con prioridad de realización ya contemplada en el plan de acción de Autoridad Ambiental competente, se tengan los insumos del acotamiento de la ronda hídrica de los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica en ordenación para que se dé sincronía entre los dos instrumentos.

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

El alcance del 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 ya que tiene como alcance: establece la clasificación de las aguas; fija su destinación y sus posibilidades de uso, con fundamento en la priorización definida para tales efectos en el denominado orden de prioridades define los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo; establece las normas de preservación de la calidad del recurso para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies; determina los casos en que deba prohibirse el desarrollo de actividades como la pesca, el deporte y otras similares, en toda la fuente o en sectores de ella, de manera temporal o definitiva; fija las zonas en las que se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos, provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales; establece el programa de seguimiento al recurso hídrico con el fin de verificar la eficiencia y efectividad del ordenamiento del recurso.

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.

4.1.1.4 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.

4.1.1.5 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 inciso final del numeral 4.1.1.3 son aplicables. Esto es igualmente válido para cuerpos de agua que se encuentren en proceso de reglamentación.

4.1.1.6 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 inciso final del numeral 4.1.1.3., son aplicables. Esto es igualmente válido para cuerpos de agua que se encuentren en proceso de reglamentación.

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

Reconociendo que las rondas hídricas son un ecosistema 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.

4.1.1.8 Humedal con Plan de Manejo o en proceso de formulación

Mantener la ronda hídrica de 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.

4.1.1.9 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.

4.1.1.10 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 ecosistemas de transición.

4.1.1.11 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 192 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (o la que la sustituya), la cual establece *el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana*.

4.1.1.12 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.

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.

4.1.1.13 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. 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 en la medida que en el proceso se pueden identificar áreas críticas, así como posibles medidas de manejo a ser consideradas por la entidad territorial.

4.1.1.14 Cuerpos de agua con llanuras inundables ocupadas

El acotamiento de la ronda hídrica, en estas condiciones particulares, contribuirá a tomar decisiones de manejo ambiental y garantizar su funcionalidad.

4.1.1.15 Cuerpos de agua con cauces intervenidos 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 acompañado de la restauración del funcionamiento de su ronda hídrica, por lo menos en lo relacionado con el funcionamiento hidrológico-hidráulico.

4.1.1.16 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 sólo 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, megaminería, explotación de hidrocarburos, embalses, trasvases entre subzonas hidrográficas y niveles subsiguientes objeto de POMCA (Minambiente, 2013).

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 1:100.000 (Minambiente, 2016); 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 deberá 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, 2013) 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. En caso se cumpla, la asignación será un valor de uno (1), de lo contrario será cero (0). Al final de la evaluación de todos los criterios, la sumatoria dará un valor absoluto. Si se organizan los cuerpos de agua, por mayor a menor valor de la sumatoria de la evaluación de criterios, tal listado dará las prioridades de intervención. 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 éstos cuerpos de agua, los que estén relacionados con la armonización de instrumentos de planificación, funcionalidad de la ronda hídrica, resolución de problemáticas u otros que se consideren pertinentes para la adecuada administración de los recursos naturales renovables en las rondas hídricas.

De manera alternativa, la Autoridad Ambiental competente podrá utilizar un sistema de ponderación de los criterios para puntuar con mayor peso los criterios que considere sean más relevantes. Igualmente, podrá adicionar más criterios, siempre y cuando se sustente su adición desde el punto de vista técnico considerando las características físico-bióticas y socio-culturales de su jurisdicción.

4.2 Recopilación de información

Como paso previo al acotamiento de la ronda hídrica del cuerpo de agua priorizado, la Autoridad Ambiental competente deberá recopilar y analizar la información disponible de fuentes secundarias y de otros instrumentos de gestión ambiental.

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 las socio-culturales. La información mínima requerida durante el proceso se lista a continuación:

- a. Levantamiento altiplanimétrico con buena precisión en la vertical, 20 cm o mayor precisión.
- b. 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.

- c. Levantamientos con GPS de alta precisión altimétrica.
- d. Imágenes de sensores remotos y fotos aéreas.
- e. 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, a efectos de la estimación de relaciones de geometría hidráulica para obtener el ancho a banca llena (ancho del cauce permanente) se recomienda un MDE con tamaño de pixel menor o igual a cuatro veces el ancho promedio de la red de drenaje (Jiménez, 2015).
- f. Niveles, reportes, entrevistas, publicaciones, estudios y fotos de eventos históricos de inundaciones.
- g. Series hidroclimáticas, con registros iguales o superiores a 15 años, de estaciones localizadas en el cuerpo de agua en estudio, con información sobre niveles y caudales diarios (cuencas debidamente instrumentadas). En caso de que esta información no exista o este incompleta, se pueden utilizar series de caudales generadas por métodos indirectos, preferiblemente modelos de transformación lluvia-escorrentía debidamente calibrados y validados.
- h. Estudios hidrológicos en la cuenca del cuerpo de agua priorizado.
- i. Estudios hidráulicos o hidrodinámicos para el cuerpo de agua priorizado, incluida su llanura inundable.
- j. Bases de datos sobre inundaciones y niveles de las mismas.
- k. Inventario de obras hidráulicas.
- l. Información temática de inventarios y delimitación de humedales.
- m. Información de distribución de fauna y flora asociada a cuerpos de agua y sus rondas hídricas.
- n. Mapas de cambios de coberturas y usos de la tierra en las zonas contiguas a cuerpos de agua.
- o. Peticiones, quejas, solicitudes, reclamos que reflejen conflictos ambientales relacionados con las rondas hídricas.

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 de los modelos hidráulicos que deben implementarse 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 presente 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.

4.2.2 Fuentes de información

A continuación, 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 del plan operativo.

4.2.2.1 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 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.

4.2.2.2 Recopilación de series temporales hidroclimáticas

Se deberán considerar las series temporales de registros de la red de referencia nacional operada por el IDEAM, y con influencia en la cuenca hidrográfica del cuerpo de agua objeto del acotamiento de la ronda hídrica. 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.

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

Se deberán considerar las peticiones, quejas, solicitudes, reclamos u otras acciones que reflejen problemáticas o conflictos ambientales relacionados con las rondas hídricas, al menos los registros de los últimos cinco años.

4.2.2.4 Plan de Ordenamiento territorial

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.

4.2.2.5 Recopilación de información catastral

Se deberán considerar la información catastral relacionada con los predios existentes dentro de la ronda hídrica. Identificación y mapeo 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 predios aledaños a los cuerpos de agua, así como las actividades socio-económicas que allí se desarrollan. Para el caso de predios, la información predial es la fuente de información primordial. Para las actividades socioeconómicas, la información puede ser obtenida desde el plan de ordenamiento territorial, los registros de usuarios de la Autoridad Ambiental competente, entre otras. Dicha información se deberá organizar en una base de datos que contenga como mínimo su georreferenciación y los datos básicos de los usuarios.

4.3 Diseño preliminar de la estrategia de participación

Para el logro del ejercicio de la Autoridad Ambiental, la participación de los actores en el acotamiento de las rondas hídricas integra en el análisis los procesos de co-evolución paisaje-sociedad en las mismas, desde sus dimensiones físico-biótica y socio-cultural. Igualmente, para el establecimiento de las medidas de manejo ambiental dentro del límite funcional, es necesario el concurso activo de los actores involucrados en la perspectiva del logro de la gobernanza. Considerando la diversidad etno-social del país, dicha estrategia debe reconocer la multiculturalidad y establecer una estrategia de participación que reconozca las diferencias culturales existentes sobre la base de los actores identificados.

La Autoridad Ambiental competente informará a los interesados del desarrollo del proceso, con su respectivo cronograma. Para ello se deberán utilizar los medios de comunicación que sean efectivos para que los actores identificados como relevantes tengan conocimiento del inicio del proceso de acotamiento de la ronda hídrica del (los) cuerpo (s) de agua priorizado (s).

4.4 Alistamiento institucional

Con la información secundaria consolidada, y el planteamiento de la estrategia de participación, 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.

4.4.1 Comisión conjunta

En los casos en que el cuerpo de agua priorizado discorra por (lóticos), o se encuentre en (lénticos), dos o más jurisdicciones de Autoridades Ambientales, se deberá adelantar el trabajo en el marco de la comisión conjunta. 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.

4.4.2 Diseño conceptual de la base de datos geográfica

La Autoridad Ambiental competente deberá estructurar el marco conceptual de la base de datos geográfica donde se dispondrán los resultados del proceso. Dicha base de datos deberá ser compatible tanto con los sistemas de información propios de la entidad, como con los sistemas estándar del Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC.

4.4.3 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 que la programación se estructure en dos momentos: i) desde el inicio hasta la fase de caracterización y definición de medidas de manejo ambiental, y ii) en la fase de seguimiento y evaluación. Igualmente, 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 el mismo 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

Durante las crecidas se generan formas características en las corrientes fluviales 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, en los sistemas fluviales, 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.

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 orillas del cuerpo de agua, cambios en la vegetación de las riberas o en la granulometría del lecho, o asociando un período de retorno al caudal formador (Lewin, 1989).

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. Dentro de este cauce, se transporta el régimen natural de flujo dentro de un año hidrológico promedio e incluso pueden tener cabida los caudales máximos anuales de algunos años influenciados por la variabilidad inter-anual. 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 los eventos de mayor magnitud, 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 para incluir todos los posibles cauces existentes y después realizar un análisis detallado usando fotografías aéreas y mediciones directas 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. Cuando se tiene información detallada, las márgenes del cauce están claramente definidas en los levantamientos cartográficos.

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 por otro lado el funcionamiento de los sistemas lénticos y su relación dentro del sistema fluvial.

Como se mencionó, al cauce permanente suele asociarse su capacidad hidráulica para transportar el flujo de caudales máximos propios de la variabilidad intra-anual en el ciclo hidrológico. El caudal promedio de los máximos anuales se ha asociado a eventos de crecientes 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 del valor medio es de 2,33 años), sin embargo éste 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 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 Procedimiento para sistemas lóticos

El cauce permanente se definirá a partir del análisis geomorfológico, complementado con trabajo de campo y cuando sea necesario complementado con análisis hidrológico-hidráulico, 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 deben seguir el proceso esquematizado en la Figura 5-1.

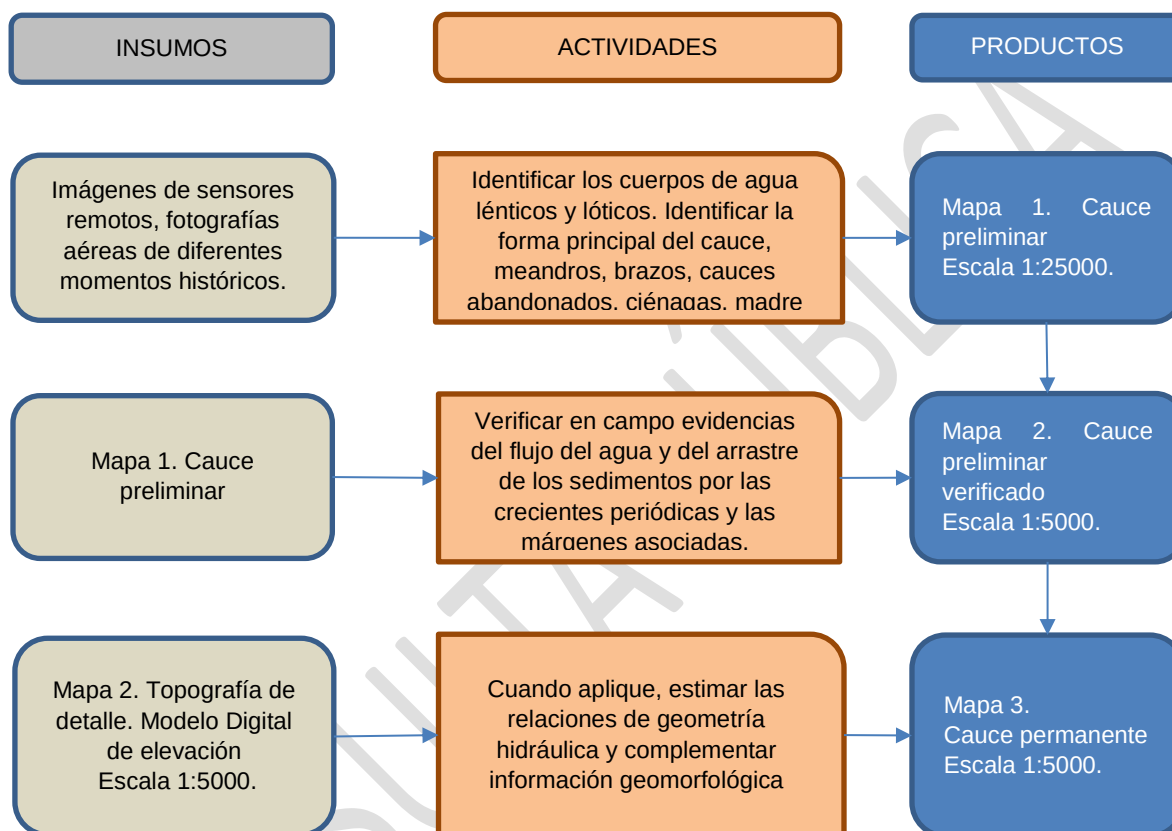


Figura 5-1. Insumos, actividades y productos para definir el cauce permanente

La delimitación del cauce permanente se define a partir de 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. Posteriormente, se realiza un análisis morfológico para determinar las geoformas y taludes que delimitan el cauce. De manera complementaria se pueden utilizar relaciones de geometría hidráulica, las cuales son útiles para definir el rasgo denominado "ancho a banca llena" que sería el espacio del cauce permanente. Cuando el análisis geomorfológico no permite delimitar con precisión el cauce permanente, de manera complementaria se realiza un análisis hidrológico de caudales máximos anuales asociados a la ocurrencia de eventos de crecientes, y su relación con la geometría hidráulica, para indicar el cauce a banca llena que conforma el cauce permanente.

5.1.1 Análisis multitemporal de la variación del cauce

El análisis se deberá realizar a partir de fotografías aéreas o imágenes de sensores remotos, en por lo menos tres momentos históricos diferentes, y complementando con la comparación de cartografía

antigua y actual, lo cual permitirá delimitar de manera preliminar el cauce natural activo del río (Figura 5-2). Dentro de los métodos de clasificación de los objetos en las imágenes de los sensores remotos 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. En cualquier caso, se deberá documentar la técnica utilizada y el nivel de precisión.



Figura 5-2. Esquematzación 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.

5.1.2 Análisis geomorfológico

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). 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.

Se deberán considerar las geoformas asociadas a la dinámica fluvial, cambios en la pendiente de las márgenes del medio fluvial y los taludes de las orillas, cambios de la cobertura vegetal y relaciones de geometría hidráulica.

Para el último caso, 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 1. 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.

$$W = aQ^b; H = cQ^d; U = eQ^f \quad \text{Ecuación 1}$$

El caudal, 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 de cuenca A 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 rítmicas 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).

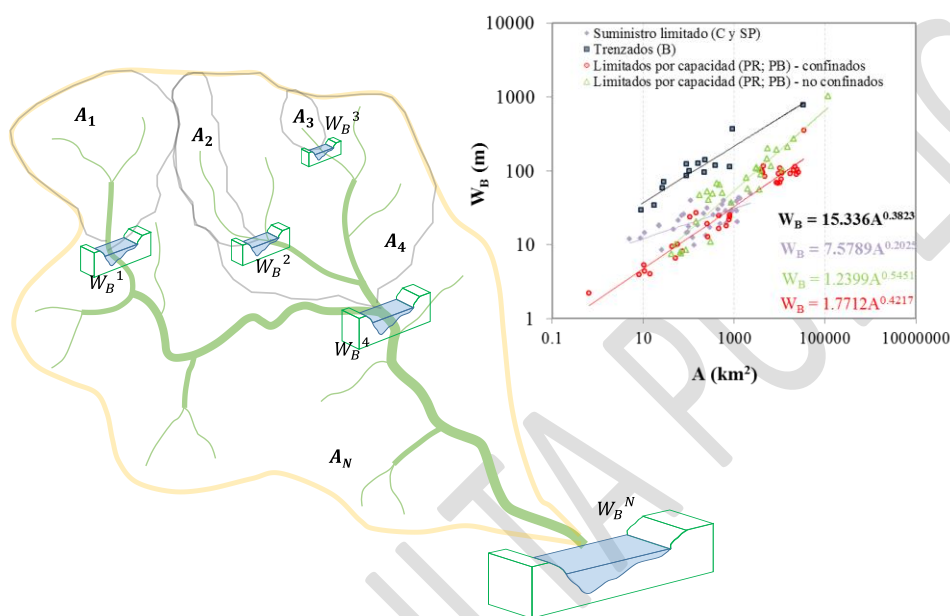


Figura 5-3. Geometría hidráulica hacia aguas abajo del ancho de banca llena. Fuente: Minambiente (2016)

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.

5.1.3 Análisis hidrológico

En los casos en los que el análisis geomorfológico no permita delimitar el cauce permanente en algunos tramos por la dificultad en la interpretación en las imágenes de sensores remotos y el acceso al trabajo de campo, el análisis hidrológico es un criterio adicional. Considerando que el cauce permanente ha sido moldeado en el terreno, por la acción del régimen natural de flujo principalmente, sus dimensiones y la forma de su sección corresponden a lo requerido para conducir las crecientes máximas anuales en promedio, que tienen un período de recurrencia en torno a los dos años, pero que varía en función de las características geomorfológicas y el comportamiento hidrológico-hidráulico a lo largo que se avanza aguas abajo del cuerpo de agua. 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). Cuando se tienen registros hidrológicos (niveles, caudales) sistemáticos de mínimo 15 años, se debe realizar el respectivo análisis de frecuencia el cual se utiliza como insumo para la modelación hidráulica o hidrodinámica de la corriente para caracterizar, a lo largo de la corriente, lo que corresponde a cauce permanente (banca llena) y la zona inundable. Cuando no se tienen

registros, se pueden utilizar métodos para la estimación de caudales en cuencas no aforadas, el respectivo análisis de frecuencia, y posteriormente la modelación hidráulica.

Para la respectiva modelación hidráulica o hidrodinámica, se deberá realizar levantamiento batimétrico de la sección transversal del cauce, así como la topografía de la llanura inundable, siguiendo los criterios y el procedimiento descrito en el componente hidrológico (sección 6.1.2).

5.2 Procedimiento para 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 los siguientes criterios en función de la información disponible y el grado de confiabilidad de la misma: hidrológico que permita identificar la acumulación de flujos en la respectiva geoforma en condiciones de dinámica normal del ciclo hidrológico a escala intra-anual; edafológico que permita identificar los suelos hidromórficos, es decir, que se han formado y evolucionado bajo condiciones de suficiente saturación; biológico que permita identificar biota relacionada con la dinámica de estos sistemas y sea indicadora de su límite físico, para ello, la vegetación hidrofítica es un claro indicador ya que las mismas tienen su ciclo biológico adaptado a condiciones de saturación (Tiner, 1991).

5.3 Procedimiento para cuerpos de agua continentales afectados por las mareas

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 en la desembocadura del cuerpo de agua. 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 la desembocadura del cuerpo de agua continental, producida por mareas altas y mareas vivas, será la que reporte la Autoridad Nacional competente en la materia: la Dirección General Marítima y Portuaria (ver Decreto-ley 2324 de 1984) o quien haga sus veces. A partir de dicho nivel se deberá acotar la ronda hídrica.

6 FASE 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-BIÓTICA Y SOCIOCULTURAL Y DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

En este Capítulo se presentan los criterios para determinar los atributos físico-bióticos y socio-culturales de las rondas hídricas como soporte para la definición de áreas homogéneas y medidas de manejo ambiental en el corto, mediano y largo plazo. Como se introdujo en el marco conceptual, considerar el límite funcional de las rondas hídricas como base para la gestión ambiental es el enfoque más adecuado. Una vez delimitada funcionalmente, se deberá realizar la caracterización de las formas de desarrollo que se han dado dentro del límite funcional. A partir de ello se evaluarán los actuales usos de la tierra, las problemáticas o conflictos ambientales que de allí se derivan, así como el soporte para la toma de decisiones sobre qué funciones deben ser protegidas, restauradas o rehabilitadas, o qué medidas de manejo se pueden introducir para que el ecosistema preste unos servicios ecosistémicos alternativos y compatibles con su objeto de conservación.

6.1 Definición del límite funcional

Dentro de los atributos de la funcionalidad de las rondas hídricas están los procesos geomorfológicos y fluviales, de los cuales hay tres componentes físico-bióticos determinantes e interdependientes entre ellos: las geomorfos y procesos morfodinámicos; los flujos de agua, sedimentos y nutrientes que se producen y transportan dentro de la red de drenaje en la cuenca hidrográfica y en sus llanuras inundables; la flora y fauna que se establecen por la interacción con los anteriores procesos. En los siguientes apartados se establecen los criterios mínimos para delimitar cada uno de estos componentes de manera independiente; teniendo en cuenta sus relaciones intrínsecas, se establecen posteriormente los criterios para integrarlos y fijar el límite funcional. Dichos pasos serán la base para caracterizar los elementos que conforman las rondas hídricas desde el punto de vista de la legislación.

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 a distintas escalas de tiempo se presentan procesos morfodinámicos en los cuales el sistema ajusta la forma del cauce, su pendiente, y sus patrones de alineamiento. 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:

- a) Socavación durante los eventos de crecida.
- b) Sedimentación en la recesión de los eventos.
- c) Ajuste de la forma de la sección.
- d) Ajuste de la pendiente.
- e) Estructuras de alineamiento horizontal y vertical relacionadas con la disipación de energía.
- f) Sinuosidad.
- g) 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 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

Para definir el componente geomorfológico de las rondas hídricas, hay que entender el funcionamiento de los sistemas fluviales. Por ello, se describen de manera breve, en el marco conceptual, algunos aspectos propios de la geomorfología fluvial y de varios tipos de sistemas lénticos generalmente asociados, que se consideran importantes para la definición de rondas hídricas. 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.

El componente geomorfológico de las rondas hídricas debe definirse teniendo en cuenta los procesos morfodinámicos recientes, los cuales se asocian principalmente a geoformas aluviales, en planicies y valles formando terrazas y llanuras de inundación. En el caso de los sistemas lénticos, se deberán analizar las geoformas típicas asociadas a la dinámica de éstos (e.g. geoformas lacustres). En la Figura 6-1 se presenta un resumen de los insumos, actividades y productos esperados en el análisis del presente componente.

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 intervenciones humanas que se realicen, pueden llegar a modificar la funcionalidad del sistema, comprometiendo la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres relacionados de manera directa con el sistema fluvial

La dinámica geomorfológica, hidrológica y ecosistémica puede verse alterada significativamente por diferentes intervenciones antropogénicas en el paisaje. Por ejemplo, los encauzamientos y estructuras hidráulicas hacen que se altere el equilibrio del transporte y sedimentación de material sólido al alterar las condiciones hidráulicas del flujo. 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, el profesional experto en geomorfología debe 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 funcional en este componente incluya estas alteraciones y permita incorporar al análisis las nuevas características del sistema.

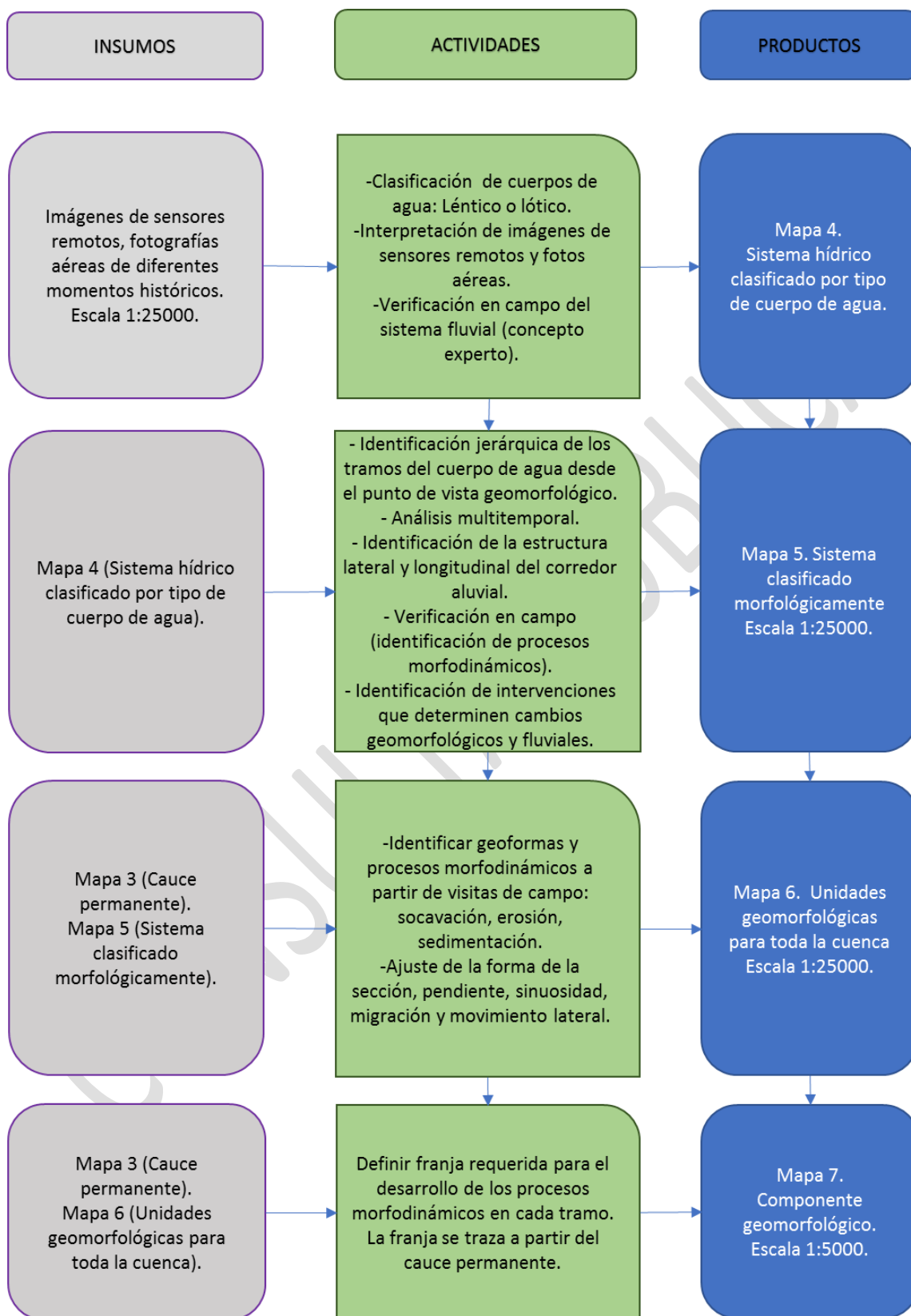


Figura 6-1. Insumos, actividades y productos para definir el componente geomorfológico.

Desde el punto de vista de la dinámica fluvial, el objetivo de las rondas hídricas es garantizar que los procesos fluviales pueden darse de la manera más similar posible a las condiciones naturales. De igual modo, las rondas hídricas deben ser garantía para que los procesos naturales de erosión, transporte y acumulación de sedimentos puedan darse evitando el riesgo a la población y a los diversos usos de la tierra. Este componente debe definirse teniendo en cuenta que se busca garantizar la dinámica fluvial asociada a las crecientes máximas ordinarias. En cuerpos de agua que han sido intervenidos y que su dinámica fluvial se ha visto alterada, principalmente en tramos donde en sus márgenes ya hay asentamientos urbanos consolidados, debe contemplarse las nuevas condiciones de acuerdo con el criterio hidráulico definido como el cauce por el cual puedan discurrir sin inconvenientes los caudales con período de retorno de 100 años sin que se produzca desbordamientos (ver el numeral 6.1.2).

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.

Para los cuerpos lénticos 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 de la cuenca tributaria. 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 deberán tener rondas hídricas mayores a sus niveles máximos de aguas altas los cuales 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 fluviales modificadas por la acción humana, y que han perdido su funcionalidad en el sistema, en dichos tramos no se considera el componente geomorfológico de la ronda hídrica, primando los criterios del componente hidrológico en condiciones alteradas (ver numeral 6.1.2.1.2.).

En los cauces de planicie, y en caso de existencia de diques o de obras de manejo hidráulico, el análisis geomorfológico no deberá contar con éstas para su definición. Si las geoformas típicas de la dinámica fluvial a que se ha hecho referencia quedan por fuera de las obras, la delimitación de la ronda no las tendrá en cuenta.

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, es decir, geoformas tales como abanicos o formas del terreno asociadas a movimientos en masa tipo flujo.

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 las componentes hidrológica y geomorfológica 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. Debe tenerse en cuenta que los ríos que han sido intervenidos y que su dinámica fluvial ha sido alterada

con estructuras hidráulicas de protección que evitan este tipo de procesos, deben analizarse teniendo en cuenta las condiciones actuales.

En la búsqueda de 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. Éstos 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. 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 (planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, simulación de procesos físicos, configuración de modelos hidrológicos, restauración de ríos, etc.) en el marco de la gestión integral del recurso hídrico y de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Con el fin de contar con una clasificación que ha sido aplicada y verificada en diversos ambientes a nivel mundial, en esta guía se ha adoptado el 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, mesohábitat, 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, para lo cual ya se han definido unos criterios básicos para la identificación de tipologías de ríos (numeral 2.2.2) con el respectivo procedimiento (numeral 6.1.1.2) en la presente guía.

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.

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:

6.1.1.1.1 *Pendiente longitudinal.*

La pendiente longitudinal, S_o , 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.

6.1.1.1.2 *Área de cuenca y geometría hidráulica*

Para este caso considerar lo ya descrito en el apartado de análisis geomorfológico en el numeral 5.1.2.

6.1.1.1.3 *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 2, donde c_1 a c_4 son constantes.

$$L = c_1 W^{c_2}; R_c = c_3 W^{c_4} \quad \text{Ecuación 2}$$

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 a la Figura 6-2.

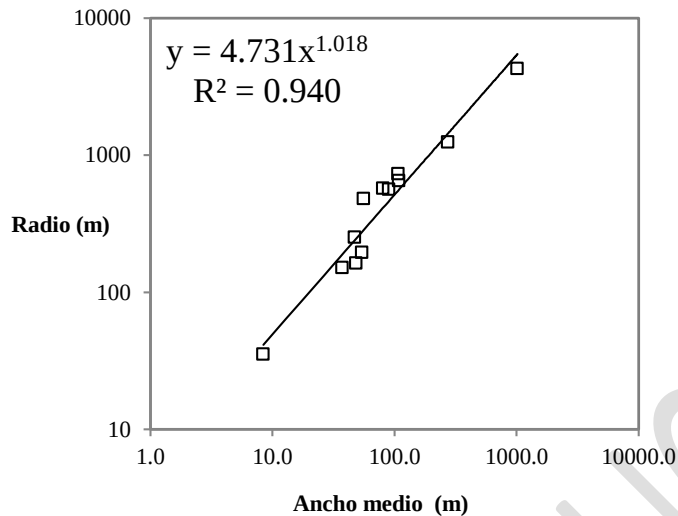


Figura 6-2. Relación de invarianza para el radio de curvatura R_c .

6.1.1.1.4 Tipo de morfología

Teniendo en cuenta que las relaciones de geometría hidráulica para el ancho del cauce sugieren dependencia del tipo de morfología de la corriente, éste se considera como un indicador adicional como parte de la representación de la estructura longitudinal del corredor aluvial.

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 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.

6.1.1.2 Procedimiento

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. En el caso de los sistemas lénticos interiores y desembocaduras, al ser en su mayoría parte de algún sistema fluvial, quedarán inmersos dentro de sus características o se especificará la consideración especial a que haya lugar.

Para enmarcar el estudio geomorfológico y dar elementos necesarios para el componente ecosistémico, es necesario elaborar un mapa geomorfológico regional a escala 1:25000 que sirva de contexto. Para la cartografía, se pueden utilizar como base las guías metodológicas existentes en el país como la propuesta por el IDEAM (2013), 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 mapas de escala regional o semidetallada en los que se puedan representar, al nivel de detalle requerido, la mayor parte de geoformas asociadas a la dinámica del sistema fluvial en el contexto de la presente Guía.

La primera actividad que debe considerarse para definir el componente geomorfológico, una vez se ha definido el cauce permanente, es realizar un análisis con fotos aéreas o sensores remotos para identificar el comportamiento regional del sistema fluvial. 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. Esta clasificación se realizará de forma preliminar y se confirmará posteriormente durante los reconocimientos de campo.

Posteriormente, se deben realizar recorridos de campo para identificar claramente los principales aspectos del cauce: espesor, presencia de vaguada ("thalweg"), tipo de corriente, procesos morfodinámicos asociados al mismo, y demás datos que puedan ser de utilidad. Con la información de los recorridos de campo y el uso de sensores remotos, se debe clasificar el tipo de corriente. Los criterios que deben considerarse 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
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	Criterio para definir el componente
			Pendiente, sedimentos	
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).
Piedemonte Externo	Trenzadas			
Piedemonte Pacífico	Baja sinuosidad			Toda la faja de trenzamiento

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	Criterio para definir el componente
			Sedimentos	
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.

6.1.1.2.1 Nacimientos

En estos casos, la ronda hídrica corresponde a una extensión de por lo menos de 100 metros a la redonda, medidos a partir de su periferia (artículo 2.2.1.1.18.2. del Decreto 1076 de 2015). Para tal efecto, la delimitación de la periferia deberá realizarse desde el análisis de las imágenes de sensores remotos y las fotografías aéreas, con su respectiva verificación en campo.

6.1.1.2.2 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.

6.1.1.2.2.1 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 de la ronda hídrica 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).

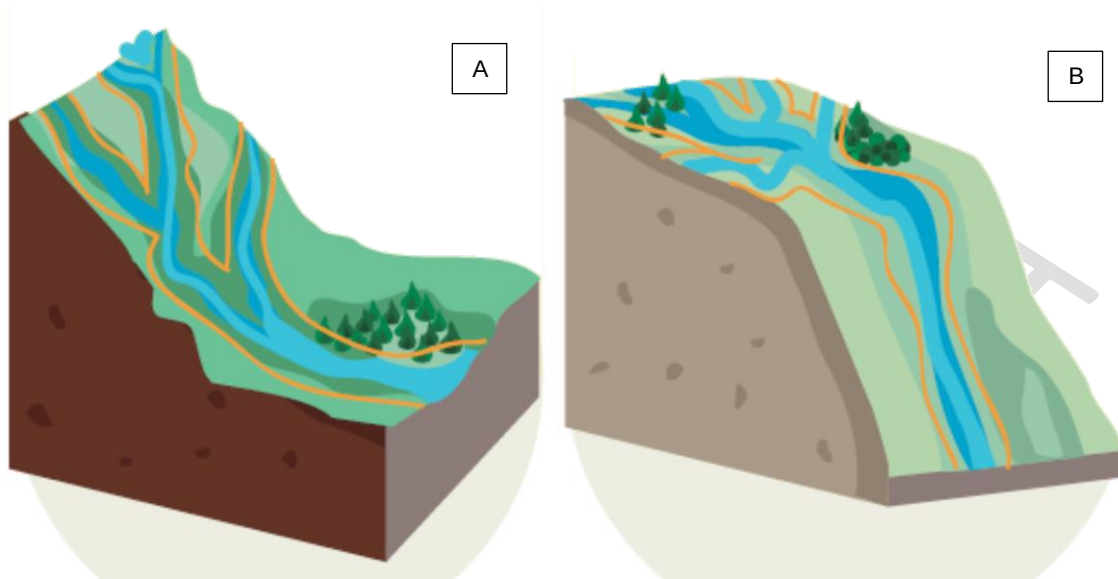


Figura 6-4. Componente geomorfológico para zonas con cambios de pendiente. A) de mayor a menor pendiente. B) de menor a mayor pendiente.

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 al contrario. 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 madrevejas, las zonas con vegetación hidrofítica, las trazas de paleocauces y cauces asociados a la corriente principal (Figura 6-5).

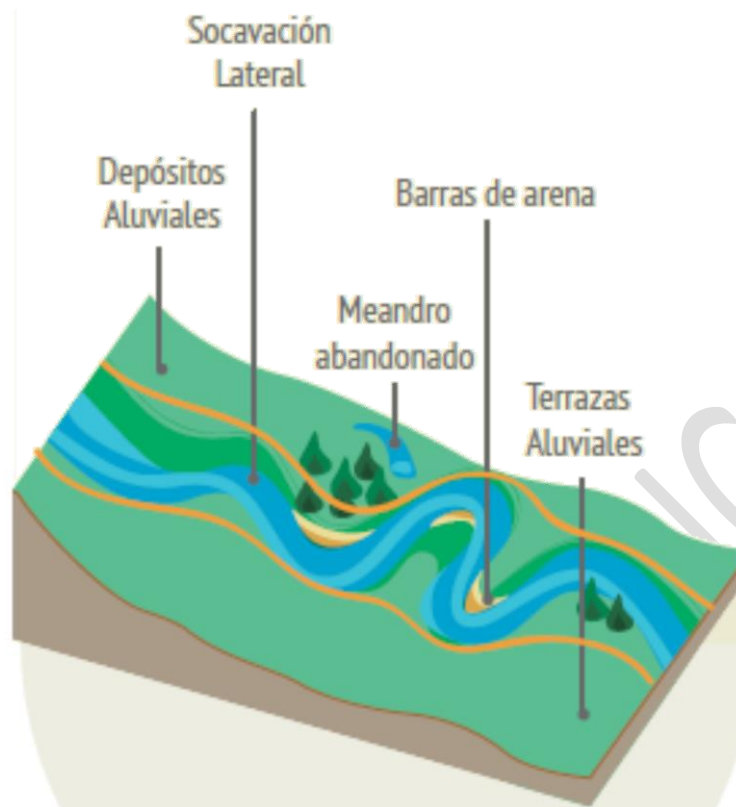


Figura 6-5. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para tramos sinuosos en corrientes de montaña.

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).



Figura 6-6. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para tramos trenzados en corrientes de montaña.

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).



Figura 6-7. Componente geomorfológico para tramos anastomosados en corrientes de montaña.

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 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.

Para las corrientes con tramos encañonados, el componente geomorfológico domina sobre el hidrológico, por lo tanto, la zona con evidencias de actividad morfológica primará en este tipo de tramos.

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 denomina 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).

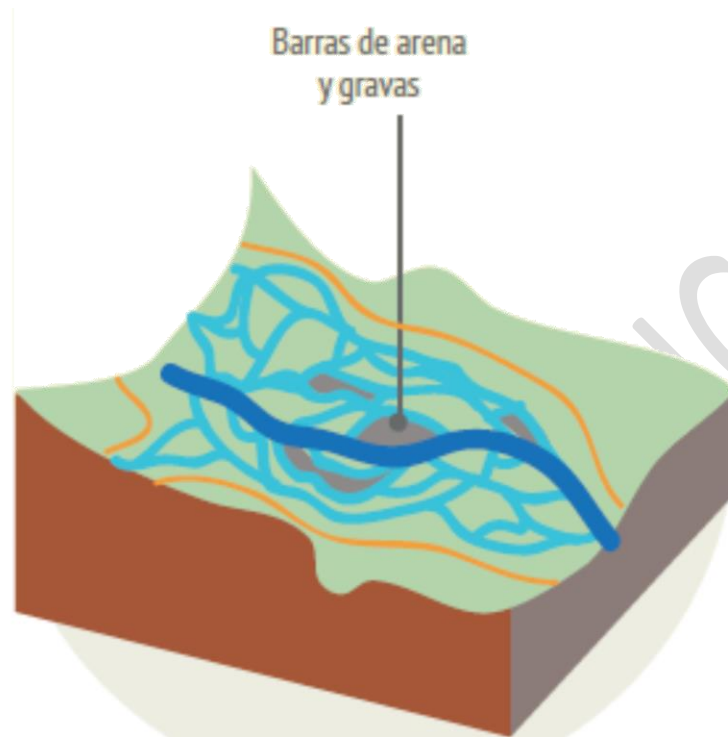


Figura 6-8. Componente geomorfológico para corrientes trenzadas en piedemontes.

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 de la componente geomorfológica 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.

6.1.1.2.4.1 Corrientes sinuosas

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

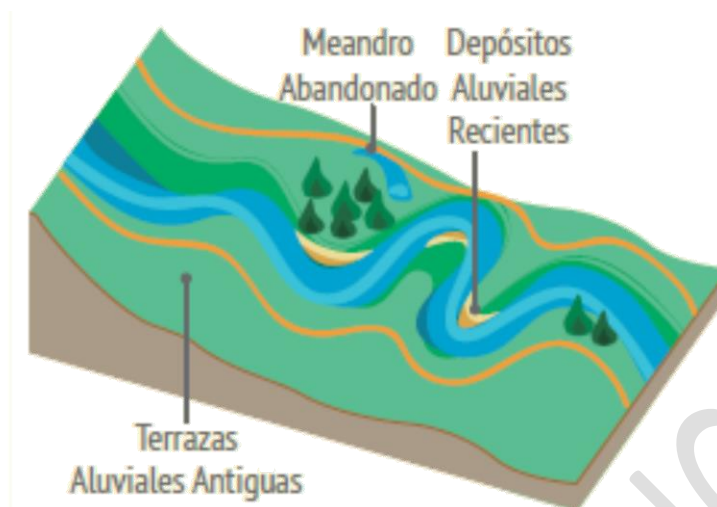


Figura 6-9. Componente geomorfológico de las rondas hídricas para corrientes sinuosas en llanuras.

6.1.1.2.4.2 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 de las rondas hídricas en corrientes anastomosadas en llanuras.

6.1.1.2.5 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 a 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 a 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

6.1.1.2.5.1 Deltas externos y deltas internos

Uno 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.

Cauce permanente

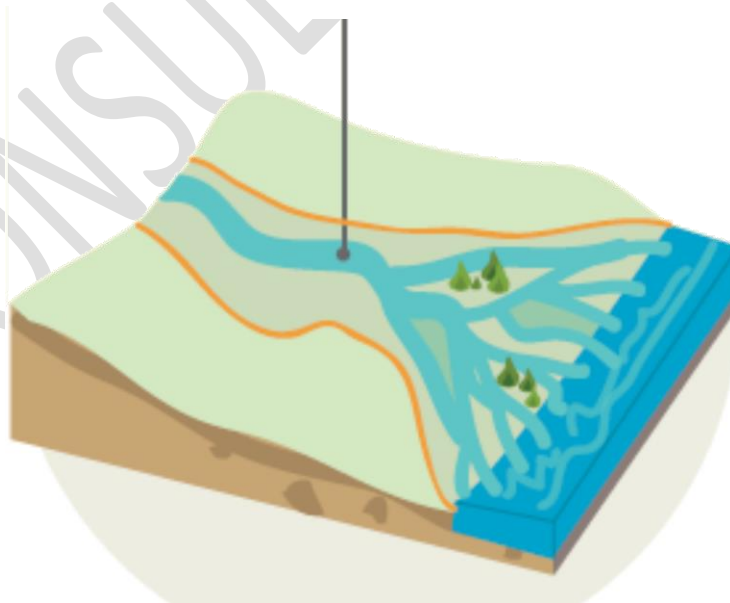


Figura 6-11. Componente geomorfológico de la ronda hídrica para un delta interno.

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

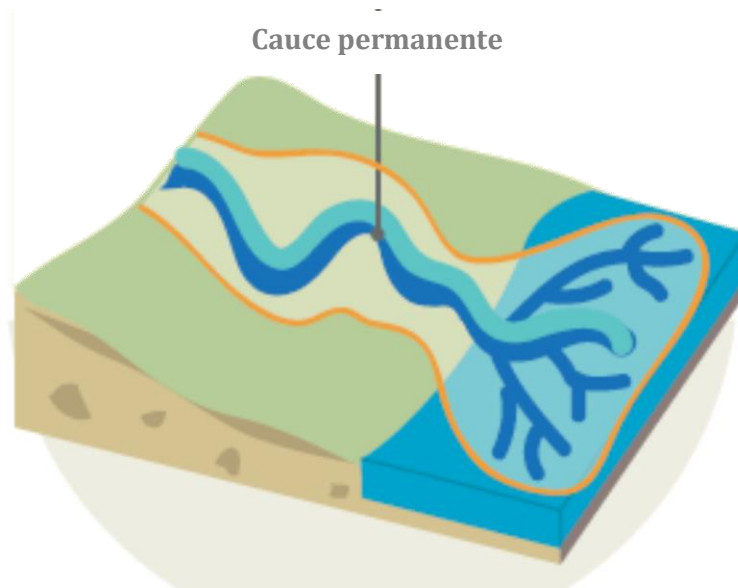


Figura 6-12. Componente geomorfológico de la ronda hídrica para un delta externo.

6.1.1.2.5.2 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).

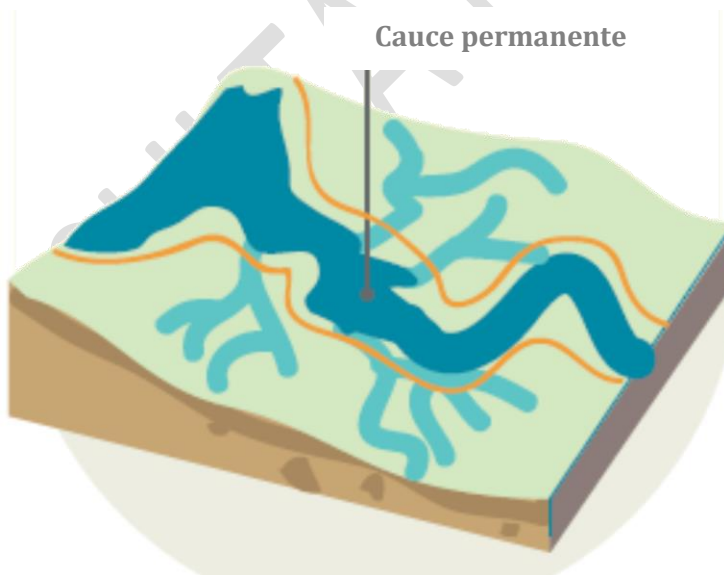


Figura 6-13. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en un estuario.

6.1.1.2.5.3 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 (Figura 6-14).

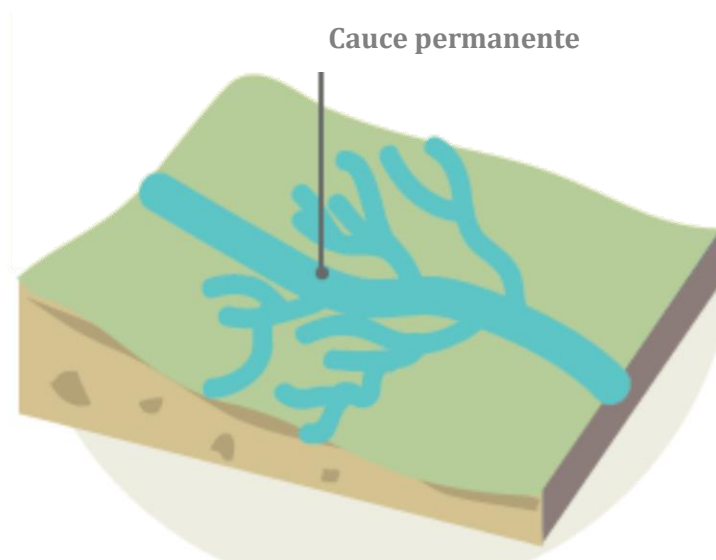


Figura 6-14. Componente geomorfológico de la ronda hídrica en desembocaduras directas.

6.1.2 Delimitación del componente hidrológico

Las funciones hidrológicas del sistema fluvial se realizan a través del cauce permanente y su ribera. En ellos se transportan y almacenan temporalmente el agua de escorrentía que se produce en la cuenca, especialmente después de los eventos de crecida, así como los sedimentos y nutrientes.

La dinámica hidrológica determina en gran parte el tamaño y la forma del cauce y su entorno, donde su conformación hidrológica y morfológica depende fundamentalmente del régimen de caudales, es decir, del momento, la duración, la frecuencia 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, las condiciones hidrometeorológicas en el país están condicionadas 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 respuesta 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 El Niño-Oscilación del Sur - 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, 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 (ciclo anual o semianual y la interanual asociada principalmente al fenómeno ENOS o los que se encuentren tienen influencia en la respuesta hidrológica). Esta zona también permite mitigar 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.

Cuando el cauce no puede transportar y/o almacenar temporalmente el agua y los sedimentos, se empiezan a presentar alteraciones morfológicas que se propagan a lo largo del cauce en ambas direcciones, aguas arriba y aguas abajo, y comprometen a sus afluentes. En muchos casos, estas alteraciones implican un aumento en los niveles del flujo durante las crecidas, lo que se constituye en un aumento de la probabilidad de ocurrencia de inundaciones.

6.1.2.1 Criterios

El componente hidrológico de la ronda hídrica 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.

El componente hidrológico de la ronda hídrica deberá garantizar el tránsito normal de los eventos ocurridos considerando uno de los fenómenos con mayor afectación sobre el régimen hidrológico, la fase fría del fenómeno ENOS o La Niña. De acuerdo con los registros históricos de ocurrencia del fenómeno, las crecidas representativas de las condiciones máximas durante una temporada “normal” de La Niña se pueden asociar a una crecida con un período de retorno de 15 años.

En cuerpos de agua que no han tenido alteraciones morfológicas considerables (e.g. presas aguas arriba, muros, diques entre otros) donde es posible el almacenamiento temporal del agua y sedimentos en su llanura inundable, el 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 (Figura 6-15).

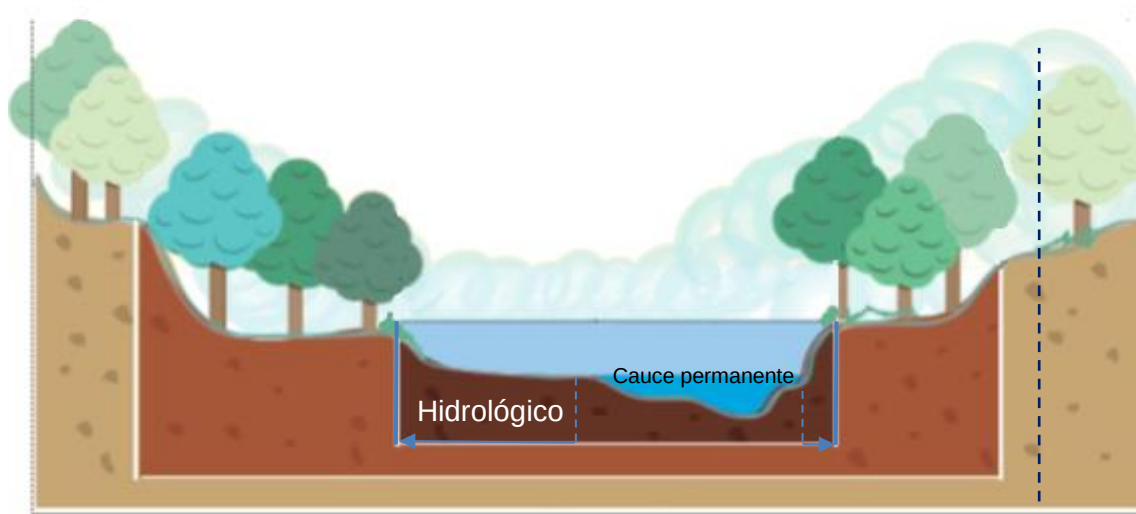


Figura 6-15. Componente hidrológico de las rondas hídricas poco intervenidas.

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 cauces 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.

En cuerpos de agua que han tenido modificaciones considerables en su morfología y donde no se han dejado posibilidades para el almacenamiento temporal de agua y sedimentos (llanura inundable ocupada), 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. Lo anterior ocurre, en general, en cuerpos de agua en zonas urbanas con asentamientos poblacionales, con actividades socioeconómicas ubicadas en la llanura inundable. En tal sentido, se debe hacer un análisis para el caudal, 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 su llanura inundable está ocupada, se introducen dos criterios complementarios para definir el área mínima necesaria para lograr la funcionalidad mencionada.

Los insumos, actividades y productos esperados para la delimitación del componente hidrológico se presentan en la Figura 6-16.

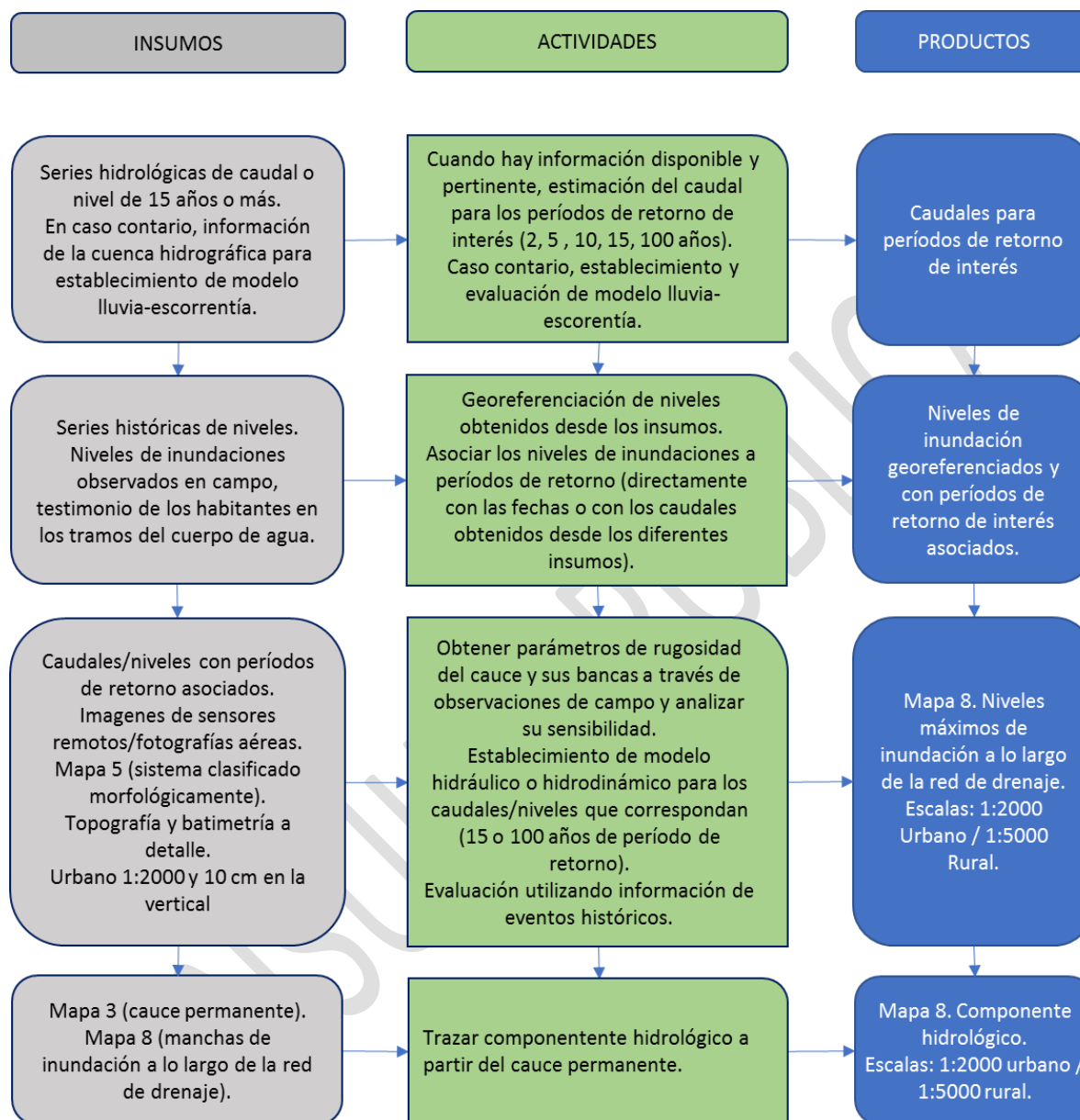


Figura 6-16. Insumos, actividades y productos para definir el componente hidrológico

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. 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, la resolución horizontal de la cartografía debe ser la de una escala de 1:2000. En zonas rurales la resolución debe ser de 1:5000. 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 alta presión antropogénica en el uso del suelo. Se recomienda utilizar tecnología LIDAR, o similares, ya que las mismas son más económicas respecto

de levantamiento topográfico 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 los entes 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 0.5m; 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. La información que se requiere para niveles del agua se puede obtener mediante: testimonios, huellas en el terreno, huellas en la vegetación, registros históricos y modelación. En este paso se debe consultar a las comunidades que habitan la región considerando que éstas pueden tener información de eventos históricos (fecha, niveles máximos a los que llegó el agua, etc.).

6.1.2.1.1 Cuerpo de agua sin modificaciones considerables en su morfología.

Se deberá obtener la superficie del flujo alcanzada sobre el terreno en toda la extensión de la inundación para eventos de 15 años de período de retorno. Para ello, la estimación se puede basar en los datos de nivel y caudal para 15 años de período de retorno en los sitios de registro. con la batimetría del cauce y la topografía de los terrenos adyacentes, con el análisis de las condiciones del flujo y con la ayuda de un modelo hidráulico o hidrodinámico.

En caso que no se cuente con registros de caudales y niveles diarios, se pueden utilizar series de caudales generadas por métodos indirectos, preferiblemente lluvia - escorrentía, debidamente calibrados y validados, es decir, que se representen adecuadamente los procesos hidrológicos predominantes para el período 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. Para el proceso de calibración-validación se puede utilizar alguna de las pruebas estándar sugeridas por Klemes (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).

Posteriormente, los resultados del modelo hidrológico podrán alimentar modelos hidráulicos o hidrodinámicos que permitan obtener la superficie de flujo del área inundable. Los modelos hidráulicos unidimensionales son aplicables a cauces y topografías abruptas donde los patrones de flujo están bien definidos y la componente transversal de la velocidad puede ser despreciable. En las zonas inundables, con relieves complejos, donde la componente transversal de la velocidad no puede ser despreciada, se debe utilizar un modelo hidrodinámico bidimensional puro o híbrido. En este último caso las zonas inundables son modeladas en dos dimensiones y los cauces en una dimensión, lo cual es la práctica ampliamente reconocida como eficiente en términos de representación de los procesos físicos, tanto en el cauce como en la llanura de inundación, sin tener altos costos computacionales.

En los sitios en los que se tienen registros de nivel afectados por obras que impiden el almacenamiento de agua y sedimentos, se debe hacer la simulación considerando la sección libre de obstáculos. Estos obstáculos deberán ser retirados para garantizar el funcionamiento de sistema fluvial y podrán ser relocalizados siguiendo los criterios que se explican en el numeral 6.1.2.1.2. Con información de caudales, y con la ayuda de un modelo hidráulico, se pueden obtener los niveles de la superficie del flujo una vez se hayan retirado los obstáculos. Proyectando estos niveles sobre la topografía, se obtiene el nivel y extensión de inundación que define el componente hidrológico de la ronda hídrica con un periodo de retorno de 15 años.

Para este análisis, el grado de ocupación del territorio a lo largo de corredor aluvial sugiere un nivel de afectación que incluye la inundación recurrente de predios, viviendas o infraestructura. Adicionalmente, en paisajes fluviales de alta pendiente o zona de piedemonte, el aumento de nivel por encima de los niveles de banca llena, puede estar acompañado de aumentos significativos de velocidad que generan procesos de socavación, desestabilización y destrucción de estructuras. En la Figura 6-17 se esquematiza el procedimiento a desarrollar.

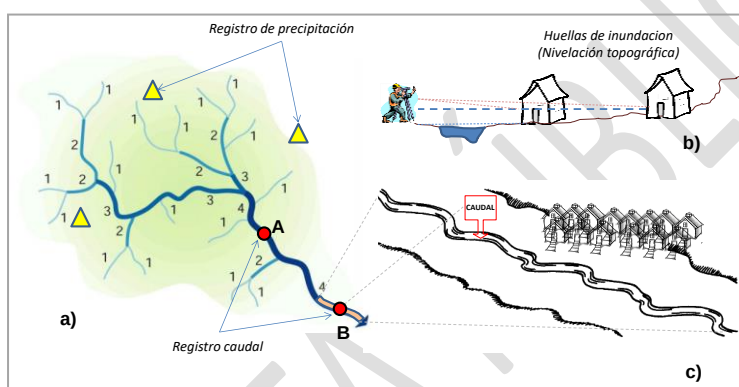


Figura 6-17. Esquematización del proceso metodológico.

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 6-17); los datos de tal estación para que sean pertinentes deben tener una longitud de registros sistemáticos a escala diaria de al menos 15 años, y no tener dentro de esta longitud más del 10% de datos faltantes; cumplidos tales criterios, se deberán considerar los respectivos análisis de calidad en la información (homogeneidad y consistencia). A partir de la serie tratada previamente, se realizará el análisis estadístico de valores extremos, para los cual se deben utilizar aproximaciones no-estacionarias para considerar los efectos de la variabilidad climática. Para el caso de análisis de frecuencia de caudales máximos extremos se ha encontrado que en Colombia la función Mixta Fréchet Tipo I es adecuada (Poveda y Álvarez, 2012).

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 6-17; 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. 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 (OMM, 2011; Blöschl et al., 2013).

6.1.2.1.2 *Cuerpos de agua con modificaciones considerables en su morfología.*

Cuando 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 caudales diarios, se pueden usar modelos matemáticos para la distribución de probabilidad de eventos extremos bajo los criterios ya expuestos anteriormente. Utilizando los estadísticos de la serie para obtener parámetros del modelo, se pueden obtener valores de caudal para el período de retorno deseado.

Al igual que para el nivel y extensión de inundación de los 15 años, si no se cuenta con la información de niveles y caudales, se pueden utilizar series de caudales generadas por métodos indirectos, preferiblemente lluvia - escorrentía, debidamente calibrados y validados siguiendo los criterios ya sugeridos y el procedimiento que se describe en el numeral 6.1.2.2. Con la información de tormentas en la región, y modelos estadísticos, se obtienen las características de las lluvias para el período de retorno de 100 años. Con estos valores y un modelo matemático lluvia - caudal se estiman los caudales para este período de retorno 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 estos casos se debe tener información de la geometría del cauce y de la topografía de su entorno (con precisión de al menos un metro en la horizontal, 20 cm en la vertical para áreas rurales y 10 cm para áreas urbanas), para lo cual se recomienda utilizar los productos obtenidos con técnicas LIDAR o similares debido a la precisión, costos y rapidez de su obtención. En los casos en los que se realicen levantamientos topográficos, se deberán tener en cuenta 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.

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).

Una vez se tiene el caudal para el período de retorno de 100 años, la batimetría del cauce y la topografía del terreno en la ribera, se implementa un modelo hidráulico bidimensional o cuasi bidimensional para obtener los niveles que definen la superficie del flujo sobre el terreno y la distribución de velocidades en la llanura inundable que en este caso constituye el componente hidrológico de la ronda hídrica. Para la evaluación de posibles alteraciones de las condiciones del cauce aguas arriba o aguas abajo, es necesario un análisis de largo plazo con modelos de transporte para ver las perturbaciones en las condiciones de equilibrio natural de los cauces.

Una vez se tiene el componente hidrológico de la ronda hídrica, para estas condiciones, se deberá comprobar la zona en la que la lámina de agua sea mayor o igual a 0.5 m, la velocidad mayor o igual a 0.5 m/s o el producto de estas dos variables mayor o igual a 0.5 m²/s. Estos criterios son indicadores de una zona de inundación peligrosa, tal como se ha estudiado e involucrado en directrices nacionales en algunos países miembro de la Unión Europea (Salazar, 2013). Considerando lo anterior, en esta parte de la ronda hídrica se deberán dar manejos que eviten los potenciales daños en las personas, bienes y servicios. Tal análisis alimentará la toma de decisiones en el respectivo establecimiento de medidas de manejo ambiental.

Cuando se realicen modificaciones en la morfología de los cuerpos de agua (e.g., construcción de infraestructura hidráulica), se debe garantizar que la alteración de los niveles de flujo durante los eventos de crecida con un período de retorno de 100 años no exceda en 30 centímetros el nivel del agua ni se incremente en más del 10% la velocidad del flujo con el cauce en condiciones naturales. Tal área debe mantenerse libre de obstáculos y será la que permita la evacuación de la crecida con años de período de retorno la cual se denomina "vía de intenso desagüe" (Figura 6-18). Dicho criterio ha sido ya comprobado e incorporado en los instrumentos técnicos y normativos en países como Estados Unidos (FEMA, 1998) o España (MARM, 2011) y probados en Colombia (Sarache, 2015).

Cuando se exceda este valor, se debe reconfigurar la forma de cauce 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, los criterios más empleados son: i) reducir la magnitud que representa la capacidad de transporte de caudal de manera equitativa en cada orilla o de manera proporcional a cada margen en función de su capacidad de transporte (FEMA, 1998); ii) adoptar la solución correspondiente al ancho mínimo (MARM, 2011).

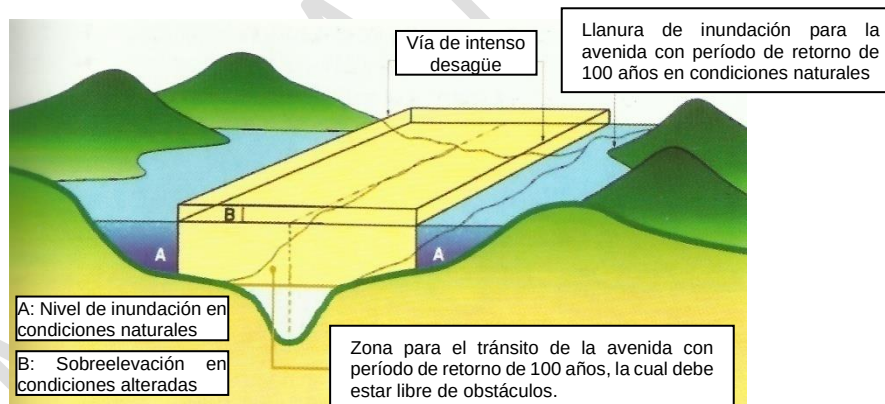


Figura 6-18. Llanura de inundaciones en condiciones naturales (A) y sobre elevación en condiciones alteradas (B: la diferencia de niveles no debe superar 30 cm y la de velocidades no mayor a 10%) para la avenida de 100 años de período de retorno. Adaptado de Godesky (2006).

6.1.2.2 Procedimiento

A continuación, se describen cada una de las actividades a realizar considerando los criterios diferenciales anteriormente mencionados.

6.1.2.2.1 Obtener información de caudales o niveles y estimar períodos de retorno de interés

La información de niveles de eventos históricos se puede obtener mediante: testimonios, huellas en el terreno, huellas en la vegetación, registros históricos y modelación. La disponibilidad de ésta será la que condicione el tipo de técnicas a utilizar:

- Si ya se cuenta con niveles de inundación y diferentes eventos, se puede realizar el respectivo análisis de frecuencia desde métodos estadísticos. Mediante el análisis de la información disponible, una función de distribución de probabilidad que presente un mejor ajuste a la

evidencia empírica encontrada. De ésta se obtienen los caudales, o preferiblemente los niveles para los períodos de retorno pre-establecidos en los sitios de interés

- Determinar, para la serie de tiempo de caudales en el tramo de estudio y los testimonios sociales recopilados desde la cartografía social, el período de retorno de los caudales correspondientes. Para la sistematización se sugiere el uso de los formatos del Anexo II.
- Establecer, empleando la información topográfica detallada (tanto en el cauce como en las llanuras adyacentes) y los anteriores insumos, un modelo hidráulico/hidrodinámico que permita representar espacialmente las áreas de inundación.

Otra posibilidad para obtener un estimativo del caudal para el período de retorno de interés, es a partir de resultados de análisis regional de caudales máximos. Con estos caudales, información de las características del cauce y de la topografía de la ribera, y un modelo hidráulico/ hidrodinámico, se pueden obtener los niveles de inundación.

Cuando no se tienen series de registros sistemáticos o cuando las series son muy cortas, se debe tener en cuenta el testimonio de testigos presenciales de los eventos pertenecientes a la comunidad y con un buen período de permanencia en la zona. De igual forma, 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 épocas de aguas altas. También se puede conseguir información satelital que permite obtener con buena precisión registros del nivel del agua en sistemas lénticos o los principales ríos de las macrocuencas Magdalena-Cauca, Pacífico, Amazonía, Orinoquía y Caribe.

Cuando la información desde las comunidades y de sensores remotos o fotografías aéreas no es suficiente, los niveles de inundación se deben obtener a partir de: estimar los caudales a partir de estudios regionales para las características de las tormentas para el período de retorno de interés considerando las condiciones más desfavorables de estado de humedad del suelo. Para ello se deberá establecer un modelo de transformación lluvia-escorrentía que cumpla el respectivo protocolo ya mencionado anteriormente para la calibración y validación. Con los caudales simulados para el período de retorno de interés, y un modelo hidráulico/hidrodinámico que refleje los procesos predominantes en el cauce y la llanura inundable, se pueden obtener los niveles de inundación.

6.1.2.2.2 Obtener información de batimetría del cauce permanente y topografía de la ribera, así como sus características de rugosidad

Debe realizarse el levantamiento topográfico del tramo de corriente analizado, tanto longitudinalmente como transversalmente. Para ello pueden 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 socioeconómico 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 desde las misiones ASTER (por sus siglas en inglés de "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer")¹ o SRTM (por sus siglas en inglés de "Shuttle Radar Topography Mission")² por ejemplo.

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 las áreas donde se tenga información de eventos históricos desde imágenes de sensores remotos, fotografías aéreas, trabajo de campo y cartografía social. Con las magnitudes y fechas de los eventos puede llegar a asociarse diferentes períodos de retorno.

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 la 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, que como se ha mencionado es la aproximación 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.

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, extensión de la misma 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.

A continuación, se detallan algunas técnicas para el levantamiento de información de eventos históricos desde el trabajo con las comunidades.

¹ <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>

² <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

6.1.2.2.3.1 *Levantamiento de cartografía social*

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 los levantamientos altiplanimétricos (precisión de centímetros) realizados en el paso anterior.

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 (Anexo II). Éstos son idénticos a 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.

Dentro de esta categoría de información, pueden incluirse los testimonios existentes en entidades como la Cruz Roja, Bomberos, entidades de atención y prevención de desastres o entidades con objeto social similar.

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.

6.1.2.2.3.1.1 *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 discutan, dibujen y pinten el mapa del territorio.

Para la delimitación funcional del componente hidrológico de las rondas hídricas se puede plantear cartografía social sobre cuencas, riesgos, recursos naturales y ordenamiento territorial (Figura 6-19). La cartografía social de la cuenca consiste en pedirles a los participantes que dibujen los ríos, las quebradas, los sistemas lénticos, los nacimientos, entre otros. Colectivamente se debe definir la dirección del drenaje, la cantidad y calidad de agua y los problemas que se presentan para el manejo del recurso hídrico.

Por su parte, 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 o torrenciales.



Figura 6-19. Cartografía social de habitantes del río Chicagua, Depresión Momposina.

El mapa de los recursos tiene el objetivo de identificar bosques, pastos, cultivos, cuerpos de agua, para luego valorar la importancia de los recursos naturales renovables para las comunidades. Finalmente, la cartografía social se puede llevar a cabo mediante un mapa base de la comunidad y la representación de la proyección futura, es decir, cómo la comunidad se imagina un futuro deseable para el territorio conforme a la gestión, las responsabilidades y los recursos existentes.

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

6.1.2.2.3.1.2 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, por ejemplo, inundaciones o avenidas torrenciales. 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.

6.1.2.2.3.1.3 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 6-20.

a)



b)

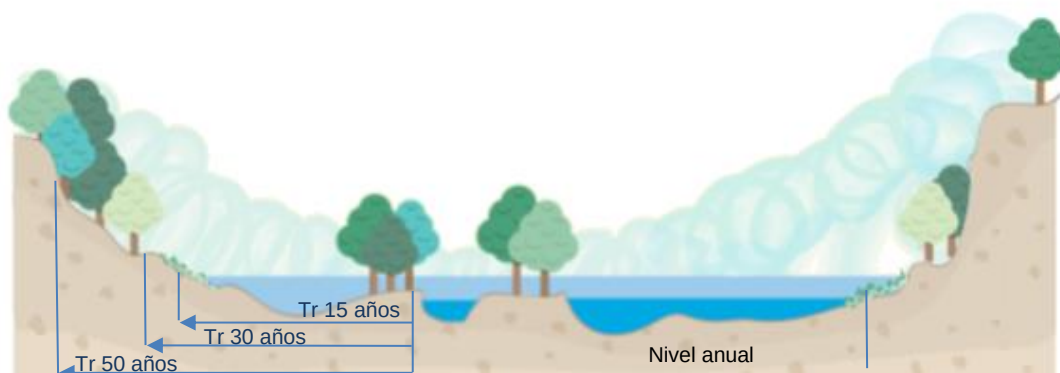


Figura 6-20. Esquema de niveles máximos de inundación para diferentes períodos de retorno (Tr) en años: a) sistema lótico; b) sistema léntico. Imágenes adaptadas de FISRWG (1998)

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 a utilizar en ejercicios participativos de análisis de transectos.

Preguntas	Períodos de retorno (Tr) en años			
	Tr = 100	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?				

Con la información recabada desde las anteriores técnicas, y pudiendo georreferenciar los niveles de inundación se pueden asociar magnitudes y fechas de eventos, y así poder realizar un análisis de frecuencia para la asignación de períodos de retorno de interés asociados. En tales casos 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).

El objetivo de la recolección de testimonios es facilitar la vinculación de los niveles históricos de inundación (y por ende caudal) y su correspondiente período de retorno, con base en el análisis de frecuencias de las series de tiempo disponibles.

La información requerida se esquematiza en la Figura 6-17, en donde el mejor de los casos corresponde a la disponibilidad de una estación de registro de niveles en el tramo definido en el primer paso (Estación B). Cuando ese sea el caso, los diferentes testimonios pueden ser confrontados con la serie de tiempo en la estación B, y determinar la magnitud de los niveles del correspondiente evento y hacer inferencias sobre la frecuencia promedio con la que se presenta. En la Figura 6-21 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 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 el promedio de los períodos t_1 , t_2 , t_3 y t_4 . En todos los casos, la serie que se va utilizar deber tener su respectivo análisis de consistencia, detección de datos anómalos y llenado de datos 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.

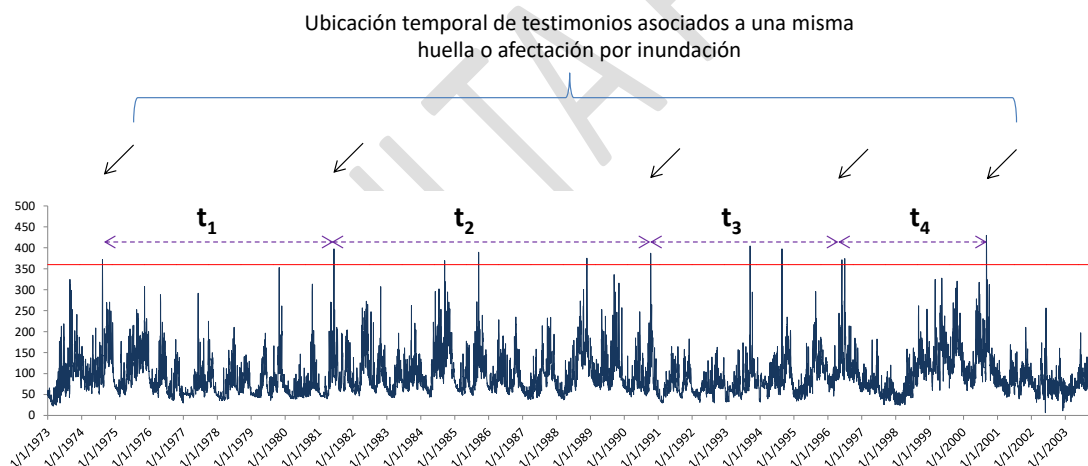


Figura 6-21. Cruce de información hidrológica y testimonios de la comunidad asentada en el corredor aluvial.
Fuente: Minambiente - UNAL, 2012

En muchas ocasiones no siempre se cuenta con una estación de registro como la estación B (sitio de interés) en la Figura 6-17. En tales casos, es posible que una estación se encuentre localizada aguas arriba del tramo de interés, tal como se ilustra con la estación A de la Figura 6-17. Para ello es posible emplear modelos de regionalización, tránsito hidrológico, tránsito hidráulico, o esquemas mucho más simples como el de transposición de caudales, de tal forma que los caudales en el sitio A puedan ser trasladados hasta el sitio B, teniendo en cuenta los efectos de almacenamiento e incremento (o disminución cuando existen difluencias) de volumen de agua que se presenten hacia aguas abajo. En algunos casos, es posible que los grandes eventos de crecida tengan una frecuencia similar en la estación de registro y en el sitio de interés. Teniendo en cuenta el tiempo de viaje de la crecida, se puedan asociar los reportes de los testigos en el sitio de interés con un evento en la

estación de registro. A continuación, se describen brevemente los esquemas de tránsito hidrológico o hidráulico.

- Esquemas de tránsito hidrológico. Requieren menor cantidad de información y son útiles cuando sólo se quiere conocer la salida del sistema (tramo de corriente) en función de las entradas al mismo y su conceptualización. Para el caso de la Figura 6-17, las entradas corresponden al registro de caudales en la estación A y las salidas a los caudales que quieren determinarse en la estación B.
- Esquemas de tránsito hidráulico. Los esquemas de tránsito hidráulico, además de las salidas del sistema, permiten conocer propiedades hidráulicas en diferentes sectores del mismo, normalmente representados mediante secciones transversales. Dentro de estos esquemas cabe mencionar modelos de onda cinemática y onda dinámica, ambos implementados en herramientas libres como el modelo HEC-RAS³ y HEC Geo-RAS.

Una alternativa adicional surge cuando se dispone de estaciones de registro de precipitación en la cuenca y sus inmediaciones. En este caso pueden emplearse modelos de transformación de lluvia en escorrentía, ya sea agregados o distribuidos, mediante los cuales puedan generarse series de caudal con resolución temporal diaria como mínimo. En todos los casos, se debe demostrar que se están representando adecuadamente los procesos físicos predominante en análisis. Para su calibración y validación se deben seguir los criterios ya esbozados en el numeral 6.1.2.1.

6.1.2.2.3.2 Estimar niveles de inundación para periodos de retorno de interés

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 funcional 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 Definir límite funcional desde el componente hidrológico

Empleando la información topográfica detallada (tanto en el cauce permanente como en las llanuras inundables), así como de los resultados del modelo hidráulico/hidrodinámico evaluado y de las simulaciones de los eventos con 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.

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. Los insumos, actividades y productos esperados del análisis de estos componentes se resumen en la Figura 6-22.

La vegetación de ribera varía de acuerdo al tipo de cuerpo de agua y se extiende en función de la disponibilidad de humedad y de la resistencia a los desbordamientos del mismo, por tanto, su

³<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/index.html>

presencia está asociada a niveles freáticos elevados y a una alta capacidad de los suelos para retener humedad (Döring y Tockner, 2008). Así, Dimopoulos y Zagaris (2008) plantean que la vegetación riparia crea franjas de formaciones leñosas, dominadas por árboles y arbustos altos, definidos por la presencia de agua en el suelo, donde interactúan ecosistemas terrestres y acuáticos. Estas franjas se conocen también como bosques o corredores riparios, ribereños o de galería.

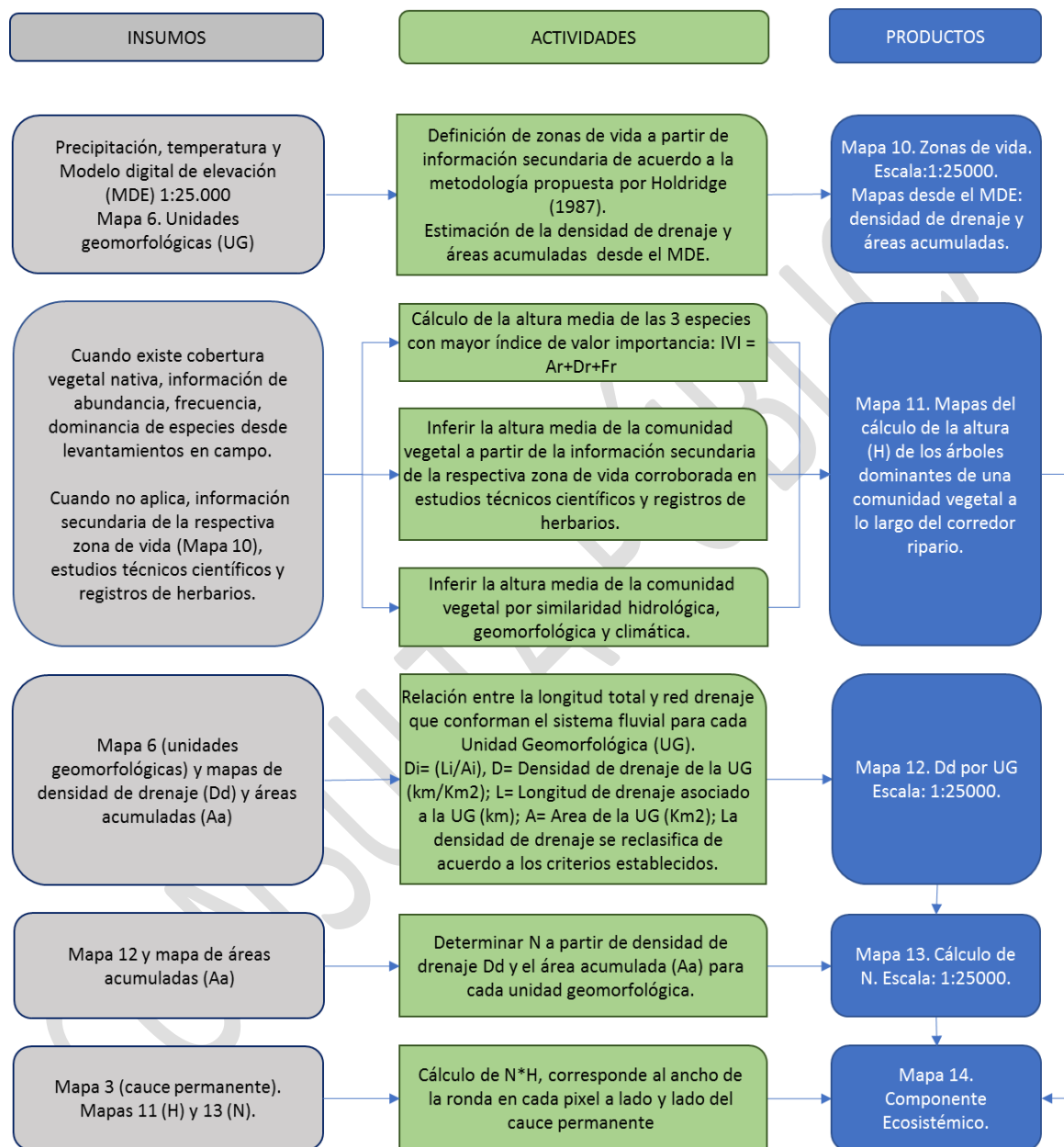


Figura 6-22. Insumos, actividades y productos para definir el componente ecosistémico.

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, en términos estéticos, éticos y sociales, 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. La franja de terreno necesaria para que se den estas dinámicas delimitará este componente. Para su delimitación se tienen las siguientes consideraciones:

- Representan una zona de ecotono o transición entre el medio acuático de caudales circulantes y el medio terrestre aledaño a las corrientes, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al constituir un espacio compartido en el ciclo del agua de los sedimentos y de los nutrientes.
- Favorecen la retención de agua y sedimentos, así como suelos profundos, generalmente 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.

6.1.3.1 Criterios

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, está 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 6-23, Figura 6-24), situación que favorece positivamente los procesos biológicos que se dan en ella (Chen, 1991; Chen et al., 1999; FEMAT, 1993).

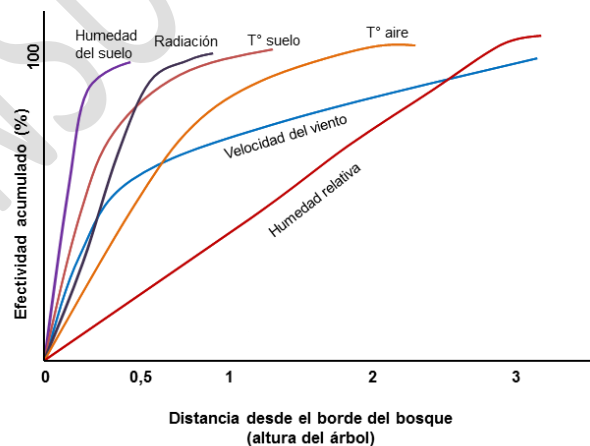


Figura 6-23. Efectos del ancho de la franja riparia en el microclima. Adaptado de Chen (1991).

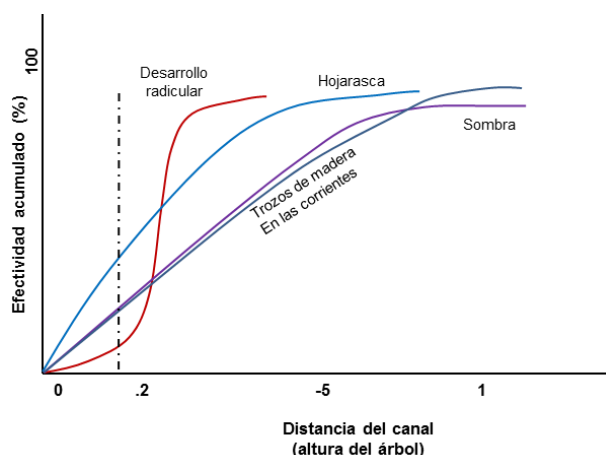


Figura 6-24. Efectos del ancho de la franja riparia en las corrientes. Adaptado de Chen (1991).

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).

6.1.3.2 Procedimiento

Para delimitar el componente ecosistémico de la ronda hídrica, 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 (Figura 6-25).

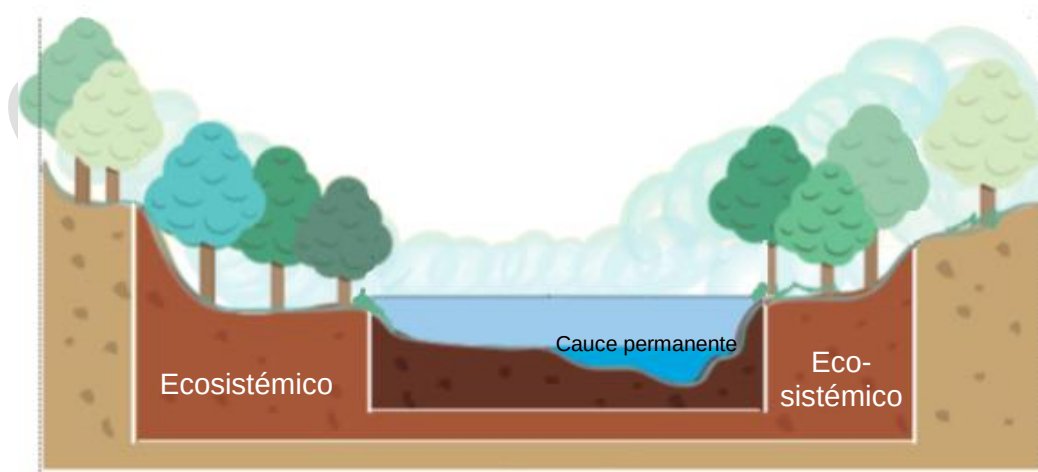


Figura 6-25. Delimitación del componente ecosistémico.

El componente ecosistémico se determina siguiendo los pasos que se presentan en el diagrama de flujo en la Figura 6-22. Los insumos requeridos se resumen en la Tabla 6-6

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 a 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	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, con base en la información oficial disponible. ⁴	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 Identificación de zonas de vida

Según Holdridge (1987), una zona de vida (Figura 6-26) 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).

⁴ Cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC o de la Autoridad Ambiental competente.

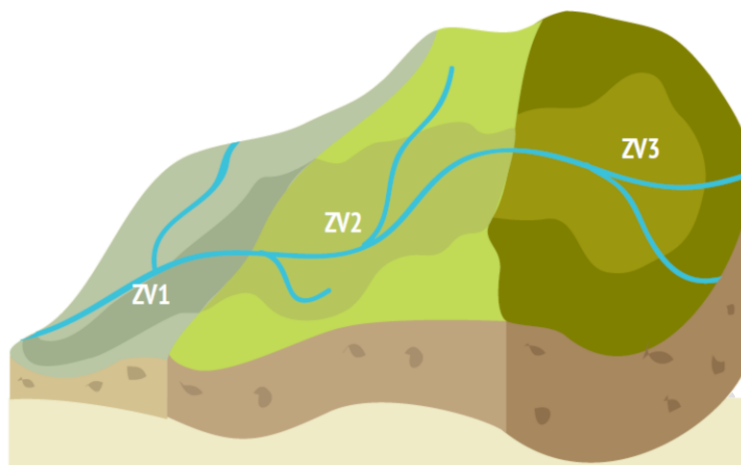


Figura 6-26. Delimitación de zonas de vida.

6.1.3.2.2 Cálculo de *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 6-23), 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 3:

$$IVI = A_R + D_R + F_R \quad \text{Ecuación 3}$$

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})

$$A_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$A_{Ri} = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1...n} A_i} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

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})

$$D_i = \left(\frac{s_i}{S} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

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

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})

$$F_i = \left(\frac{f_i}{F_t} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

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

Donde:

F_i = Frecuencia absoluta de la especie i.

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

Ft = Número total de parcelas

De acuerdo a 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" se debe inferir a partir de información secundaria de la respectiva zona de vida, corroborada en estudios técnicos, científicos y registros de herbario (i) o inferir la altura media de la comunidad vegetal por similitud hidrológica, geomorfológica y climática (ii) como se explica a continuación:

- 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 a lo planteado en caso de existir cobertura vegetal.

6.1.3.2.3 Definición de unidades geomorfológicas (UG)

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

6.1.3.2.4 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 6-27) 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 10.

$$D_i = \frac{L_i}{A_i} \quad \text{Ecuación 10}$$

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).

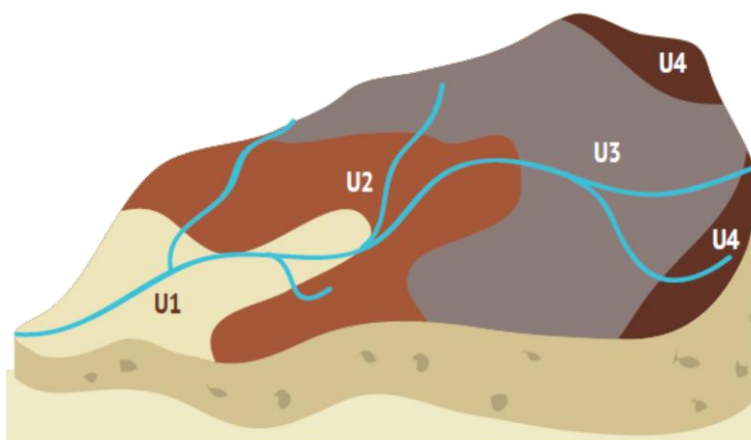


Figura 6-27. Determinación de la densidad de drenaje por unidad geomorfológica.

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 6-7.

Tabla 6-7. Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje. Fuente: Londoño (2001).

Densidad de drenaje (Dd)		
Baja	Media	Alta
$< 1.5 \text{ km/km}^2$	$1.5 - 3.0 \text{ km/km}^2$	$> 3 \text{ km/km}^2$

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 6-8.

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 6-8. Cálculo de densidades de drenaje para diferentes cuencas de Colombia a escala 1:25000.

Plancha IGAC	Cuenca	Long_red (Km)	Área (Km ²)	Densidad 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

6.1.3.2.5 Cálculo de áreas acumuladas

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

El mapa de áreas acumuladas (Aa) 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 6-9.

Tabla 6-9. Rangos de clasificación de áreas aferentes. Fuente: Minambiente - UNAL, 2012.

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

6.1.3.2.6 Definición de N (Relación entre Dd y Aa)

La variable N se calcula como la relación entre la densidad de drenaje por unidad geomorfológica y el área de la cuenca aferente a cada punto de la corriente objeto de estudio; 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 6-10).

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 6-10. 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/km2	Media 1.5 - 3.0 km/km2	Alta > 3 km/km2
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	

6.1.3.2.7 Estimación del ancho del componente ecosistémico (N*H)

El ancho del componente ecosistémico (Figura 6-28a) 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 al cuerpo de agua analizado. Lo anterior se estima de acuerdo con la Ecuación 11.

$$\text{Componente ecosistémico} = H_i * N_i \quad \text{Ecuación 11}$$

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 a partir del cauce permanente como se observa en la Figura 6-28b. Si no existe cobertura vegetal propia de la zona de vida, para cumplir con el efecto filtro (tampón), la franja ecosistémica nunca será menor de 30 m, tal como lo establece el Decreto 1076 de 2015 para las "áreas forestales protectoras". Si existen grandes masas boscosas, se estima la relación $N*H$, se compara con lo establecido para "áreas forestales protectoras" si dicha figura normativa se encuentra estimada, y se define el componente ecosistémico con el criterio que fije el mayor ancho.

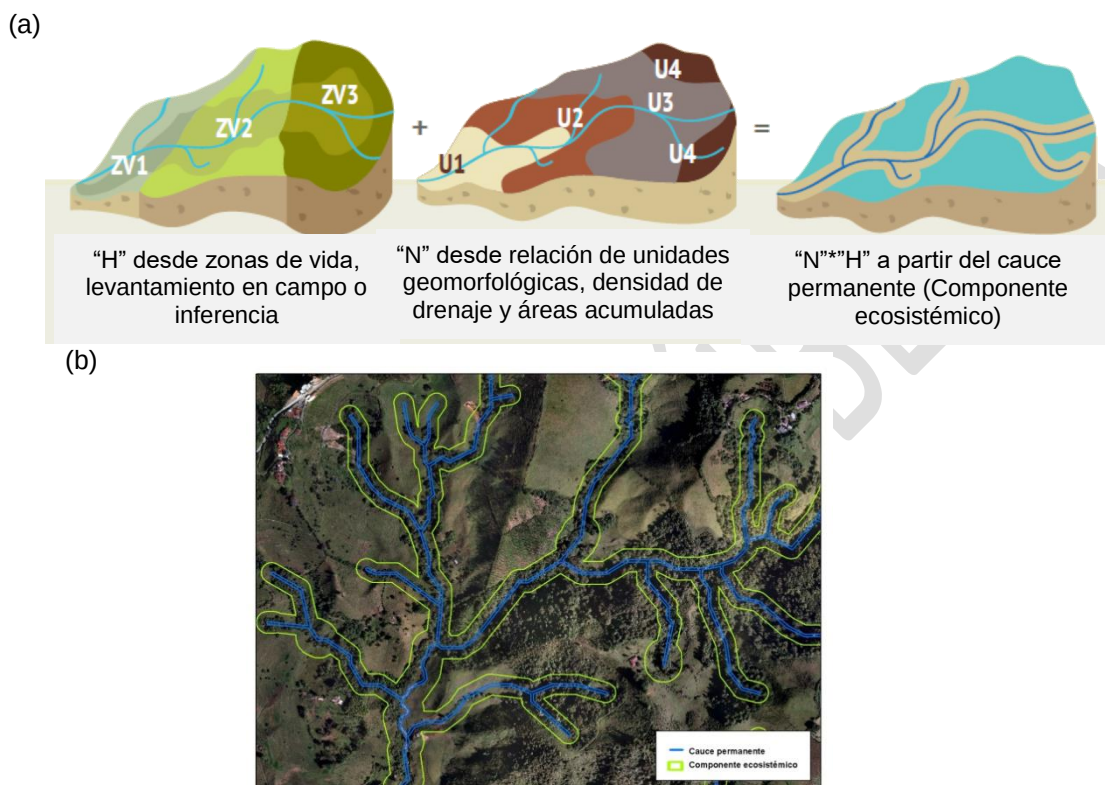


Figura 6-28. (a) Esquema de determinación del Componente Ecosistémico y (b) ejemplo de aplicación – Quebrada El Perro, Manizales-Colombia.

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 ecosistémico se realiza a escala de detalle de 1:5000 o mayor. Por tanto, la escala de cálculo del componente ecosistémico es mínimo 1:25000, pero la escala de salida la determina la escala empleada para la delimitación del cauce permanente.

6.1.3.3 Consideraciones especiales

Se presentan las siguientes especificaciones para casos concretos que ameritan consideraciones particulares.

Nacimientos. 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 (Decreto 1076 de 2015).

Dolinas. Las zonas que tengan presencia de dolinas (áreas de alta infiltración), generarán una ronda hídrica correspondiente al componente ecosistémico bajo los mismos criterios que los nacimientos.

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.

Lagos, lagunas y embalses. En algunos casos la franja del componente ecosistémico cumplirá la función de descontaminar las aguas resultantes de los procesos llevados a cabo en las zonas adyacentes (agricultura, ganadería) y que aporten algún tipo de sustancia nociva para la calidad de sus aguas y las funciones ecológicas de estos cuerpos. La distancia mínima del componente ecosistémico para estos casos será de 4H, nunca inferior a 30 m, medidos a partir de la delimitación del cauce permanente.

Manglares, cativales, natales, guandales, morichales y otros bosques inundables. La distribución de los ecosistemas que se desarrollan en suelos hidromórficos y que por tanto dependen de la interacción continua con masas de agua dulce 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 a considerar como componente ecosistémico. En los casos en que no exista información, el componente ecosistémico podrá ser de mínimo 4H, la vegetación nativa potencial, los cuales serán medidos a partir del cauce permanente.

Zonas urbanas. En las zonas urbanas consolidadas o altamente intervenidas, 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 cursos 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.

Cuando los centros poblados estén inmersos en grandes masas boscosas, el componente ecosistémico será compensado por los servicios ambientales del bosque adyacente. Al interior del centro poblado se deben considerar los mismos criterios que en zonas urbanas.

6.1.4 Determinación de la envolvente para definir el límite funcional

El resultado de la delimitación de cada uno de los componentes físico-bióticos de la ronda hídrica es un mapa trazado a partir del cauce permanente. El límite funcional de la ronda hídrica será entonces la envolvente resultado de la superposición de los tres componentes: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico. En la Figura 3-6 se esquematiza el proceso cartográfico para determinar la envolvente y obtener el polígono que define la ronda hídrica.

6.1.5 Determinación de los elementos de la ronda hídrica establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011

Una vez se define el límite funcional de la ronda hídrica, se procede a delimitar la faja paralela a que refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-ley 2811 de 1974 que es el elemento de la ronda hídrica que pertenece al dominio de lo público, salvo derechos adquiridos. El resto de área, dentro límite funcional, se denomina "área de protección o conservación aferente".

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 y la estrategia de manejo debe estar enfocada a la preservación.

6.2 Caracterización de las condiciones socio-culturales dentro del límite funcional

Las distintas formas de ocupación del territorio, usos de la tierra, y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, debido a fenómenos económicos, culturales y políticos, afectan las funciones geomorfológicas, hidrológicas y ecosistémicas de las rondas hídricas, por lo que su delimitación y manejo plantea el problema de definición de condicionamientos para el uso de la tierra (medidas de manejo ambiental) que deben ser incorporadas dentro del marco del ordenamiento territorial como determinantes ambientales. Lo anterior para atender al objeto de Conservación, pero con distintas estrategias relacionadas con preservación, restauración y uso sostenible.

La ronda hídrica es un ecosistema estratégico, que dadas las condiciones de naturalidad y de regulación y soporte de servicios ecosistémicos en la cuenca, limitan y restringen los asentamientos humanos y/o el uso y aprovechamiento de recursos naturales. Por esta razón, la ronda hídrica se encuentra en la categoría de conservación y protección ambiental definidas en la Guía Técnica para la Formulación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (numeral 3.2.3.7 de la Resolución 1907 de 2013 del Minambiente).

En este apartado se presentan los criterios para realizar la caracterización de los fenómenos culturales asociados a la ocupación de la ronda hídrica y los servicios ecosistémicos que ésta presta. La finalidad de esta caracterización es lograr una mejor comprensión de la realidad social, que permita una orientación asertiva en el manejo ambiental considerando los requerimientos de espacio dados por el análisis del límite funcional pero también atendiendo a la co-evolución de estos ecosistemas a partir de la ocupación o aprovechamiento histórico de las comunidades.

6.2.1 Caracterización de la ocupación del territorio y uso de los recursos naturales

La caracterización de la ocupación del territorio y del aprovechamiento de los recursos naturales es de vital importancia para efectos del manejo de las rondas hídricas. Para este análisis, se deben evaluar los niveles de ocupación y los usos de los recursos naturales localizados dentro de su límite funcional. Una forma de agrupar los usos de los recursos naturales o su aprovechamiento socio-cultural es utilizando las definiciones de servicios ecosistémicos.

De acuerdo con la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE- (Minambiente, 2012), 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 funcional 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 funcional 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 desde la caracterización cultural, así como de los actores directos relacionados.

Considerando lo anterior, en primer lugar se deben georreferenciar las actividades de aprovechamiento de recursos naturales y actividades económicas o de servicios. Por ejemplo, los siguientes usos:

- 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 pétreos.
- 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 segundo lugar, se debe hacer una evaluación de la presión sobre los recursos naturales para determinar los niveles de intervención antrópica, así como la tendencia futura para las restricciones de 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 de recursos naturales y producción de bienes y servicios. Esta evaluación de la presión sobre las rondas hídricas se hace teniendo en cuenta la intensidad de uso, es decir, si el aprovechamiento es o no sostenible a largo plazo.

El manejo de la ronda depende de la ocupación del territorio. Por esta razón, es importante ubicar las áreas urbanas y en expansión, así como las áreas rurales y sus tendencias de desarrollo. Los patrones de asentamiento están definidos por la ubicación y distribución de la población a lo largo del territorio. Al respecto, la Ley 388 de 1997 ordena clasificar el suelo en rural, suburbano, urbano y de expansión urbana, dentro de los cuales se puede presentar las categorías de suelos de protección.

Desde el punto de vista técnico, en áreas rurales donde la población se distribuye dispersamente se pueden dividir en: áreas para la conservación y protección ambiental; áreas para la producción agropecuaria y la explotación de recursos naturales; área de servicios; y áreas de patrimonio cultural. En el suelo urbano, donde la población se encuentra concentrada, los usos del suelo se clasifican en: comercial, industrial, residencial, institucional y servicios -infraestructura, espacio público, equipamientos, patrimonio, etc. Lo anterior es útil para definir los posibles problemáticas o conflictos que puedan ocasionarse dentro del límite funcional de la ronda y de esta forma incorporar acciones que permitan transformarlos con medidas de compromiso para el desarrollo sostenible.

6.6.2. Caracterización cultural

Los cuerpos de agua son factores estructurantes del asentamiento de la población a lo largo de la historia de las civilizaciones humanas. Éstos propician el suministro de agua, la producción de energía, el transporte, la seguridad alimentaria y el disfrute de múltiples servicios ambientales.

Gracias a ello, grupos humanos históricamente han permanecido en hábitats ribereños de los cuerpos de agua (ver los dos volúmenes de la obra Colombia Anfibia, un país de humedales: Jaramillo et al., 2015; 2016).

El espacio público se asume como bien colectivo, en tanto se trata de un derecho, pero también de una construcción simbólica socialmente compartida, construida y apropiada por la sociedad. La caracterización de las rondas debe incluir una identificación georreferenciada de las zonas para la realización de prácticas culturales como rituales, festividades y actividades de recreación pasiva y activa.

Bajo las anteriores premisas, la caracterización cultural de las rondas hídricas debe contemplar un examen de las estrategias de adaptación por parte de las comunidades, un análisis de los patrones de asentamiento de la población y una identificación georreferenciada de los espacios públicos donde se realizan prácticas locales ancestrales.

En esta caracterización deben incluirse: las costumbres, las creencias y hábitos de las poblaciones ribereñas relacionadas con la ronda hídrica y su relación con el cuerpo de agua; la percepción que tienen frente al agua y la visión ancestral del territorio. Como metodologías para la caracterización cultural pueden utilizarse: la cartografía social, encuestas, entrevistas, grupos focales, entre otras. Debe identificarse la existencia de comunidades étnicas y/o afrodescendientes y si existen planes de vida, Concejos comunitarios de comunidades negras, y si existe patrimonio cultural y arqueológico. Lo anterior permitirá fijar los criterios diferenciales para el establecimiento de la estrategia de participación para el logro de medidas de manejo ambiental coherentes con las dimensiones físico-biótica y socio-cultural.

El resultado de la caracterización permitirá definir medidas de manejo ambiental que sean compatibles con la categoría de conservación y protección de la ronda hídrica. Ejemplo de ellas puede ser la destinación de áreas, dentro del límite funcional 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. áreas para recreación pasiva y contemplativa).

6.2.2 Caracterización de actores

Esta actividad consiste en la caracterización de los principales actores que tienen relación con las rondas hídricas. Para el desarrollo de esta caracterización se propone la realización de mapas de individuos y grupos sociales que contengan sus intereses, demandas y posiciones frente a posibles medidas de manejo ambiental.

Una participación activa de la comunidad y de los actores en el acotamiento de la ronda hídrica puede no solamente disminuir los conflictos en la implementación de las medidas de manejo ambiental, sino que propicia la responsabilidad y la concientización relacionada con los riesgos asociados a inundaciones y avenidas torrenciales en estas áreas y la necesidad de su conservación y protección para mantener los servicios ecosistémicos que presta.

Es conveniente que se involucre desde el inicio del proyecto la participación de la comunidad y los principales actores involucrados en el área. En los casos que aplique, deben armonizarse las estrategias de participación cuando se está realizando el proceso de formulación o ajuste del respectivo Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica.

6.3 Definición de medidas de manejo ambiental

Una vez fijado el límite funcional y los elementos de la ronda hídrica, así como su caracterización socio-cultural, deben definirse áreas homogéneas para las cuales se establecerá una respectiva estrategia de manejo ambiental en el corto, mediano y largo plazo que atienda al objeto de conservación y protección.

El desarrollo de los asentamientos humanos históricamente se ha realizado alrededor de cuerpos de agua debido a su diversidad de servicios ecosistémicos. Por esta razón, deben darse manejos compatibles con la categoría de conservación y protección bajo el principio de garantizar el funcionamiento de la dinámica del sistema y los beneficios derivados de este para el aprovechamiento sostenible de la población. 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.

Las acciones a emprender para la definición de medidas de manejo ambiental son las siguientes:

- Actividad 1. Definir áreas homogéneas de la ronda hídrica respecto a la similitud en sus características físico-bióticas y socioculturales.
- Actividad 2. Definir estrategias de manejo en cada área homogénea de la ronda hídrica.

6.3.1 Definición de áreas homogéneas

Las rondas hídricas deben seccionarse en áreas homogéneas para su manejo, teniendo como punto de partida el límite funcional de las mismas considerando la caracterización de cada uno de los componentes físico-bióticos: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.

Desde el punto de vista de la definición de las zonas que permitirán ocupación, o no, de personas o el desarrollo de actividades socioeconómicas, el criterio a considerar es el establecido en el componente hidrológico: i) para el caso de cuerpos de agua sin modificaciones considerables en su morfología, toda la zona del componente hidrológico (indiferente de que haga parte o no del primer elemento de la ronda hídrica (literal d) del artículo 83 del Decreto-ley 2811 de 1974); ii) en el caso contrario, no se permitirá la construcción de obras ni el establecimiento de personas o actividades en aquellas zonas donde, para el evento con 100 años de período de retorno, la lámina de agua en la zona inundable sea mayor o igual a 0.5 m, la velocidad mayor o igual a 0.5 m/s o el producto de estas dos variables mayor o igual a 0.5 m²/s. Igualmente ocurre para la zona denominada como "vía de intenso desagüe". Adicional a lo anterior, se deberán considerar para la estrategia de preservación los tramos que tengan "área forestal protectora" identificada o en los que se haya identificado vegetación de ribera nativa.

En la definición de las áreas homogéneas debe integrarse la caracterización de las condiciones socio-culturales. Se debe considerar la ocupación y uso de la tierra dividiendo las zonas urbanas y rurales; la localización de áreas de recreación existentes, espacio público y prácticas ancestrales y culturales de grupos étnicos. Se deberán involucrar las tendencias de ocupación del territorio y las proyecciones que se tienen desde los actores como posibles escenarios dentro de la ronda hídrica (e.g. suelos de expansión urbana, proyectos de infraestructura vial, espacios para la recreación). Desde los mapas de actores deben considerarse los intereses, las demandas y posiciones de los individuos o grupos sociales relacionados con la ronda hídrica, así como la estrategia para el logro de la implementación, seguimiento y evaluación de las decisiones que se adopten para el manejo ambiental de la ronda hídrica en el corto, mediano y largo plazo.

6.3.2 Definición de estrategias de manejo en cada área homogénea.

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 estrategia de 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) o en las que existan delimitadas las "áreas forestales protectoras".

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. 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 en el largo plazo no afectan la funcionalidad de la ronda hídrica, es decir que no se alteran los atributos básicos de composición, estructura y función del ecosistema permitiendo mantener los servicios ecosistémicos presentes y futuros. En estos casos estarían, por ejemplo, áreas para el conocimiento de la biodiversidad, contemplación, recreación pasiva, cultivos estacionales adaptados al régimen hidrológico, entre otras actividades compatibles.

A continuación, se presentan los criterios mínimos a considerar para el establecimiento de estrategias de manejo ambiental en el corto, mediano y largo plazo, las cuales deben considerar las realidades socio-culturales para su implementación, seguimiento y evaluación:

a) Preservar áreas naturales de interés:

- Áreas de existencia de bosque de ribera nativo (bosque de galería) o en las que existan delimitadas las "áreas forestales protectoras".
- Áreas donde se identifiquen poblaciones y los hábitats necesarios para la sobrevivencia de las especies o conjuntos de especies silvestres 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 ambientales.
- Nacimientos de cuerpos de agua
- Áreas de recarga de acuíferos

b) Restaurar áreas que han tenido algún tipo de intervención y donde puede restituirse el ecosistema natural, buscando conservar o restaurar corredores biológicos. 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. En los casos de existencia de 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, tales áreas serán objeto de la presente estrategia. Si se da la situación, en estas áreas, de existencia de construcciones de infraestructura

o viviendas singulares, puede contemplarse como una estrategia un acuerdo de demolición de esta infraestructura para buscar el restablecimiento de la composición, estructura y función de la biodiversidad.

c) Mantener áreas en tramos urbanos consolidados sin elementos expuestos vulnerables a eventos de inundaciones, avenidas torrenciales o inestabilidad geotécnica. En áreas homogéneas en tramos urbanos consolidados sin personas, bienes, servicios o actividades económicas expuestas a las inundaciones, avenidas torrenciales, socavación o erosión, debe definirse una estrategia para el mantenimiento de la infraestructura existente de tal forma que se asegure el correcto funcionamiento de la dinámica propia del cuerpo de agua. Para esta estrategia, se debe propender por el mantenimiento de tal área homogénea de la ronda hídrica que permita cumplir la doble función de regular los caudales que puedan desbordar la sección del cauce y la entrada de escorrentía y contaminantes desde el área de drenaje y evitar la ocupación antrópica.

f) Proveer y mantener espacios naturales, o aquellos en proceso de restablecimiento de su estado natural, aptos para el deleite, la recreación, la educación y la valoración social de la naturaleza.

g) Conservar espacios naturales asociados a elementos de cultura material o inmaterial de grupos étnicos y sus prácticas ancestrales. En caso que existan grupos étnicos, indiferente de su localización en la cuenca hidrográfica, que desarrollen actividades culturales materiales o inmateriales dentro de las rondas hídricas, los espacios naturales asociados serán conservados y las actividades deberán ser permitidas. Dentro de esta categoría se excluye cualquier tipo de actividad que modifique los atributos de funcionalidad de las rondas hídricas, como puede ser el caso de técnicas extractivas intensivas de minerales que cambien el cauce o lecho de un cuerpo de agua, así como su ronda hídrica.

h) Mantener o establecer usos múltiples cuando éstos son compatibles con el objeto de conservación de la funcionalidad de las rondas hídricas. En primer lugar, áreas que se encuentren en conflicto o grado de deterioro, pero que no están catalogadas dentro de las anteriores estrategias, pueden ser establecidas para usos compatibles como pueden ser el paisajismo, áreas forestales productoras, sistemas agroforestales o silvopastoriles, recreación, actividades agropecuarias transitorias no intensivas y que no utilizan ningún tipo de productos químicos que puedan luego llegar al cuerpo de agua. En cualquiera de los anteriores casos, la definición de la medida de manejo debe ser claramente delimitada y progresiva para cumplir con la estrategia de uso sostenible de los recursos naturales dentro de las áreas homogéneas con aptitud para ello, y evitar a su vez una mayor degradación ambiental o la generación de nuevos conflictos. Cuando en el área homogénea se encuentra alguna actividad ya establecida, y que pueda ser compatible, se deberán establecer las respectivas medidas a que haya lugar para que dicha actividad sea sostenible; ejemplo de ello puede ser la sustitución de agroquímicos por controles biológicos en el caso de cultivos, o en caso de existir cultivos permanentes o monocultivos establecer medidas progresivas en el corto, mediano y largo plazo para su sustitución por cultivos transitorios o el establecimiento de sistemas agroforestales.

7 FASE 3: SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

El presente capítulo aborda los aspectos relacionados con el seguimiento a la efectividad en la ejecución de las medidas de manejo ambiental para el corto, mediano y largo plazo. La implementación de las estrategias establecidas en el numeral 6.3, para el logro del objetivo de conservación y protección ambiental, dependen del cumplimiento de los actores comprometidos para ello en el marco de sus responsabilidades. 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 medidas de manejo ambiental previstas en el proceso, se sugiere el uso de 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).

Dentro de la literatura se pueden encontrar diversos indicadores para la evaluación de la calidad del sistema fluvial en el conjunto cauce-rondas hídricas, principalmente desde enfoques hidromorfológicos como es el caso de la Directiva Marco del Agua en Europa (ver por ejemplo revisión realizada por Fernández et al., 2011). 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. 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 homogéneas para las cuales se establecieron estrategias de preservación y restauración.

7.1 Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)

El índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) 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 deberá considerar lo establecido en la presente Guía para la delimitación del cauce permanente.

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 et al., 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 extienda 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 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

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%

7.1.2 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

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 %

7.1.3 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

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			

Como se mencionó, para determinar la calidad de la cobertura se debe conocer el tipo geomorfológico de la zona de ribera. Para ello se puede tener como línea base el análisis geomorfológico respectivo presentado en la presente Guía (numeral 6.1.1). Sin embargo, se presenta 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 (Figura 7-1).

		<i>Puntuación</i>	
<i>Tipos de desnivel de la zona riparia</i>		Izquierda	Derecha
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas		6	6
Igual pero con un pequeño talud o orilla inundable periódicamente (avenidas 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
<i>Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río</i>			
Anchura conjunta "a" > 5 m..		-2	
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.		-1	
<i>Potencialidad de soportar una masa vegetal de ribera. Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente</i>			
> 80 %	No se puede medir		
60 - 80 %	+6		
30 - 60 %	+4		
20 - 30 %	+2		
<i>Puntuación total</i>			
<i>Tipo geomorfológico según la puntuación</i>			
> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un extenso bosque de ribera	
entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos	
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso	

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. Tomado de FEM (s.f.)

7.1.4 Grado de alteración del cauce

Se consideran las modificaciones el cauce y en las riberas. En la Tabla 7-4 se presentan los criterios para evaluar el grado de naturalidad.

Tabla 7-4. 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

7.1.5 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 7-5 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 et al., 2015).

Tabla 7-5. 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

7.1.6 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 a la calidad de una ribera (Kutschker et, al. 2009).

7.2 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.

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 hidrogeomorfológicas 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 en 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.

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

La determinación del nivel de banca llena (Wb) corresponde a la delimitación del cauce permanente. El caudal de banca llena representa el nivel más alto del rango de flujos formadores del cauce. La correcta identificación en campo del nivel de banca llena depende de la precisión y consistencia de la interpretación de las interrelaciones entre dimensiones, patrón, perfiles y flujo. Se deberán considerar los criterios establecidos para la delimitación del cauce permanente (Capítulo 4.4.3). Se presentan algunos indicadores rápidos para esta actividad en campo:

- a. La elevación asociada con el punto más alto de los elementos de deposición de sedimentos (por ejemplo, barras centrales en el cauce y especialmente el tope de las barras interiores de las curvas que define el nivel más bajo posible de banca llena).
- b. Cambio en la vegetación: observar el límite inferior de la vegetación permanente en la orilla, o algún cambio en la densidad o tipo de vegetación.
- c. Cambio de pendiente.
- d. Cambio de los materiales de orilla: cualquier cambio en el tamaño de las partículas indica la acción de diferentes procesos.
- e. Socavación de orillas.
- f. Líneas de coloración: conviene observar en las rocas las líneas de coloración ocasionadas por las inundaciones frecuentes.

7.2.2 Determinar la superficie de análisis

Después de determinar el nivel de banca llena, se define la superficie de análisis de la aplicación del índice (Figura 7-2a). De acuerdo a 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.

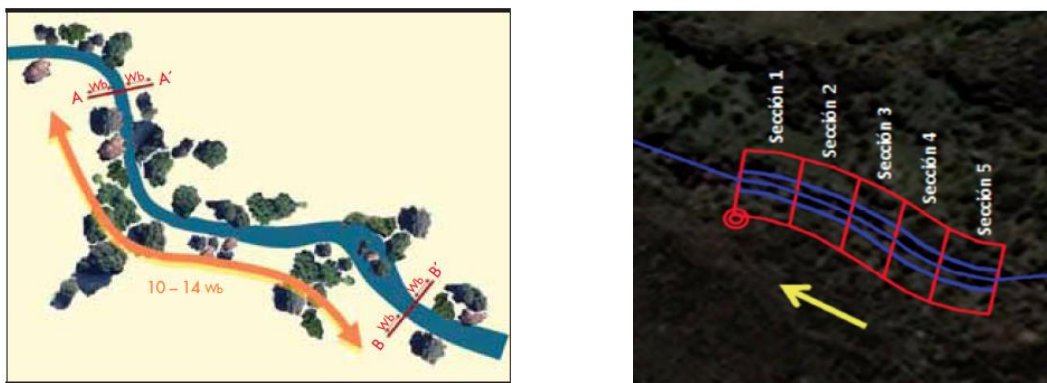


Figura 7-2. Izquierda: a) Superficie de análisis en la aplicación del índice RFV. Tomado de Magdaleno et al., (2010). Derecha: b) Separación del tramo de estudio en al menos cinco (5) secciones. Tomado de García (2014).

7.2.3 Continuidad longitudinal del bosque de ribera

Sobre un transecto de una longitud de 10 veces el ancho de banca llena 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 ambas márgenes del cauce.

Tabla 7-6. 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

7.2.4 Continuidad transversal del bosque de ribera

A lo largo de cinco (5) a siete (7) secciones separadas entre sí, dos veces el ancho de la banca llena 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 ambas 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 7-7 se encuentran los criterios para la evaluación de la continuidad transversal.

Tabla 7-7. 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

7.2.5 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 7-8. 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 7-8. 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

7.2.6 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 7-9. 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 7-9. 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

7.2.7 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 7-10.

Tabla 7-10. 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 7-11). 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 7-11. 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.

7.3 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).

7.3.1 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.

7.3.2 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.

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

Se ha tomado como base el indicador sugerido por el entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAAM, 2013), dicho indicador evalúa la presencia o ausencia de alteraciones significativas en la orilla (morfométricas o del sustrato) así como de la vegetación riparia. 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.
- Ángel, E., Carmona, S. I., Villegas, L.C. 2001. Gestión Ambiental en Proyectos de Desarrollo (Tercera edición ed.). Medellín: UNAL, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- 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., Bussettini, 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., Barriandos, 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.
- 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.

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.

Dimopoulos, P., Zogaris, S., 2008. Flora y vegetación de ribera. En: Arizpe, Daniel; Mendes, Ana y Rabaça, João E. (coordinadores). 2008. Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión. Valencia, Generalitat Valenciana. P. 11–67.

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.

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).

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., Cuhaciyan, 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-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.

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

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, 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.

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., Bussettini, 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.

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), 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.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 2012. Geografía de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. 368 pp.

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.

Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. y Flórez, C. (Eds.), 2016. Colombia Anfibia, un país de humedales. Volumen II. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 116 p.

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.

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.

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.

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

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

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.

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. http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracterizacion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf. (Último acceso: 27 de junio de 2014)

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.

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.

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

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), UNAL (Universidad Nacional de Colombia), 2012. Guía para el acotamiento de las rondas hídricas de los cuerpos agua de acuerdo a lo establecido en el artículo 206 de la ley 1450 de 2011 - Plan Nacional de Desarrollo. 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), 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.
<http://minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/Mapa-cuencas-hidrograficas-objeto-de-plan-de-ordenacion-y-manejo-POMCA.pdf>.

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), 2016. Mapa de humedales de Colombia. Escala 1:100000.

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.

Naiman, R.J., Decamps, H., Pollock, M., 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological applications*, 3(2), pp.209-212.

Olson, D.H., Chan S.S., Weaver G., Cunningham P., Moldenke, A., Progar, R., Muir, P.S., McCune, B., Rosso, A., Peterson, E.B., 2000. Characterizing stream, riparian, upslope habitats and species in Oregon managed headwater forests. In: *Riparian ecology and management in multi-land use watersheds*. International conference of the American Water Resources Association. Vol. 30, 83-88.

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.

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., 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.

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*, LWRDC 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.

Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Bussettini, M., Mao, L., Gurnell, A.M., 2015. The Geomorphic Units Survey and Classification System (GUS), Deliverable 6.2, Part 4, of REFORM.

Rosgen, D. L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169–199.

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.

Tiner, R. W., 1991. The concept of a hydrophyte for wetland identification. *Bioscience*, 41(4), 236-247.

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.

UNAL (Universidad Nacional de Colombia), 2015. Informe Final Contrato interadministrativo 412 de 2015 entre Minambiente y Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Instituto de Estudios Ambientales.

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, 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 ☐	NO ☐	NS/R	☐
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS ☐		Entre 31 y 50 años	☐
Entre 5 y 15 años ☐		Entre 51 y 75 años	☐
Entre 16 y 30 años ☐		Mayor a 75 años	☐
¿Conoce la fecha exacta? ☐		¿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 INUNDACIÓN? ☐			
Nivel alcanzado:		Duración (horas, días):	
Personas afectadas:		Daños:	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura ☐	Con Dudas	☐	
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura ☐	Con Dudas	☐	
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable ☐	Poco Fiable	☐	Nada Fiable ☐
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA		PERSONA QUE ENCUESTA	
Anónimo ☐		Nombre y Apellidos:	
Nombre y Apellidos		Responsabilidad:	
Dirección			
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20 ☐		41-50	☐
21-30 ☐		51-75	☐
31-40 ☐		76-100	☐
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 ☐	NO ☐	NS/R ☐	
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS ☐		Entre 31 y 50 años ☐	
Entre 5 y 15 años ☐		Entre 51 y 75 años ☐	
Entre 16 y 30 años ☐		Mayor a 75 años ☐	
¿Conoce la fecha exacta? ☐		¿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? ☐			
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 ☐		Sismo ☐	
Movimiento en masa ☐		Otro ☐	
¿Cuál? _____			
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura ☐	Con Dudas ☐		
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura ☐	Con Dudas ☐		
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable ☐	Poco Fiable ☐	Nada Fiable ☐	
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA		PERSONA QUE ENCUESTA	
Anónimo ☐		Nombre y Apellidos:	
Nombre y Apellidos		Responsabilidad:	
Dirección			
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20 ☐		41-50 ☐	
21-30 ☐		51-75 ☐	
31-40 ☐		76-100 ☐	
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	☐	Encuesta	☐
Hemeroteca	☐	Estudios/investigaciones	☐
Otro	☐	¿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 ☐ NO ☐	¿Hay estación de caudal?	SI ☐ NO ☐
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)	
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	☐	Mayor que el de:	
De los más grandes	☐	Menor que el de:	
Recurrencia media	☐	Similar al de:	
Periódico	☐	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%	☐	10-25%	☐
26-50%	☐	51-75%	☐
76-100%	☐		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por la inundación			
<20cm	☐	76-100cm	☐
20-50cm	☐	101-200cms	☐
51-75cm	☐	>200cms	☐
b) Velocidad			
< 0.25 m/s	☐	0.25-0.5 m/s	☐
0.51-0.75 m/s	☐	0.76-2 m/s	☐
2.01-3.0 m/s	☐	> 3.0 m/s	☐
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: ▼		
Sectores económicos afectados:	Otro medio afectado: ▼		

Anexo II. 2. Formato para avenidas torrenciales

FORMATO PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS VALIDADOS			
FUENTES CONSULTADAS			
Análisis multitemporal (evidencias)	☐	Encuesta	☐
Hemeroteca	☐	Estudios/investigaciones	☐
Otro	☐	¿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	☐	Sismo	☐
Movimiento en masa	☐	Otro	☐
¿Cuál? _____			
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA ZONA			
¿Hay estación de precipitación? SI ☐ NO ☐	¿Hay estación de caudal? SI ☐ NO ☐		
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:			
Duración (s)	Profundidad (m)		
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	☐	Mayor que el de:	
De los más grandes	☐	Menor que el de:	
Reurrencia media	☐	Similar al de:	
Periódico	☐	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%	☐	10-25%	☐
26-50%	☐	51-75%	☐
76-100%	☐		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por el flujo de tierra, barro o detritos.			
<20cm	☐	76-100cm	☐
20-50cm	☐	101-200cms	☐
51-75cm	☐	>200cms	☐
b) Características de las rocas depositadas:			
Descubiertas	☐	Semidescubiertas	☐
Casi cubierta en totalidad	☐		
c) Color de la cubierta de líquenes en las rocas depositadas:			
Ninguno	☐	Negro	☐
Negros-Blancos	☐	Negros-Blancos-Verdes	☐
d) Estado de los clastos			
Sin meteorizar	☐	En meteorización	☐
Meteorizados	☐		
e) Espesor del suelo depositado:			
0-10 cm	☐	11-20 cm	☐
> 20cm	☐		
f) Incisión de la ladera donde ocurrió el evento:			
Angulada	☐	Semiangulada	☐
Redondeada	☐		
g) Evidencias de daños en la vegetación: SI ☐ NO ☐			
Edad aproximada de cuando ocurrió la afectación			
h) Descripción de las afectaciones y daños producidos por el evento			
Número de vidas perdidas:	Pérdidas económicas:		
Número de damnificados:	Medio afectado:		
Sectores económicos afectados:	Otro medio afectado:	Agua subterránea	▼
		Agua superficial	▼

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 medidas de manejo ambiental (numeral 6.3). 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, 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 trenzados 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. Por tal razón, en los tramos de las corrientes o cuerpos de agua que se requiera la construcción de este tipo de obras, se debe definir y acotar la Ronda Hídrica.

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 (desagües de fondo con compuertas que permitan la descarga continua o periódica de los sedimentos según sea la capacidad de transporte de sedimentos de la corriente) 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

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 pilas de los puentes deben estar por fuera de la faja de terreno que conforma la envolvente de los componentes hidrológico y geomorfológico, de tal forma que se permita el transporte permanente y temporal del agua y sedimentos y los demás procesos morfodinámicos propios del río. 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 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, 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. 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. 6.1.2. 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.