



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Integralidad hidrogeomorfológica de un río de montaña, San  
Lorenzo, Carmen de Viboral – Antioquia (Colombia).**

**Autor(es)**

**Verónica Osorio Gómez, Nora Elena Villegas Jiménez,  
Esnedy Hernández Atilano**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental**

**Medellín, Colombia**

**2019**



Integralidad hidrogeomorfológica de un río de montaña, San Lorenzo, Carmen de Viboral –  
Antioquia (Colombia).

Verónica Osorio Gómez

Informe de trabajo de grado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Asesores (a)

Nora Elena Villegas Jiménez - MSc. Ingeniería Ambiental  
Esnedy Hernández Atilano - PhD. Biología

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental  
Medellín, Colombia  
2019.

## **Integralidad hidrogeomorfológica de un río de montaña, San Lorenzo, Carmen de Viboral – Antioquia (Colombia).**

---

### **Resumen**

La dinámica hidrogeomorfológica de los ríos es un factor clave en los sistemas fluviales, importante no solo en términos funcionales sino también en términos del valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas (Malavoi & Bravard, 2010). Una pequeña mejora en la dinámica de un cuerpo de agua responderá en un largo plazo, con un incremento en la biodiversidad y calidad de los ecosistemas, mientras que pequeñas afectaciones pueden tener un efecto inverso a corto plazo (Ollero Ojeda, 2010). Debido a que no hay una metodología fija para evaluar el estado hidrogeomorfológico, existen algunos índices que pueden llegar a una aproximación sobre el estado de este. El presente trabajo se apoya en la metodología y la aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG el cual se basa en el hecho de que todos los impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas o diferidos en el tiempo, cuentan con una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas (Ollero et al., 2008). Se realiza una evaluación integral del río San Lorenzo sobre diferentes tramos, para la recopilación de información se llevaron a cabo mediciones de caudal, morfología de secciones, flujos de sedimentos, movilidad del sustrato y composición de vegetación rivereña. Además con el uso de fotografías aéreas, con el apoyo de cartografía y documentación, se aplicó el índice IHG a situaciones pretéritas, lo cual resulta de gran utilidad para evaluar procesos de cambio y comparar niveles de deterioro. Es por ello que esta clase de estudios en la dinámica fluvial complementan y ayudan a la toma de decisiones, la buena administración, planificación, gestión y restauración del recurso hídrico (Rinaldi et al., 2016). Los resultados de este estudio mostraron que una pequeña alteración en la dinámica de una masa de agua responderá en un corto plazo, con el deterioro en la biodiversidad y calidad de los ecosistemas, donde la calidad de las riberas y la funcionalidad son las más afectadas en toda la cuenca, principalmente en el tramo alto y medio, debido a las explotaciones del uso del suelo dominantes en el tramo superior y las obras hidráulicas en el tramo medio.

### **Introducción**

La hidrogeomorfología como ciencia interdisciplinaria enfocada en la asociación de procesos hidrológicos y geomorfológicos, es importante para caracterizar los sistemas fluviales en términos funcionales (Sidle & Onda, 2004). Constituidos por subsistemas o componentes con complejas interacciones múltiples a diferentes escalas espacio temporales como el clima, los caracteres de cuenca, encajamiento, confinamiento, pendiente, materiales

de fondo del valle y/o la propia vegetación (Ollero, et al., 2011), entre muchas otras más variables, los sistemas fluviales logran que en términos funcionales se torne tedioso y complejo de caracterizar. Cualquier variación en alguno de los subsistemas repercute automáticamente sobre los demás y sobre todo el sistema (Horacio, 2015).

Los ríos de montaña son de gran valor tanto para los paisajes montañosos como para las actividades humanas y el desarrollo económico. Sin embargo, modificaciones importantes en los ecosistemas de los ríos de montaña lleva a limitaciones de los recursos hídricos disponibles para todos los usuarios del agua tanto en la zona como aguas abajo. A pesar de estar ubicados en áreas de difícil acceso y típicamente de pequeñas dimensiones de captación, relieve pronunciado y de pendientes altas, en los últimos años se han presentado alteraciones antrópicas que han generado impactos sobre estos ecosistemas. Los cambios climáticos, la alteración de los patrones de temperatura y precipitación pueden influir en el equilibrio hidrológico de estos (Papadaki et al., 2016).

Los ríos del oriente Antioqueño descienden de la vertiente oriental de la cordillera central y vierten sus aguas al río Magdalena, forman parte de la cuenca media de este importante río para el país debido a que recorre gran parte del territorio colombiano (Semana; Coca-Cola, 2019). Los tributarios del río Magdalena en la zona son los ríos Samaná, Claro-Cocorná Sur, Nare, Alicante y Cimitarra (CORNARE; & Instituto Humboldt, 2015). El río Cocorná desemboca sus aguas sobre río Samaná, recibiendo diversas aguas de diferentes quebradas, entre ellos, cuenta con afluentes como el río San Lorenzo, que será la cuenca de interés en el marco de este proyecto. La cuenca del río San Lorenzo se encuentra en Jurisdicción de la corporación autónoma de CORNARE y se ubica en el municipio del Carmen de Viboral al oriente de la capital antioqueña (Figura 1), su economía está basada en la agricultura, la ganadería, avicultura, la piscicultura, floricultura, Industria y gastronomía (Alcaldía Municipal de El Carmen de Viboral en Antioquia, 2018).

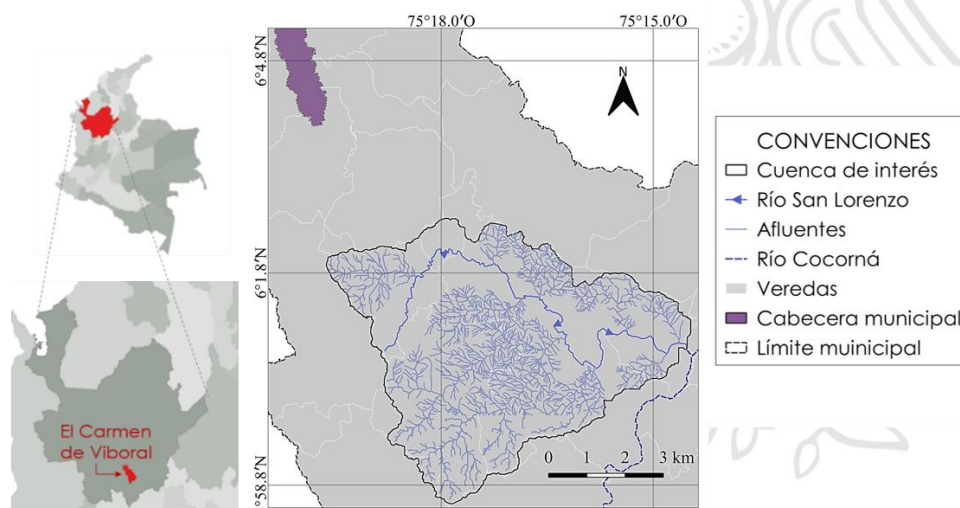


Figura 1. Ubicación de la cuenca de interés



El relieve del municipio El Carmen de Viboral presenta en los sectores centro y sur los terrenos más elevados del municipio. La zona centro contiene un relieve relativamente plano con irregularidades de poca profundidad. Las corrientes de esta superficie, aunque son largas tienen poca profundidad y la cobertura es de bosque, con manchas de pasto pequeñas y distribuidas (CORNARE, 2012). Caracterizar este tipo de ecosistemas bajo el enfoque de un río de montaña es de vital importancia para describir la dinámica del sistema fluvial. Por ello un estudio hidrogeomorfológico de una cuenca caracteriza el grado de afectación del estado natural de este tipo de ecosistemas, debido a que todos los cuerpos de agua así se presenten en una misma zona, contienen comportamientos diferentes.

Para evaluar el grado de afectación de la cuenca del río San Lorenzo se implementó el indicador hidrogeomorfológico IHG el cual es utilizado para identificar los problemas ambientales de sistemas fluviales, mitigar el deterioro asociado a estos, y mejorar o conservar su funcionalidad y naturaleza (Ollero, Ibisate, et al., 2011). Este índice está compuesto por tres grandes parámetros: los que hacen referencia a la calidad funcional del sistema, los asociados a la calidad del cauce y los que evalúan la calidad del corredor ribereño.

Aportar esta clase de información enriquece y complementa elementos planteados en el marco de la gestión, planificación y rehabilitación de los recursos hídricos, debido a que algunos estudios no consideran la hidrogeomorfología a pequeña escala en términos de la evolución de la calidad y funcionalidad, importantes para la toma de decisiones y análisis de alternativas.

## **Objetivos**

### **• Objetivo general**

Evaluar el grado de alteración hidrogeomorfológica del río San Lorenzo por la posible ubicación en su cuenca media de la infraestructura de captación de un sistema de suministro de agua para el municipio del Carmen de Viboral, a través de la aplicación del indicador hidrogeomorfológico IHG, que analiza aspectos funcionales del sistema fluvial a diferentes escalas, desde la cuenca en conjunto y las relaciones cauce-corredor ribereño.

### **• Objetivos específicos**

- Determinar los aspectos funcionales del sistema fluvial del río San Lorenzo como son el régimen de caudal, régimen hidrosedimentológico y geomorfología, a través de las variables: funcionalidad de la llanura de inundación, naturalidad del régimen de flujo, movilidad y aporte de sedimentos.
- Analizar la geomorfología del canal, su continuidad y naturalidad de procesos en la dimensión longitudinal y lateral, mediante indicadores como continuidad del lecho, naturalidad ribereña y movilidad lateral.

- Caracterizar el corredor ribereño, mediante su continuidad longitudinal, composición y su conectividad con el tramo de interés.
- Evaluación cualitativa del índice hidrogeomorfológico IHG para las condiciones actuales y un escenario con alteración del régimen hidrosedimentológico por la construcción de una obra de captación en su cuenca media.

### **Marco Teórico**

Los Sistemas fluviales son importantes debido a que forman parte integral del paisaje, conformando un enorme entramado ecológico, paisajístico y territorial (Horacio, 2015). Juegan un papel importante en las actividades humanas, y pueden soportar una rica variedad de vida silvestre, entre otros. (Raven et al., 1998). Así mismo son un sistema que combina elementos independientes e interconectados, constituido por subsistemas o componentes con complejas interacciones múltiples (Horacio, 2015). Variables como el clima, los caracteres de cuenca, encajamiento, confinamiento, pendiente, materiales de fondo del valle y/o la propia vegetación que interactúan a diferentes escalas espaciales y temporales hacen parte del sistema (Barboza, Corroto, Salas, Gamarra, & Ballarín, 2017); (Wheaton, Gibbins, Wainwright, Larsen, & McElroy, 2011). Es por ello que cualquier variación en alguno de los subsistemas repercute automáticamente sobre los demás y sobre el sistema (Horacio, 2015).

La Directiva Marco del Agua de la UE (European parliament and the council of the european union, 2000) introdujo el término "hidromorfología", que requiere la consideración de cualquier modificación del régimen de flujo, el transporte de sedimentos, la morfología del río y la movilidad del canal lateral; este término ha ido creciendo cada vez más como un tema multidisciplinario en la interfaz entre hidrología, geomorfología y ecología, y ha creado nuevas perspectivas y oportunidades para integrar la consideración de los procesos físicos en las acciones y estrategias de gestión fluvial (Rinaldi, Surian, Comiti, & Bussettini, 2013); y el término "hidrogeomorfología" para referirse a la ciencia interdisciplinaria que se enfoca en la interacción y vinculación de procesos hidrológicos con formas terrestres o materiales terrestres y la interacción de procesos geomorfológicos fluviales, ecológicos y en dimensiones temporales y espaciales, (Sidle & Onda, 2004) destinada a promover la gestión de los ríos (Rinaldi et al., 2016). La vinculación de la hidrogeomorfología a los procesos de los ecosistemas en los sistemas naturales abarca cuatro categorías comunes de servicios de los ecosistemas (apoyo, regulación, aprovisionamiento y cultura) e incluyen componentes de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. (Casper et al., 2010). La dinámica hidrogeomorfológica de los ríos es el factor clave en los sistemas fluviales. Es importante no solo en términos funcionales sino también en términos del valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas (Malavoi & Bravard, 2010).

Para la evacuación del estado hidromorfológico de los cauces se han utilizado índices como el 'índice de calidad morfológica-MQI' emitido por el Ministro de Medio Ambiente italiano (Rinaldi et al., 2013) y el 'Índice hidromorfológico-IHG' desarrollado en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza (Ollero et al., 2008), basado en el hecho de que todos los impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas y vertientes o diferidos en el tiempo, cuentan con una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas. (Ollero et al., 2008).

En este trabajo se planteó usar el Índice hidromorfológico-IHG que evalúa nueve parámetros enmarcados en la Tabla 1 organizados en tres principales grupos: calidad funcional del sistema fluvial, calidad del canal y calidad del corredor ribereño. (Ollero, Ibisate, et al., 2011). Es principalmente utilizado para identificar, comprender y lograr resolver o mitigar los problemas ambientales de estos sistemas, mejorando y conservando su funcionalidad y naturaleza (Ollero, Ibisate, et al., 2011).

Tabla 1. Parámetros del índice hidromorfológico (IHG)

Calidad funcional del sistema	Calidad del cauce	Calidad de las riberas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturalidad del régimen de caudal</li> <li>• Disponibilidad y movilidad de sedimentos</li> <li>• Funcionalidad de la llanura de inundación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturalidad del trazado y de la morfología en planta</li> <li>• Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales</li> <li>• Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuidad longitudinal</li> <li>• Ancho del corredor ribereño</li> <li>• Estructura, naturalidad y conectividad transversal</li> </ul>

Por ello, comprender las formas topográficas que constituyen el fondo de un río o de rasgos discretos de los mismos, está estrechamente vinculado a los procesos de erosión, transporte y deposición que realizan una acción de conformación del canal (Siligardi et al., 2007). Debido a que la morfología en un alcance específico puede cambiar con el tiempo, no sería útil referirse a una morfología fluvial anterior que puede reflejar condiciones de frontera muy diferentes de las actuales, lo cual es un factor a tener en cuenta para la gestión y restauración de los ríos (Rinaldi et al., 2013). Según Malavoi & Bravard, (2010) la morfología de los ríos y su evolución espacio-temporal, también gobiernan directa o indirectamente la dinámica de los ecosistemas asociados con ellos, incluso, algunos autores describen la naturaleza y densidad de la vegetación que crece en las orillas de los ríos como un parámetro que ejerce un fuerte control sobre los procesos geodinámicos y la morfología resultante, el cual a su vez sirve de refugio para la fauna al mismo tiempo que facilita la conservación y naturalidad de zonas de inundación (Ollero Ojeda, 2010).

Los procesos geomorfológicos determinan la estructura, de un sistema fluvial, en el que interactúa una amplia gama de procesos biofísicos, morfología del



río, el carácter del sedimento, el régimen de flujo y la vegetación ribereña se ajustan dinámicamente, de modo que el cambio en una variable puede modificar otras partes del sistema fluvial, impactando directamente la disponibilidad del hábitat, la viabilidad y los ecosistemas acuáticos y funcionamiento (Brierley & Fryirs, 2000). Las condiciones geomorfológicas son más importantes para la estructura y función del ecosistema que las posiciones longitudinales a lo largo del curso aguas abajo (Casper et al., 2010). En geomorfología se diferencian tres ámbitos de estudio: la geomorfología estructural, dinámica y climática (Solano Mata & Salas González, 2011). La clasificación de los ríos se deriva de la geomorfología fluvial, donde esta utiliza la clasificación para entender los ríos, seleccionar segmentos representativos y descripción de las formas del relieve, donde se evalúan las condiciones de la corriente, a su vez explica la evolución del paisaje (Lehotský, 2004).

La cuenca hidrográfica es una unidad de análisis y planificación de la oferta y demanda de los recursos naturales renovables (MADS, 2017), a la que se hace referencia a los fenómenos fluviales y los procesos geomorfológicos relacionados con ellos; es una región drenada por una corriente y todos sus afluentes, que en conjunto forman una red hidrográfica, la cual puede tener estructuras muy diferentes y su forma suele estar condicionada por la estructura geológica; es por ello, que la cuenca hidrográfica tiene una importancia considerable para los ecosistemas acuáticos, ya que tiene una influencia en el flujo, en su regularidad, en la calidad del agua del cuerpo de agua y en el tipo de alimentación. Entender las características y la evolución de los cursos de agua, es importante para conocer tanto la dinámica de los fluidos como las geometrías de los lechos de los ríos y el desarrollo de la red hidrográfica, tanto los factores estructurales de la cuenca hidrográfica como las condiciones climáticas, que influyen en el transporte de sólidos y en los procesos de modelado fluvial. (Siligardi et al., 2007) así mismo, un curso de agua puede considerarse una sucesión de ecosistemas que se desvanecen gradualmente entre sí y están interconectados con los ecosistemas terrestres circundantes, los parámetros morfológicos, hidrodinámicos, físicos, químicos y, en relación con ellos, las poblaciones orgánicas (Rinaldi et al., 2013). El régimen ambiental de caudales es un patrón cuantitativo y temporal de caudales que debe asegurar un cierto nivel de integridad del ecosistema fluvial. (Santamaría & Yuste, 2011).

Los canales fluviales son dinámicos, por lo que responden a cambios artificiales y naturales en el régimen de flujo, el suministro de sedimentos y la forma del canal mediante el ajuste de su tamaño, gradiente y forma (Raven et al., 1998) y la concepción del flujo continuo resalta cómo las comunidades acuáticas y el metabolismo de los ríos se determinan no solo por las condiciones locales, sino también por los procesos que se producen en los tramos de aguas arriba. (Siligardi et al., 2007) es por ello que un río no es solo un canal de agua, es más un conjunto, un sistema dinámico, natural y complejo, cuya principal función es transportar agua, sedimentos, y nutrientes (Horacio, 2015).



En los ríos que funcionan naturalmente, la configuración de tramos del río, las dimensiones del canal y las características geomorfológicas que se crean en el canal y la llanura de inundación dependen de las interacciones entre los procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos que caen en cascada a través de la cuenca y se realizan en el contexto específico del alcance. En los ríos que han sido modificados directa o indirectamente por la actividad humana, estos procesos todavía ocurren, pero los enlaces funcionales de escala múltiple que influyen en la morfología del río se han alterado (Grabowski & Gurnell, 2016). La dinámica geomorfológica de un río y el funcionamiento de los procesos físicos naturales promueven espontáneamente la creación y el mantenimiento de hábitats y aseguran la integridad de los ecosistemas (Rinaldi et al., 2013).

La cobertura del suelo también desempeña un papel importante, ya que el uso de la tierra que rodea el arroyo afecta indirectamente la variación de los caudales, algunas intervenciones humanas tienen un impacto directo (las represas, canalizaciones, entre otros), que conducen a cambios radicales río abajo, no solo en los cursos sino también en transporte sólido, en velocidad y temperatura del agua (Siligardi et al., 2007), por ello las alteraciones en la continuidad de las riberas alejan del estado de referencia y conlleva alteraciones y una pérdida de dinamismo, con el consiguiente deterioro en el estado ecológico de los ríos y sus masas de agua (Ollero Ojeda, 2010). La respuesta del canal puede variar en función de factores como los materiales de contorno, la forma del valle y la pendiente, la presencia de vegetación en la corriente o en el lado del arroyo, o las propiedades de la cuenca. (Bledsoe, Hawley, Stein, & Booth, 2010).

La presencia de áreas urbanizadas o de actividades productivas o agrícolas influye negativamente en los entornos fluviales. Los asentamientos productivos, las viviendas utilizan los cursos de agua como el cuerpo de los reflectores industriales o urbanos. La influencia de las prácticas agrícolas puede interferir con la funcionalidad del curso de agua de varias maneras: eliminación de la cubierta forestal, ingestas de contaminantes (superficiales o subterráneas) derivadas de fertilizantes y pesticidas, nivelación del suelo, reducción de diversidad ambiental y biodiversidad, intervenciones artificiales para sustraer el suelo de la dinámica fluvial (rectificación, terraplenes, defensas bancarias) (Siligardi et al., 2007).

En zona de montaña la hidrología se caracteriza por lluvias muy intensas y movimientos en el suelo del agua a lo largo de las pendientes (Siligardi et al., 2007). Factores tales como el material del lecho dominante, la forma del plano del canal, el control de pendiente, la vegetación y la infraestructura existente pueden influir en la velocidad y la manera en que las corrientes responden a los cambios en el flujo y los sedimentos (Bledsoe et al., 2010). y como todos los ríos están sujetos en mayor o menor grado a procesos de erosión o

degradación, equilibrio y sedimentación o agradación (Cauca, n.d.), el transporte de sedimentos mediante el canal de un río tiene importantes consecuencias para la seguridad pública, manejo del recurso hídrico, y sostenibilidad ambiental (Frey & Church, 2009).

## **Metodología**

- Revisión de información secundaria

Para determinar algunos aspectos generales de la cuenca se han tenido en cuenta información secundaria como: cartografía temática de zonificación, drenajes, coberturas, obras de infraestructuras, entre otros, extraídos de la corporación autónoma Regional CORNARE, las planchas 167IIB1 y 167IIA2 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019) y de la Gobernación de Antioquia, las pendientes y altitudes se obtienen de los Modelos de Elevación Digital (DEM) del satélite Alos Palsar de la NASA y de las curvas de nivel de las planchas del IGAC.

Se identificó el régimen de caudales mediante información secundaria de los análisis hidrológicos obtenidos a través de estaciones pluviométricas de cuencas vecinas (IDEAM), e hidrosedimentológicos de la cuenca del río San Lorenzo mediante estudios de la corporación autónoma regional CORNARE como el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) descrito para el subsistema del río Samaná Norte, y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para establecer: caudales medios, caudales máximos, caudales mínimos, caudales sólidos, tasas de erosión.

De los datos suministrados por el servicio geológico colombiano se extrajo información acerca de la geomorfología del lugar. La "plancha 167 – Sonsón" la cual hace parte del Mapa Nacional de Amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Comprende parte del territorio del Carmen de Viboral generando una zonificación regional que se convierte en una herramienta informativa con base en la cual pueden definirse aspectos para diversas aplicaciones: conservación de áreas naturales, planificación y estudio de ecosistemas, evaluación de geo-amenazas, pero principalmente en el marco del presente estudio los fenómenos de remoción en masa requieren un soporte geomorfológico que permita zonificar la amenaza relativa (SGC, 2014).

La continuidad y naturalidad del cauce se estudió de dos formas: mediante el análisis de la cartografía temática, relacionada con alineamiento del cauce principal, y su corredor ripario (POMCA del río Samaná Norte, Cornare). Para caracterizar la llanura de inundación, el corredor ripario y su conectividad longitudinal y lateral con el cauce, se determinaron aspectos

como: Coberturas, interrupciones por obras de infraestructura, cambios abruptos en la topografía o geomorfología, mediante observaciones en campo, cartografía temática e imágenes satelitales de Google Earth, Cornare y la Gobernación de Antioquia.

- Área de estudio

La cuenca del río San Lorenzo se encuentra ubicada al oriente del departamento de Antioquia en el municipio de El Carmen de Viboral, el cual, colinda con municipios como la Unión, La Ceja, Cocorná, San Francisco, Río Negro y Sonsón. La Corporación Autónoma Regional del Río Negro y Nare (CORNARE) tiene en su jurisdicción este territorio. La cuenca comprende unos 39,4 Km<sup>2</sup> de superficie, donde se encuentran veredas como San Lorenzo, Vallejuelito y Belén Chaverras evidenciadas en la Tabla 2, las cuales ocupan un 36%, 27% y 20% respectivamente de superficie dentro de la cuenca del río San Lorenzo. En la cuenca habitan aproximadamente 265 personas, distribuidas en todo su territorio tomados de la Base De Datos Persona Por Veredas SISBEN (MinTIC, 2019).

Tabla 2. Veredas dentro de la cuenca de estudio

Código	Vereda	Área dentro de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Área total (km <sup>2</sup> )	% Área dentro de la cuenca	% Área de la cuenca	Habitantes
5148005	Belén Chaverras	7,85755	14,8682	53%	20%	68
5148048	San Lorenzo	14,103	15,3512	92%	36%	27
5148007	Boquerón	1,0503	2,1664	48%	3%	208
5148031	La Florida	5,0871	5,5977	91%	13%	238
5148018	El Mazorral	0,5037	13,5295	4%	1%	463
5148054	Vallejuelito	10,56494	11,2286	94%	27%	86
<b>Total</b>		<b>39,1665</b>	<b>62,7419</b>			<b>1090</b>

El río San Lorenzo tiene una longitud aproximada en su cauce principal de 15,75 km. La cuenca cuyo orden es de seis (6) comprende una longitud de 215 km aproximadamente en toda la red hídrica de la cuenca de este río (Figura 2). Es considerado un río de montaña debido a que posee una pendiente de 30% en su cauce principal (Gráfico 1), donde las cotas máximas y mínimas se encuentran en la siguiente Tabla 3):

Tabla 3. Cota máxima y mínima del río San Lorenzo

Altitud del Nacimiento (m.s.n.m)	2682
Altitud de la desembocadura (m.s.n.m)	1990



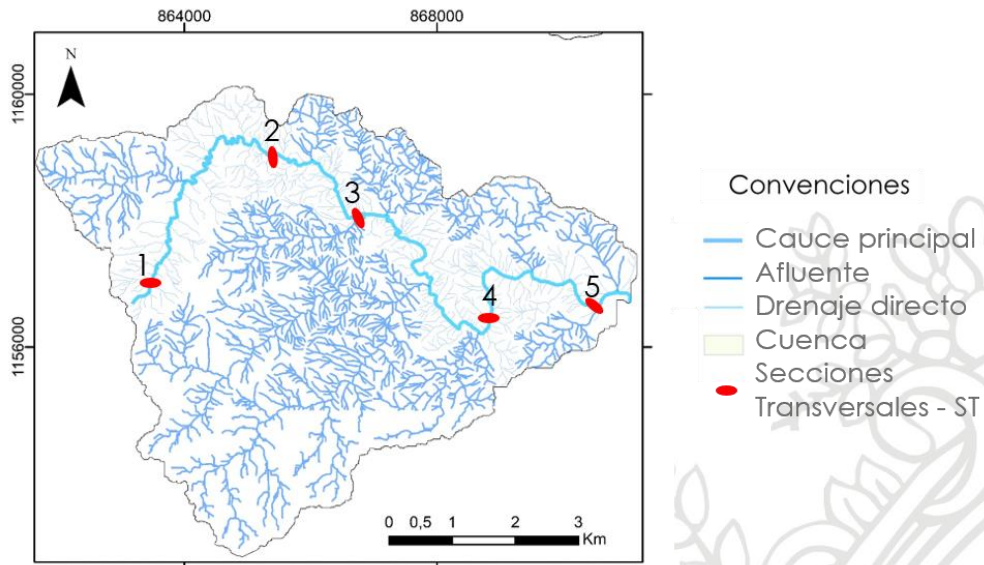


Figura 2. Red hídrica de la cuenca del río San Lorenzo

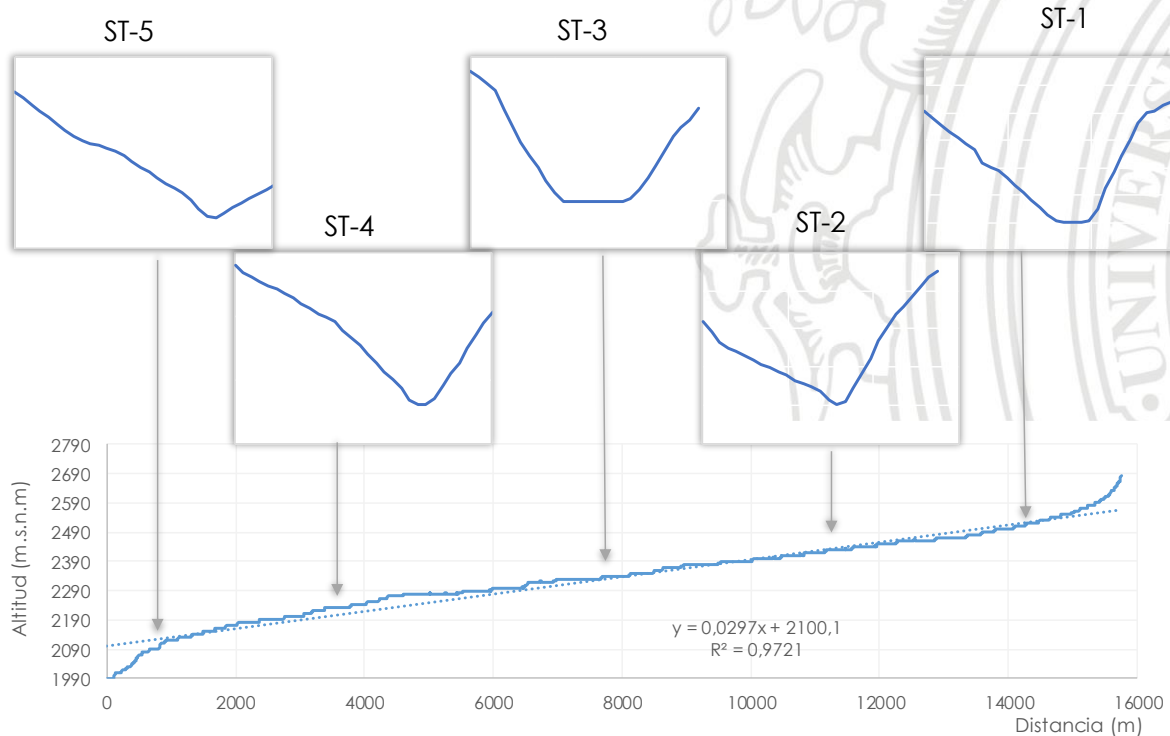


Gráfico 1. Perfil longitudinal y secciones transversales del Río San Lorenzo

Los afluentes representativos que tiene la cuenca del río San Lorenzo se representan en la Figura 3, donde el mayor tributario a este río es el afluente "A5" con un área de 14,6 m<sup>2</sup>, representando un 37% del territorio de la cuenca del río San Lorenzo(). Antes desembocar al cauce principal, confluyen dos quebradas importantes del lugar, las Quebradas Vallejuelito y Chaverra, donde también desempeñan actividades económicas incipientes de la zona, como la ganadería y piscícolas.

Tabla 4. Áreas de las cuencas de los afluentes del río San Lorenzo (IGAC, 2015).  
SN: Sin Nombre

Cuencas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Nombre	SN	SN	Q. Yarumal	SN	Q. Vallejuelito y Chaverra	Q. Negra	SN	SN	SN
Área [m <sup>2</sup> ]	2,775	0,647	2,269	0,753	14,585	2,454	1,619	0,886	0,761
Áreas acumuladas [m <sup>2</sup> ]	5,0336	8,572	11,847	13,867	29,498	32,979	36,151	38,066	39,206

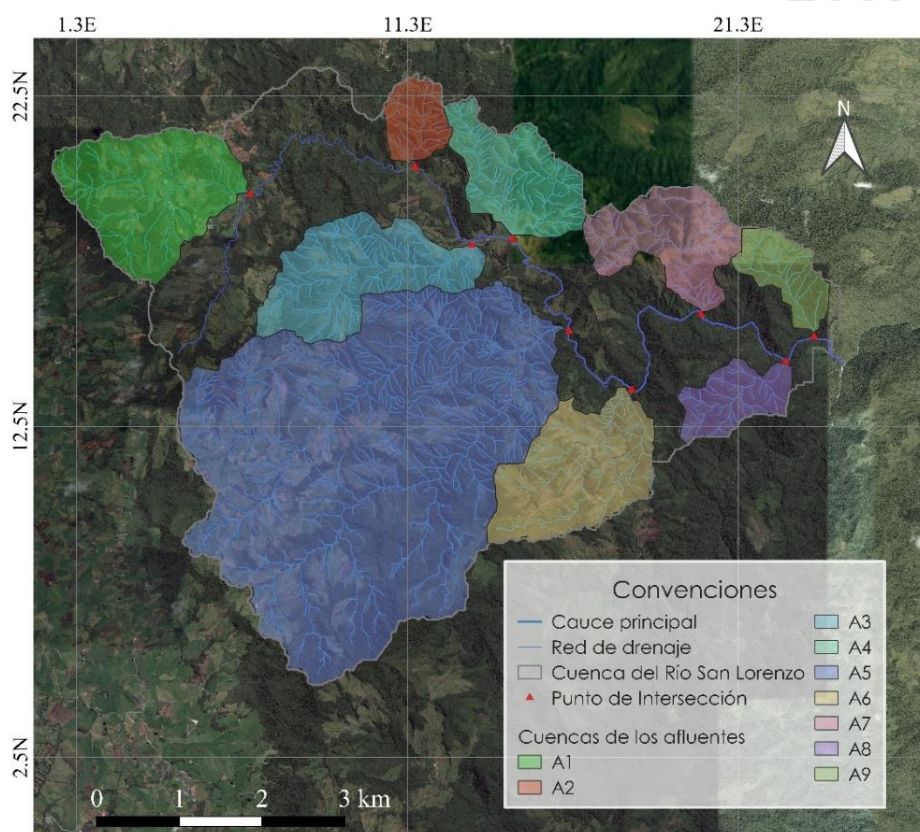


Figura 3. Cuencas de los afluentes dentro de la cuenca del Río San Lorenzo

Los usos del suelo que tiene la cuenca del río San Lorenzo se evidencian en la Figura 4, donde un 56% del territorio es utilizado para las áreas de conservación, recuperación y protección, mientras que un 28% es utilizado para Pastoreo y un 15% para cultivos transitorios y permanentes.



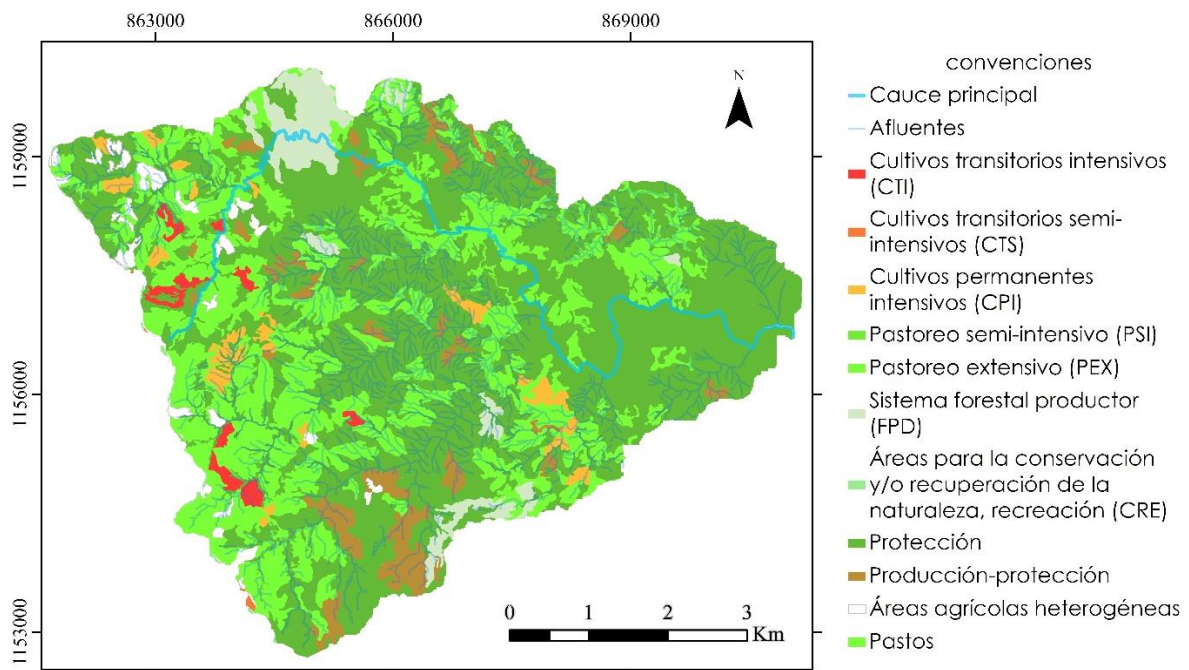


Figura 4. Usos del suelo en la cuenca del río san lorenzo (Cornare, 2018)

La mayor parte del territorio de la cuenca del Río San Lorenzo se encuentra en estado de protección debido a que forma parte de la de una de las Áreas protegidas como la Reserva Forestal Protectora Regional (RFPR) de los Cañones de los Ríos Melcocho y Santo Domingo, declarada mediante el acuerdo regional 322 del 1 de julio del 2015 del consejo directivo de CORNARE, la cual es generada a partir del estado de avance de los estudios de Áreas de Reserva y el ejercicio de Ordenamiento Ambiental del Territorio realizados por Cornare Figura 5 (2018).

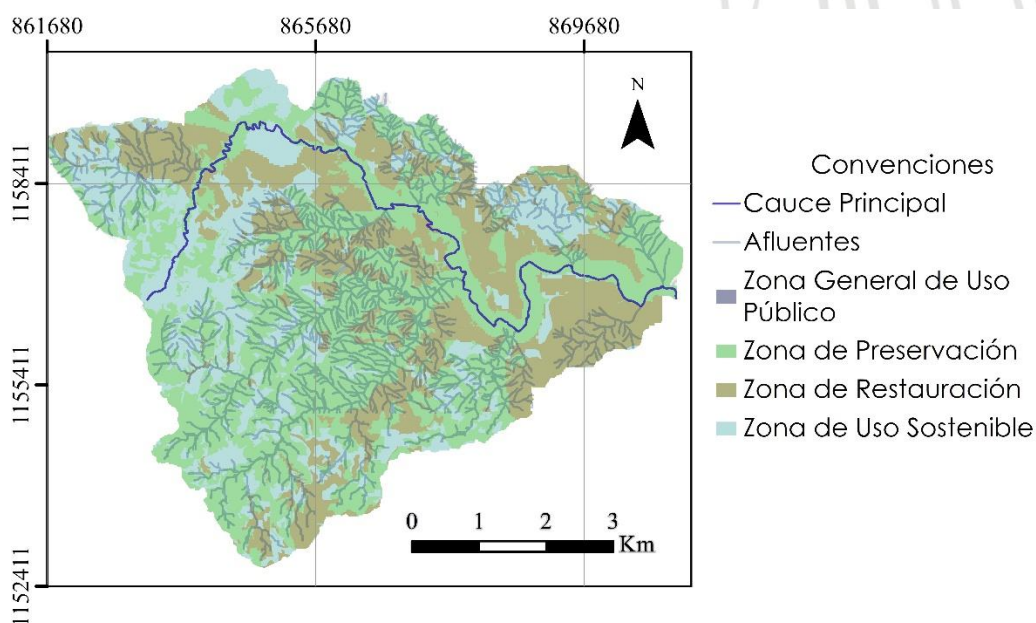


Figura 5. Reserva Forestal Protectora Regional (Cornare, 2018)



La cuenca de estudio del río San Lorenzo por ser parte de la Reserva Forestal Protectora Regional de los Cañones de los ríos Melcocho y Santo Domingo, es una zona excluible de la minería donde se dictan otras disposiciones, en virtud del Decreto 1374 de 2013 declarado en el Acuerdo Nro. 322 Del 1 de julio de 2015. El consejo directivo de la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare (CORNARE) en ejercicio de las facultades legales y considerando que, conforme a la normatividad invocada, es función de las Corporaciones Autónomas Regionales a través de sus Consejos Directivos, reservar, alinderar, incorporar y administrar las áreas protegidas de carácter regional, y reglamentar su uso y funcionamiento (Parques Nacionales Naturales de Colombia., 2018). Las concesiones que se encuentran dentro de la cuenca del río San Lorenzo se ven evidenciados en la Figura 6.

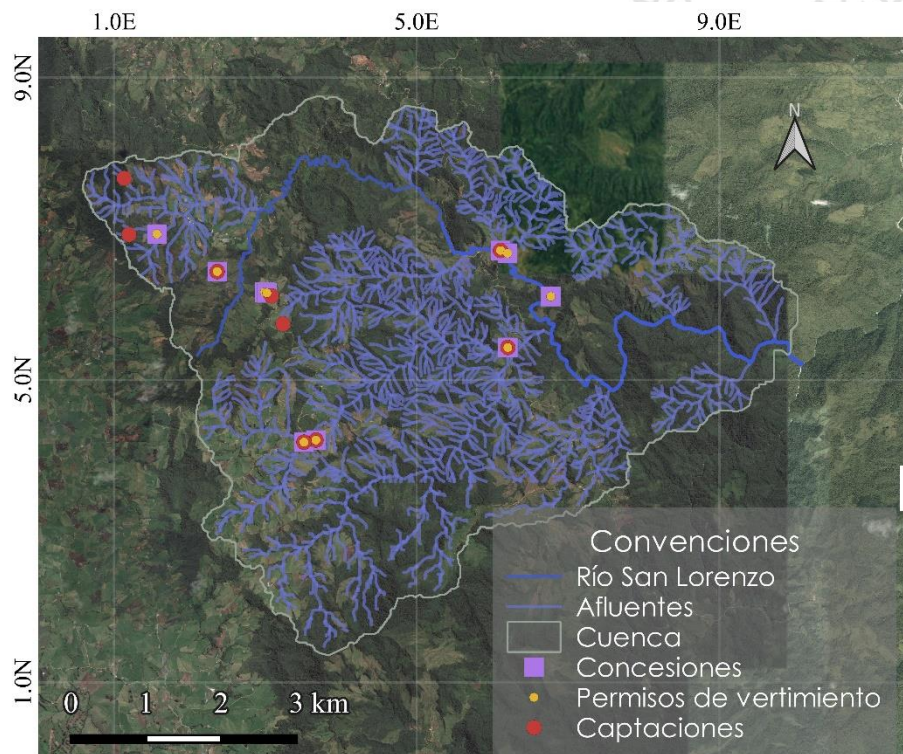


Figura 6. Ubicación de las Concesiones, captaciones y permisos de vertimiento dentro de la cuenca del río San Lorenzo (CORNARE, 2018)

La red de drenaje puede tener distintas morfologías, dependiendo de distintos factores como la litología, la pendiente, el tipo de suelo, el clima, entre otros. (Universidad de Coruña, 2012). En la cuenca el río San Lorenzo es considerado una *red de drenaje dendrítica*, debido a que tienen un patrón aleatorio. Las corrientes se encuentran donde no hay controles geológicos fuertes. Donde hay una fuerte inclinación regional (pendiente), se desarrollan patrones de drenaje paralelos (Biedenharn, Watson, & Thorne, 2013).

En general la tipología del cauce principal es considerando su configuración morfológica es considerado un *Río recto de montaña* (Figura 7), caracterizados por poseer fuertes gradientes, 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. Los tamaños de este tipo de ríos varían en gran medida, dependiendo de la condición geomorfológica.

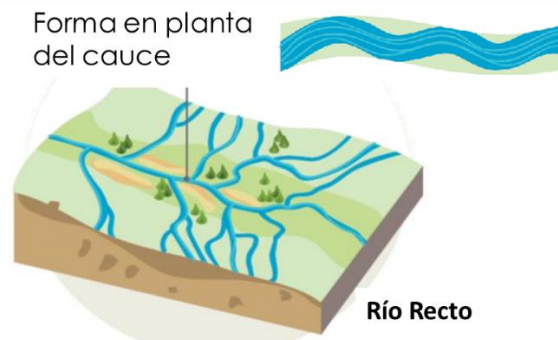


Figura 7. Esquematación de un río recto de montaña con su forma típica en planta. (Patricia et al., 2018)

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 (Patricia et al., 2018)

La clasificación geomorfológica, 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, 1996). La agrupación de condiciones físicas, químicas, bióticas, y climáticas bajo las cuales se generan las geoformas del terreno se conoce como un ambiente morfogenético, dentro de este, se encuentran las unidades geomorfológicas quienes en base a las interpretaciones de procesos geomorfológicos los cuales generaron la formación, evolución y modificación de las actuales formas del terreno donde se distinguen diferentes ambientes.

La cuenca presenta una geomorfología evidenciada en la Figura 8, donde se identificaron tres ambientes morfogenéticos (denudacional, fluvial y estructura). En la cuenca de estudio predominan las unidades geomorfológicas pertenecientes a un "Ambiente Denudacional" el cual es generado por procesos de meteorización y erosión producidos por los diferentes agentes erosivos, los cuales modelan y reducen la topografía preexistente y generan por medio del transporte de materiales nuevas geoformas (SGC, 2014). El ambiente denudacional que mayor predominancia tiene son los *lomeríos disectados* (Dldi) con un porcentaje del 74,3% en la cuenca, corresponden a prominencias topográficas con morfología alomada, presenta cimas estrechas y agudas, sus laderas son cortas rectas y



en muy baja proporción convexas, sus pendientes son inclinadas, con un índice de relieve bajo y en una escasa proporción presenta índice de relieve moderado (SGC, 2014).

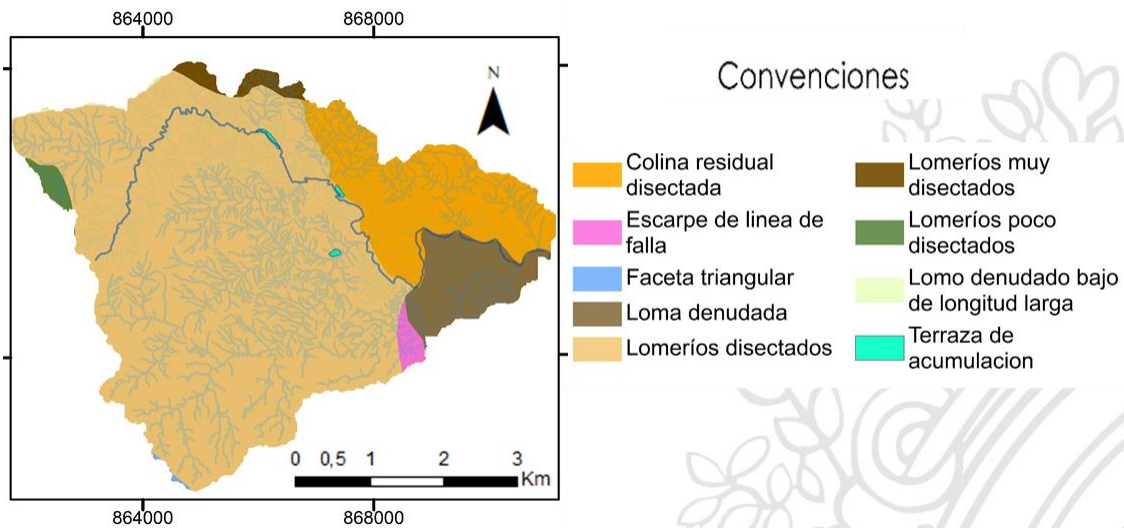


Figura 8. Geomorfología de la cuenca del río San Lorenzo (SGC, 2014)

- Jornadas en campo

Se realizaron tres jornadas de trabajo de campo que cubren diferentes escenarios espacio-temporales (Figura 9), temporada de lluvia, temporada seca y temporada de transición, para medir las variables que dan cuenta del régimen hidrológico como son: mediciones de caudal y de variables de la geometría hidráulica (Área, Volumen, velocidad, longitudinal, entre otros).



Figura 9. Dimensiones espacio-temporales del río

Adicionalmente en campo se midió en cada jornada mediciones de transporte de sedimentos y granulometría dentro del cauce en dos sitios del



tramo medio del río que dan cuenta del régimen sedimentológico (Figura 11 y Figura 10).



Figura 10. Aforos en el tramo medio de la cuenca del río San Lorenzo



Figura 11. Aforos en el tramo medio de la cuenca del río San Lorenzo

Además de complementar con observaciones en campo de levantamiento de secciones transversales en cuatro (4) sitios del tramo medio del río. De la cartografía se levantarán cortes transversales en el tramo alto, medio y bajo del río San Lorenzo (Figura 12).

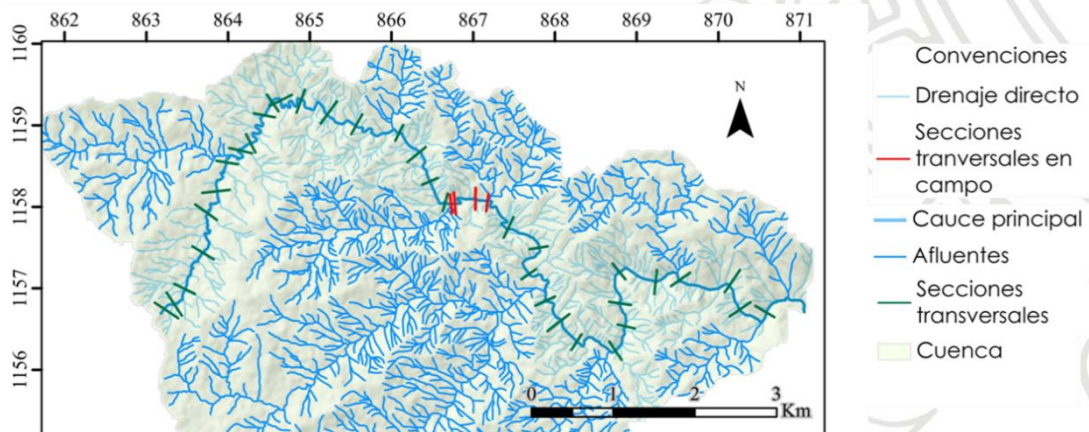


Figura 12. Mapas de cortes transversales dentro del cauce principal del río san lorenzo

- Implementación del indicador

Se aplicó el indicador hidrogeomorfológico para las condiciones actuales y un escenario propuesto en el cual, se implementan sistemas de captación para el abastecimiento de agua para el municipio de El Carmen de Viboral, con el fin de comparar y evidenciar cualitativamente los posibles efectos que tienen las intervenciones antrópicas en los sistemas fluviales.

I. Condiciones actuales:

Basándose en la metodología y la aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG (ANEXO 1) se determinan cuatro tramos evidenciados en la Figura 13, los cuales fueron distribuidos de acuerdo a características homogéneas como las pendientes del río (Gráfico 2), áreas de aporte hidrológico, geología y coberturas o usos de suelo. Las geformas son obtenidas de valores extraídos del Modelo Digital de Elevaciones a escala 1:10.000.

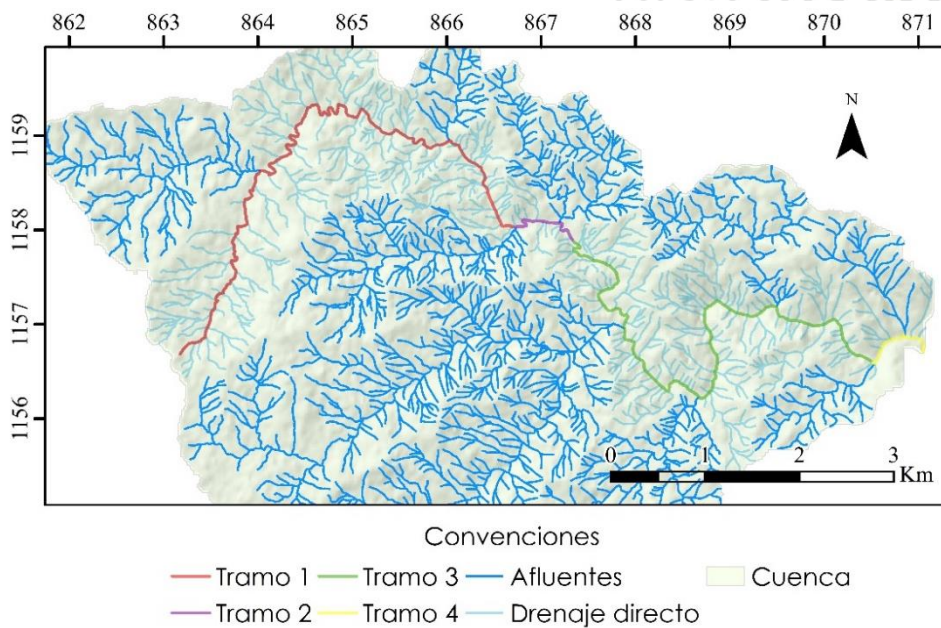


Figura 13. Tramos del río San Lorenzo

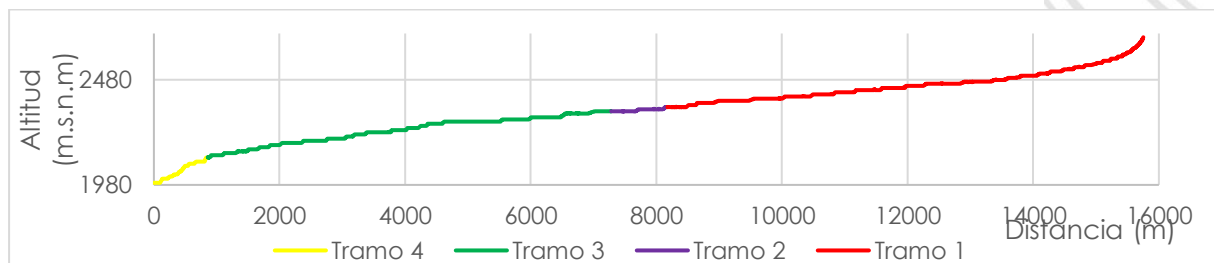


Gráfico 2, perfil longitudinal del cauce principal del Río San Lorenzo

La valoración de cada cuerpo de agua (Tabla 5) se engloba en uno de los cinco intervalos en función de los rangos de puntuación obtenida en la aplicación del indicador. Para ello se tiene en cuenta las coberturas y usos del suelo, hidrología, geología, localización de infraestructuras para captación de



agua y aprovechamientos para piscícolas ubicadas en el tramo medio (2) del río, donde, su efecto actual indica una alteración buena de las características de transporte de sedimentos. También se resalta las áreas de conservación y protección dentro de la cuenca.

Tabla 5. Valoración del indicador hidrogeomorfológico IHG (Ollero, et al. 2011)

	Estado	Valor por apartado	Valor IHG
	Muy bueno	25-30	75-90
	Bueno	20-24	74-60
	Moderado	14-19	59-42
	Deficiente	7-13	41-21
	Malo	0-6	20-0

## II. Escenario Futuro:

En este escenario se considera la construcción de nueva infraestructura para la captación de agua en el municipio de El Carmen del Viboral, los cuales se localizarán en los puntos rojos de la Figura 14 y se establece una concesión aproximada de 0,5 m<sup>3</sup>/s en cada sistema de captación (Tabla 6), donde, una se encuentra dentro del cauce principal del río en el tramo medio y la otra obra se encuentra ubicada al final del mayor tributario que posee el río. La implementación de esta infraestructura trae consigo efectos como la disminución del caudal y la afectación en la capacidad de transporte del río. Adicional a esto no se debe dejar de lado las afectaciones o conflictos a otros usuarios presentes en la cuenca que se abastecen del mismo.

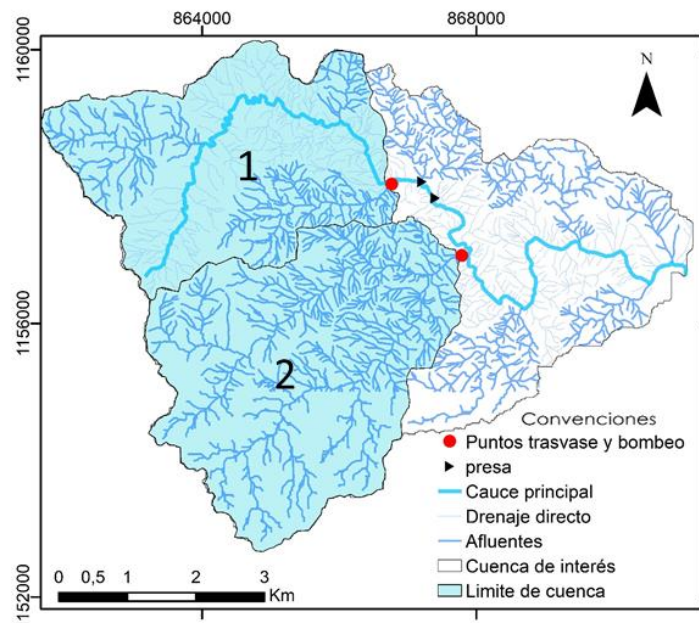


Figura 14. Punto de la posible construcción de obra hidráulica dentro de la cuenca del río San Lorenzo

Para el escenario futuro se tienen establecidos compromisos ambientales reguladas por las leyes ambientales que garantizan la sostenibilidad del



recurso hídrico y el uso eficiente del agua (Minambiente, 2018a). Contemplar la fuente de agua, las condiciones topográficas y la infraestructura son necesaria para el abastecimiento a las familias en el medio rural (García, Zamora, & L., 2011).

Tabla 6. Caudal ambiental en los puntos propuestos para los sistemas de captación

Cuenca	Área [km <sup>2</sup> ]	Rendimiento hídrico Total [m <sup>3</sup> /s-km <sup>2</sup> ]	Q <sub>amb</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q Concesionado [m <sup>3</sup> /s]
1	11,8	0,06	<b>0,69</b>	<b>0,5</b>
2	14,6		<b>0,85</b>	<b>0,5</b>

## Resultados y análisis

Los resultados y análisis del trabajo se estructuran en tres partes: En primer lugar, se caracteriza la cuenca desde sus aspectos físicos como la geología, coberturas y usos del suelo, hidrología, entre otros. En segundo lugar, se presentan los aspectos hidrogeomorfológicos que definen la calidad funcional del sistema, Calidad del cauce y Calidad de las riberas para los tramos del Río San Lorenzo y en tercer lugar se presentan los resultados de la aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG para las condiciones actuales y una aplicación cualitativa de un escenario con alteración del régimen hidrosedimentológico por la construcción de una obra de captación en su cuenca media.

### 1. Cuenca del Río San Lorenzo

Las estaciones pluviométricas enmarcadas en la Tabla 7 que influyen la cuenca del río San Lorenzo y se encuentran representadas en la Figura 15.

Tabla 7. Información de estaciones asociadas a la cuenca del río San Lorenzo (IDEAM, 2018)

Nombre	<b>Campoalegre</b>	<b>Cocorná</b>	<b>La Unión</b>
Código	23080650	23080750	26180170
Estado	Activa	Activa	Activa
Departamento	Antioquia	Antioquia	Antioquia
Altitud	1850	1455	2530
Fecha	jun-73	jun-75	jul-70
	oct-17	oct-17	oct-17
SZH	Río Nare	Río Nare	Río Arma
ZH	Medio magdalena	Medio Magdalena	Cauca
Latitud	6° 4' 25.6"	6° 3' 12"	5° 59' 54"
Longitud	75° 20' 8.2"	75° 10' 57.4"	75° 22' 53"

La mayor estación que influye la cuenca del río San Lorenzo es la estación Campoalegre ubicada en la cabecera municipal del municipio El Carmen de Viboral, cuya influencia está representada en la parte alta y media de la cuenca. La estación Cocorná influye la parte baja de la cuenca de estudio y se encuentra ubicada en la cabecera municipal del municipio de Cocorná.

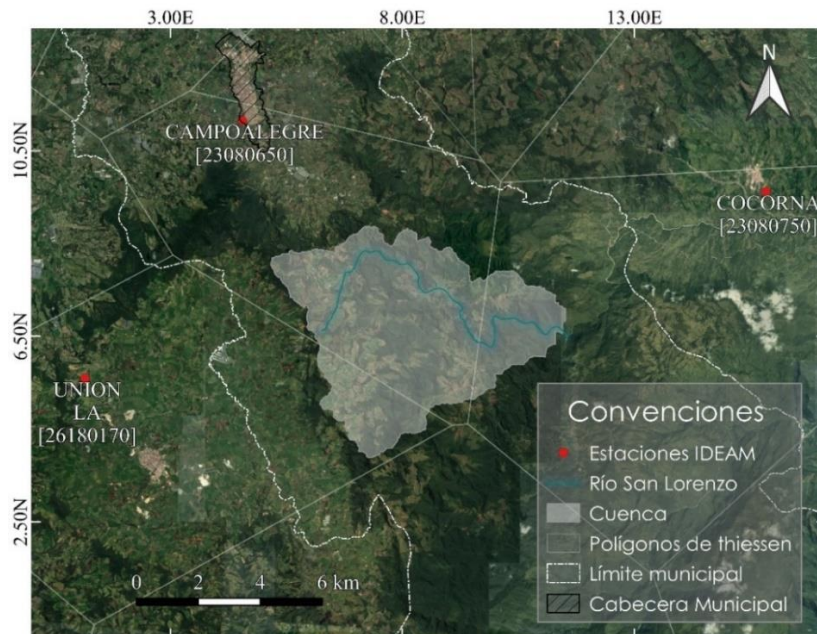


Figura 15. Ubicación de las estaciones pluviométricas asociadas a la cuenca del Río San Lorenzo, Antioquia (IDEAM, 2018)

La distribución de las lluvias durante el año es de tipo bimodal (Gráfico 3), donde se presentan dos temporadas secas, una al principio de año (Diciembre - Enero - Febrero) donde se observan las menores precipitaciones con respecto a los demás meses y la segunda de menor intensidad, a mediados del año (Junio - Julio - Agosto); dos temporadas lluviosas donde en el trimestre Mar - Abr - May se evidencian las mayores precipitaciones y otra Septiembre - Octubre - Noviembre donde las precipitaciones no son tan marcadas.

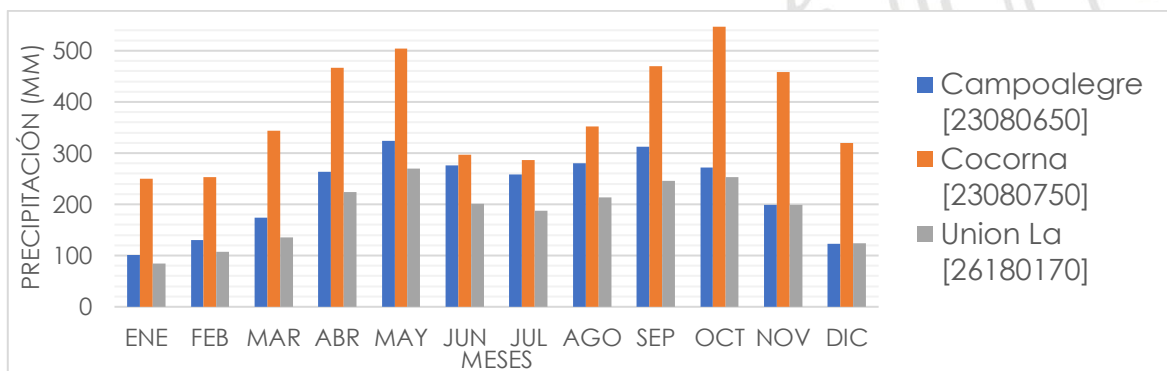


Gráfico 3. frecuencia anual de precipitación en las estaciones pluviométricas asociadas a la cuenca de estudio. (IDEAM, 2018)

El caudal promedio multianual más cercano a la realidad de la subcuenca del río San Lorenzo (Tabla 8) es simulado a través de la herramienta HydroSig, la cual es modelada por desarrolladores del POMCA del Samaná Norte, para el período 01/01/1975 – 31/12/2014.

Tabla 8. Caudal simulado de la subcuenca de interés (POMCA,2017)

Subcuenca	Río san Lorenzo
Caudal promedio simulado (m <sup>3</sup> /s)	5,29

A partir del caudal simulado en el punto de cierre de la subcuenca se obtiene el caudal promedio multianual, y se establece éste como la oferta hídrica superficial total. El año hidrológico medio está definido según IDEAM (2018) por los caudales medios mensuales multianuales, en este caso obtenidos a partir de las series simuladas, y el año hidrológico seco se define a partir de los valores característicos mínimos de las series de caudales mensuales multianuales e incluye períodos de El Niño y La Niña (Cornare; Corantioquia; MINAMBIENTE; MINHACIENDA, 2017).

A través de un modelo precipitación-escorrentía basado en el programa HEC – HMS versión 3.5 desarrollado y mantenido por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Ejército de los Estados Unidos, los realizadores del POMCA del río Samaná Norte simulan la respuesta de una cuenca frente a una precipitación dada, determinando dicha respuesta a través de una combinación de mecanismos hidráulicos e hidrológicos interconectados. Como resultado a esto se presenta en la Tabla 9 los caudales de avenida calculados para la subcuenca del río San Lorenzo.

Tabla 9. Caudales de avenida de la subcuenca del río San Lorenzo [m<sup>3</sup>/s], (POMCA,2017)

Caudales de avenida (m <sup>3</sup> /s)									
Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
103	132,3	147,5	153,2	158,6	164,8	167,2	171,8	179,4	193

A partir de la metodología de regionalización se utiliza el "Atlas Hidrológico de Colombia" (HidroSIG), el cual consiste en estimar los caudales extremos a partir de la combinación de la teoría clásica de Chow (1951) con ideas de escalamiento de caudales máximos o mínimos con el caudal medio multianual de la cuenca, teniendo en cuenta que el modelo lluvia-escorrentía proporciona los hidrogramas de salida y que se han obtenido caudales ligeramente superiores al método de regionalización, los realizadores del POMCA definen como caudales máximos (Tabla 10) aquellos que son sensiblemente superiores.

Tabla 10. Caudales de máximos de la subcuenca del río San Lorenzo [m<sup>3</sup>/s], (POMCA,2017)

Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)									
Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
45,8	67,58	85,91	97,18	105,39	111,87	117,23	132,59	154,14	206,99



La obtención de los caudales mínimos (Tabla 11) para diferentes períodos de retorno lo realizaron mediante el ajuste estadístico de los caudales obtenidos de la aplicación del modelo hidrológico implementado para la obtención de la oferta hídrica.

Tabla 11. Caudales de mínimos de la subcuenca del río San Lorenzo [ $m^3/s$ ], (POMCA,2017)

Caudales mínimos ( $m^3/s$ )									
Q= Tr 2 años	Q= Tr 5 años	Q= Tr 10 años	Q= Tr 15 años	Q= Tr 20 años	Q=Tr 25 años	Q=Tr 30 años	Q= Tr 50 años	Q= Tr 100 años	Q=Tr 500 años
1,1	0,76	0,53	0,4	0,31	0,24	0,18	0,03	-	-

Los caudales ambientales tomados del POMCA (2017) del río Samaná Norte de la subcuenca del río San Lorenzo (Tabla 12), el cual es definido según la metodología propuesta por el ENA, 2014 (MADS & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2014), basada en el Índice de Retención Hídrica (IRH). El valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, este valor característico se aplica para un IRH superior a 0,7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios.

Tabla 12. Oferta hídrica total, Caudal ambiental y oferta hídrica disponible para la subcuenca del río San lorenzo (POMCA, 2017). Oferta hídrica total: OHT, Caudal ambiental: CA, Oferta hídrica disponible: OHD

Año medio ( $m^3/s$ )	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	OHT	2,86	3,13	4,03	5,69	7,54	6,46	5,41	5,41	6,83	6,95	6,22	3,99
CA	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	
OHD	0,57	0,84	1,74	3,4	5,25	4,17	3,12	3,12	4,54	4,66	3,93	1,7	
Año Seco ( $m^3/s$ )	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	OHT	1,09	1	1,32	3	4,29	2,74	1,77	1,78	3,28	4,65	3,61	1,14
	CA	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29
	OHD	0	0	0	0,71	2	0,45	0	0	0,99	2,36	1,32	0

El IHR de la subcuenca del río San Lorenzo muestra las condiciones del medio para retener o regular el agua, la determinación de este indicador utiliza el volumen por debajo del caudal medio "Vp" (área bajo la curva de duración de caudales desde el caudal medio hacia abajo) y "Vt" es el volumen total (área total por debajo de la curva de duración de caudales). Para la cuenca de interés estos valores se encuentran evidenciados en la siguiente Tabla 13):

Tabla 13. Índice de retención y regulación hídrica de la subcuenca del río san lorenzo, Antioquia (POMCA, 2017).

Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)	
Vp [ $m^3$ ]	410.2
Vt [ $m^3$ ]	521.6
IRH (Numérico)	0.786
IRH Valor	Alto

El valor del indicador para la subcuenca del río San Lorenzo es Alto, lo que corresponde a una Alta retención y regulación de humedad, es decir, esto indica que la cuenca tiene una buena capacidad de regular los caudales, lo cual favorece la disponibilidad de caudales en temporadas secas y una regulación de los caudales en temporadas de lluvias.

La naturalidad del régimen de caudal de los ríos puede verse alterada por las concesiones de aguas que se les otorgan a las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, para obtener el derecho al uso y aprovechamiento del recurso hídrico para diferentes fines, Además, hay un orden de prioridad para las concesiones de agua, donde el uso doméstico tendrá siempre prioridad sobre los demás, los usos colectivos sobre los individuales y los de los habitantes de una región sobre los de fuera de ella. Se debe de garantizar la conservación y manejo adecuado de las aguas y sus cauces, asegurando el uso racional del agua, además de prevenir posibles conflictos entre los usuarios. El otorgamiento de aguas para satisfacer concesiones está sujeto a la disponibilidad del recurso, es decir la autoridad ambiental, no es responsable cuando por causas naturales no puedan garantizar la cantidad de agua concedida (Minambiente, 2018)

Dentro del cauce principal del río san lorenzo existen captaciones en el tramo medio del río San Lorenzo, el cual, deriva un **66%** del caudal del río para el abastecimiento de piscícolas, donde aguas abajo vierten parte de ese caudal concesionado. La información de esta concesión es evidenciada en la siguiente Tabla 14):

Tabla 14. Información de la captación dentro del cauce del río San Lorenzo (Cornare, 2018)

Información del usuario	Tipo persona y/o usuario	Jurídica privada	
	Razón social	Comercializadora internacional azul del mar S.A.S	
Departamento	Municipio	Tipo centro poblado	Nombre centro poblado
Antioquia	El Carmen de Viboral	Vereda	La Sonadora y San Lorenzo
Información de la concesión de aguas	Expediente		51480214516
	Tipo de resolución		M
	Número y año de la resolución que asigna el caudal		112-0673-18
	Fecha de expedición resolución		23/02/2018
	Tiempo de vigencia a partir de la fecha de notificación (años, meses o días)		4 AÑOS
	Caudal total concesionado [L/s]		31,36
Información general de la captación	Aguas superficiales	Tipo de fuente superficial	Quebrada
		Nombre de la fuente	Afluente izquierdo de la quebrada san lorenzo
		Tramo	Tramo único
		Nombre cuenca nivel subsiguiente 3 (NSS3)	Río San Lorenzo
		Código cuenca nivel subsiguiente 3 (NSS3)	2308-03-14-08
		<b>Oferta total (L/s)</b>	<b>47,7</b>
Pesca (Piscícola)	Tipo animal		Trucha
	Nº animales		80000
	<b>Caudal otorgado (L/s)</b>		<b>31,36</b>



Como se ilustra en la Figura 16, en el tramo medio del cauce principal del río San Lorenzo se encuentran obras hidráulicas como presas de menor tamaño o azud.

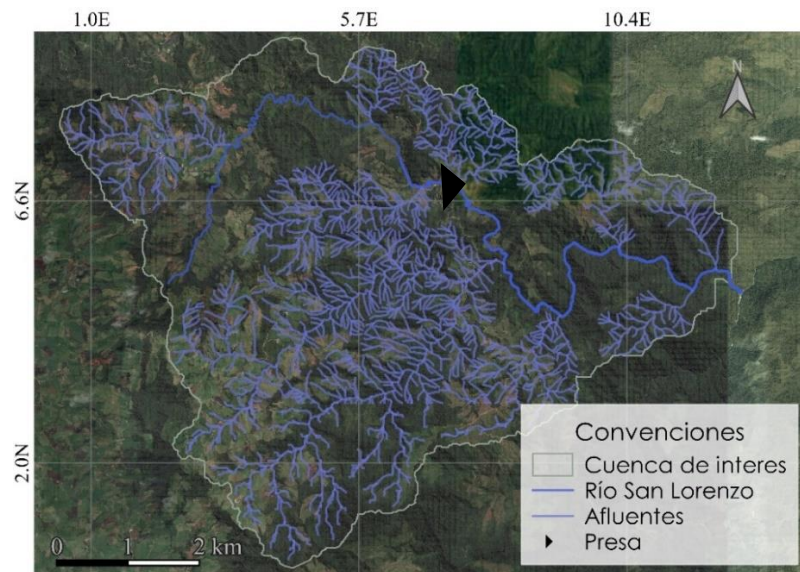


Figura 16. Ubicación de la presa dentro del río San Lorenzo con los afluentes más representativos de la cuenca

La ubicación de la presa implica retención del caudal sólido u obstrucción de sedimentos transportados por el río aguas abajo, donde se evidencia en la Figura 17 que dicha presa tiene un aproximado de tres metros de altura, categorizándola como presa de menor tamaño o azud, utilizada para desviar y retener parte del caudal tanto líquido como sólido. Esta actúa como un muro de gravedad para soportar el empuje hidrostático y al mismo tiempo tiene la función de vertedero de excedentes (Real Academia de la lengua Española, 2018).



Figura 17. Presa de menor tamaño dentro del cauce del río San Lorenzo

Los cambios en la dinámica hidrosedimentológica del tramo medio provocada por la presa se evidencian en la Figura 18, donde, en el Gráfico 4 se muestra como la pendiente natural que traía el río es modificada por la



obra hidráulica dentro del cauce principal del río, perdiendo parte de la energía que lleva la corriente aguas arriba disipándola durante este tramo, logrando que las rocas de mayor tamaño no puedan ser transportadas por el río aguas abajo.

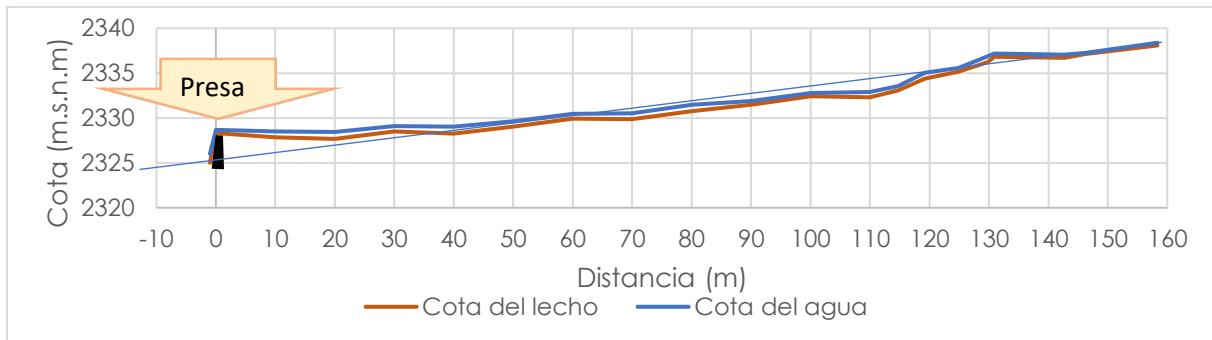


Gráfico 4. Perfil longitudinal del tramo medio de la cuenca a nivel de la presa

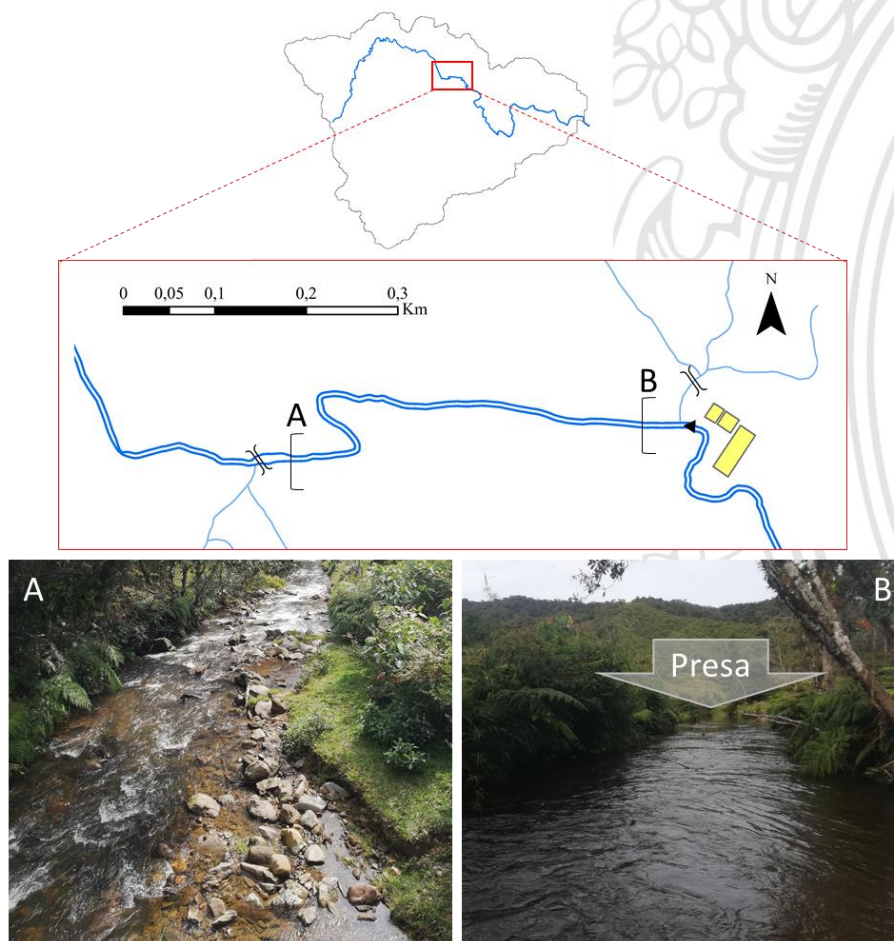


Figura 18. Diferencias en la composición granulométrica del río en el tramo medio de la cuenca del río San Lorenzo.

Las infraestructuras transversales al cauce provocan un efecto barrera (Figura 19), rompiendo la continuidad longitudinal del mismo, embalsando la corriente y provocando procesos de incisión aguas abajo, alterando la naturalidad del lecho y los procesos hidrogeomorfológicos longitudinales (sucesión de resaltes y remansos) y verticales (agradación o degradación),

pudiendo modificar la granulometría y morfometría de los materiales depositados.



Figura 19. Presa dentro del cauce del río San Lorenzo

La llanura de inundación o cauce mayor es un elemento hidrogeomorfológico construido por el sistema fluvial en su régimen de crecidas, los cuales disipan la energía de las aguas desbordadas y la laminación de los caudales de avenida, también decantan los materiales finos transportados por la corriente desbordada, en la cuenca media del río san lorenzo se evidencia en la siguiente Figura 20):



Figura 20. Llanura de inundación o cauce mayor en el tramo medio del río San Lorenzo

La ocupación humana de la llanura de inundación puede alterar esas funcionalidades (Figura 21). Además, las actividades humanas que ocupen las llanuras de inundación deberán ser compatibles con la inundación periódica, o bien podemos encontrarnos ante graves situaciones de riesgo.





Figura 21. Ejemplos de viviendas dentro de la llanura de inundación en el tramo medio de la cuenca del río San Lorenzo

## 2. Aspectos que intervienen en la definición de la calidad funcional, calidad del cauce y calidad de las riberas para cada tramo propuesto

### 2.1. Tramo 1

Este tramo está definido como el tramo superior en la cuenca del río San Lorenzo, el cual, debido a que se encuentra en la cabecera del río que es la zona más alta, posee la mayor pendiente del cauce principal del río con un 33%.

Este tramo se encuentra ubicado en la zona de producción de sedimentos, la cual, es donde se origina la mayor parte de estos sedimentos que se suministran al canal principal desde las laderas limítrofes por procesos de erosión y el movimiento masivo de material rocoso meteorizado (Biedenharn et al., 2013). Los sedimentos se mueven a través del cauce hasta que se encuentran con una ladera empinada que hace que cambie el curso del río, esto se ve reflejado en la parte baja del tramo donde se da un proceso donde se depositan los sedimentos transportados, formando una forma del cauce sinuosa y ampliando su llanura de inundación.

El alto gradiente del cauce permite que las 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. Sin embargo, una gran parte de los asentamientos poblacionales de la cuenca del río se encuentran alrededor del curso superior del tramo como se evidencia en la Figura 22.



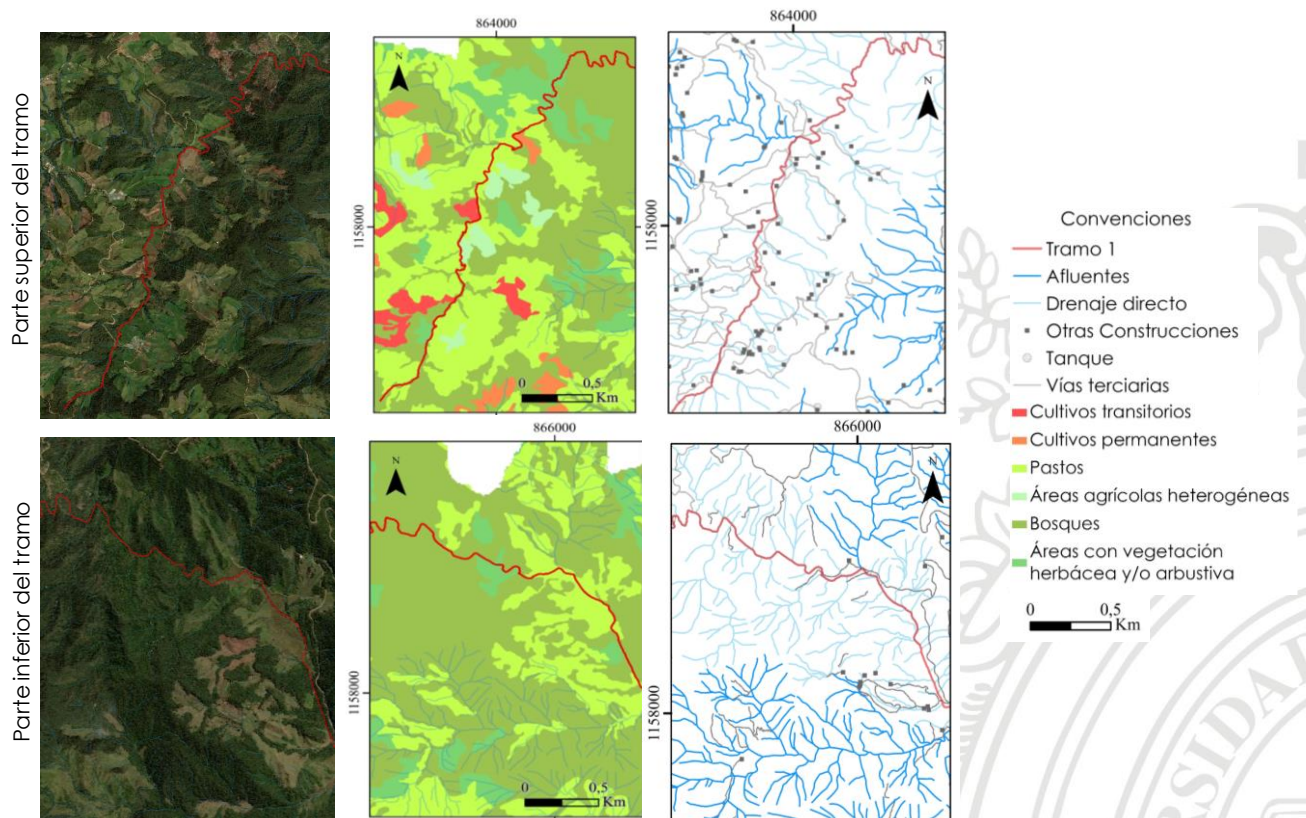


Figura 22. Representaciones del primer tramo del río San Lorenzo. Izquierda: Imagen satelital; Centro: Cobertura; Derecha: Actuaciones humanas

Actividades dentro de la cuenca del río sean directas o indirectas, como la deforestación, la agricultura, vías de acceso, entre otros, afectan el flujo de agua y la producción de sedimentos. En este tramo se encuentra una mayor variedad de usos del suelo como el pastoreo semi intensivo y extensivo, variedad de cultivos transitorios y permanentes, sin embargo también se evidencian zonas de protección a boques, áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, esto se ve reflejado en la cobertura que posee el tramo Figura 22

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 (Patricia et al., 2018). La conectividad longitudinal y el ancho del corredor ribereño de este tramo se encuentra representado en el área de aporte directo que tiene el tramo en la Figura 23, donde, su función natural de ayudar 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 está siendo alterada debido al uso del suelo y a obras ingenieriles cercanos alrededor de estas áreas.

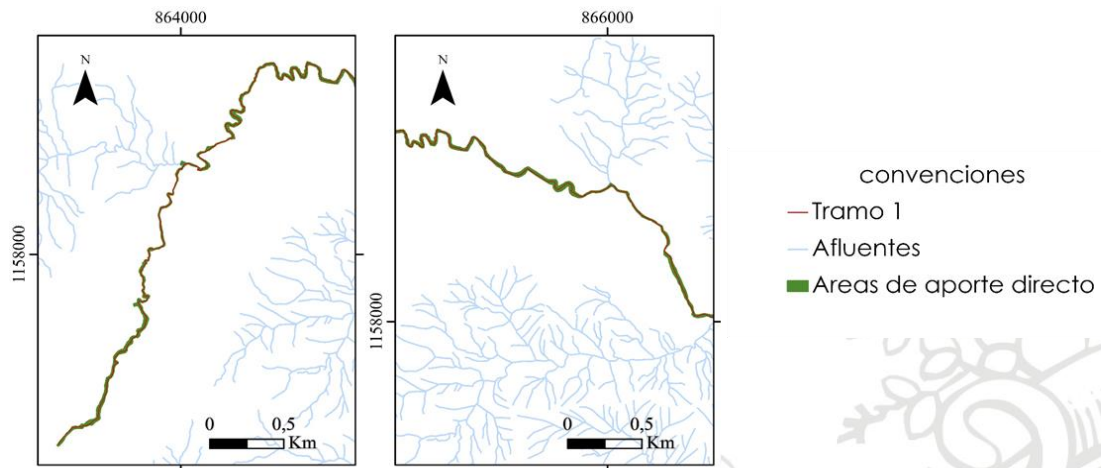


Figura 23. Área de aporte directo en la parte alta y baja del tramo superior del río San Lorenzo

## 2.2. Tramo 2

Este tramo está definido como el tramo medio en la cuenca del río San Lorenzo, sin embargo, este trabajo se enfoca en este debido a que en él se evalúa la posibilidad de una obra de captación. Es importante en este estudio ya que en base a este se realizó una comparación en cuando a su hidrogeomorfología y el grado de alteración con respecto a la obra de captación mediante el indicador hidrogeomorfológico.

El tramo se caracteriza por poseer una pendiente de 20%, y por tener dentro del cauce del río una obra hidráulica (azud) la cual retiene gran parte del sedimento transportado por la corriente del río aguas abajo (Figura 24).

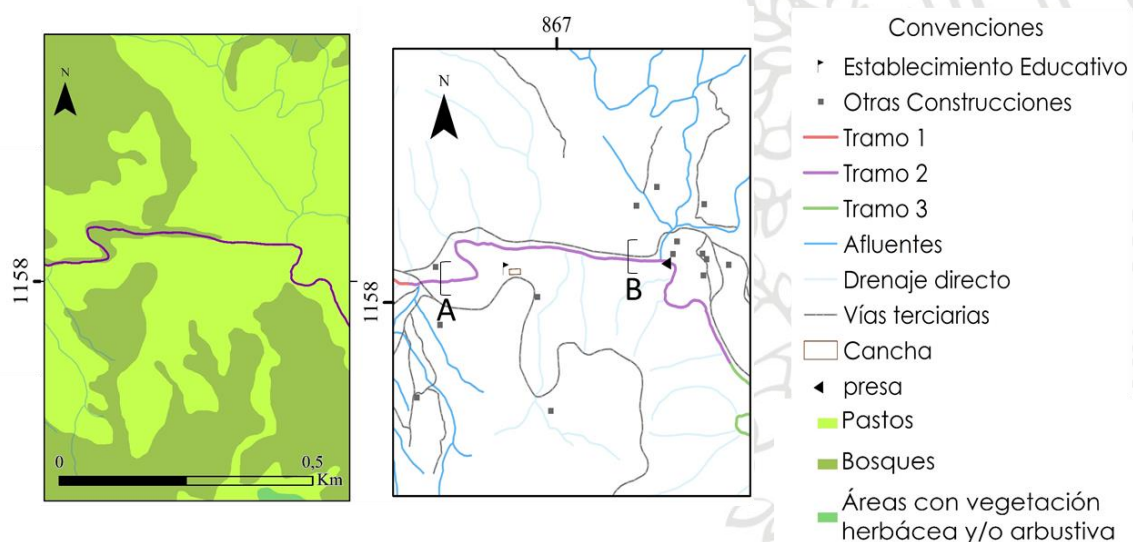


Figura 24. tramo medio del río San Lorenzo. Derecha: Actuaciones humanas; Izquierda: Cobertura del suelo.

La composición del sedimento del río en los puntos A y B de la Figura 24 en su tramo medio se encuentran representados en el Gráfico 5, donde la mayor parte del material del lecho en el punto A son cantos rodados, rocas, guijarros y grava, mientras que la composición en el punto B está compuesto por material más fino como limos y arenas.

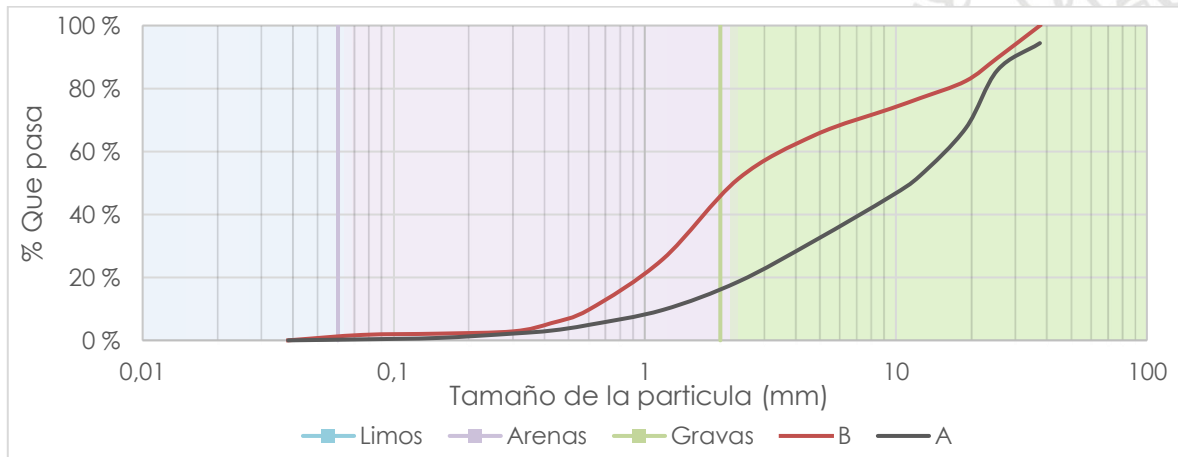


Gráfico 5. Granulometría del tramo medio de la cuenca de estudio

La cobertura del suelo en este tramo se evidencia en la Figura 24 (Izquierda), donde, se muestra que gran parte de la cobertura alrededor de este tramo es pasto, los cuales son característicos cuando se tiene un uso del suelo de pastoreo.

Así mismo, el área de aporte directo en este tramo (Figura 25), asociado a coberturas y usos del suelo, presenta una alteración significativa al nivel de la presa, tanto por el uso de actividades como el pastoreo, piscícolas y obras ingenieriles como el puente y las vías de acceso al lado del cauce.

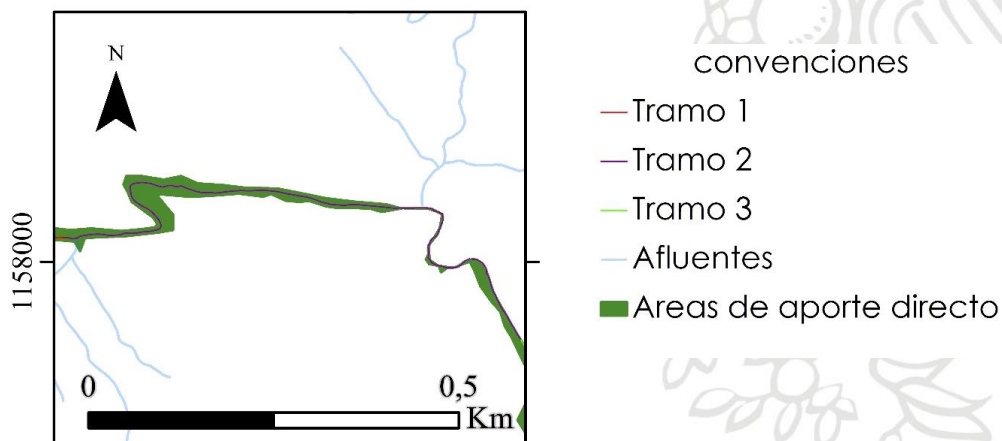


Figura 25. Área de aporte directo del tramo medio del río San Lorenzo



La llanura de inundación de la zona presente en la Figura 26, da cuenta del grado de confinamiento del cauce en el valle y de su progresión lineal. El tramo de interés presenta actividades dentro de la zona inundable.



Figura 26. Llanura de inundación en el tramo medio (3) del río San Lorenzo

### 2.3. Tramo 3

La reducción de los asentamientos poblacionales en el tramo logra una disminución en los usos potenciales que se le da al suelo, sin embargo, se encuentran presiones como el pastoreo extensivo, el cual es una de las actividades económicas comunes de la zona, en la Figura 27 se muestra la cobertura del tramo asociada a esos usos del suelo que se presentan en el terreno.

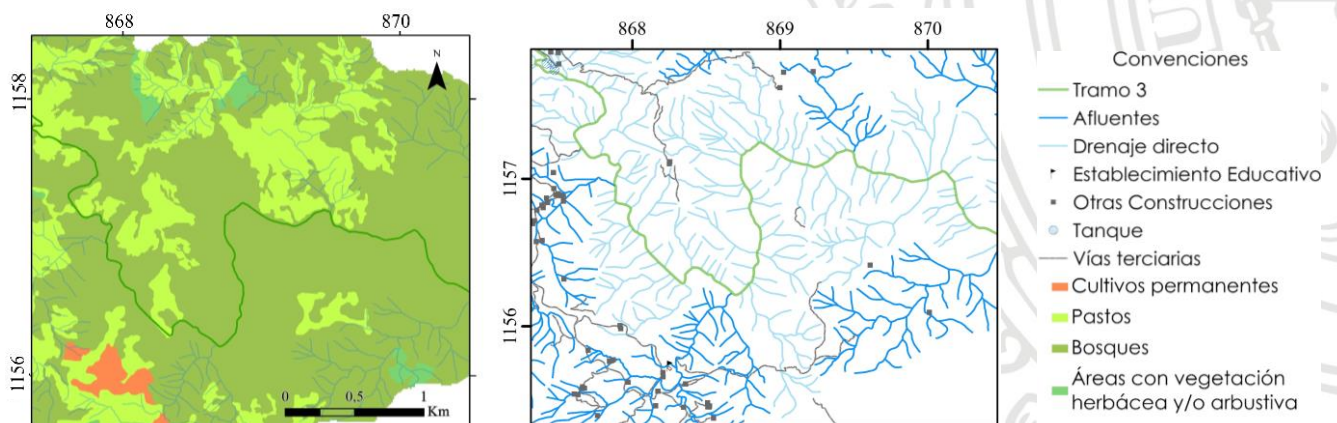


Figura 27. Cobertura del suelo (izquierda) y actuaciones humanas (derecha) en el tramo medio bajo del río San Lorenzo

A medida que el río desciende se van disminuyendo los asentamientos poblacionales, esto se ve reflejado en las vías de acceso y en la cobertura del suelo. Comparando el tramo superior del río (Figura 22) se encuentran más vías de acceso que cruzan el cauce del río en la parte alta de la cuenca que en la parte media baja.

La cobertura del suelo en el tramo 3 Figura 27 (izquierda), los cultivos y la mayoría de las zonas de pastoreo se encuentran asociados a la presencia de las poblaciones en la zona, sin embargo, se encuentran retirados del canal del río principal y por ende de su llanura inundable.

En el tramo se presenta el área de aporte directo evidenciado en la Figura 28, el cual, 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, debido a la cobertura que se presenta la zona, donde hay pocas intervenciones antrópicas.

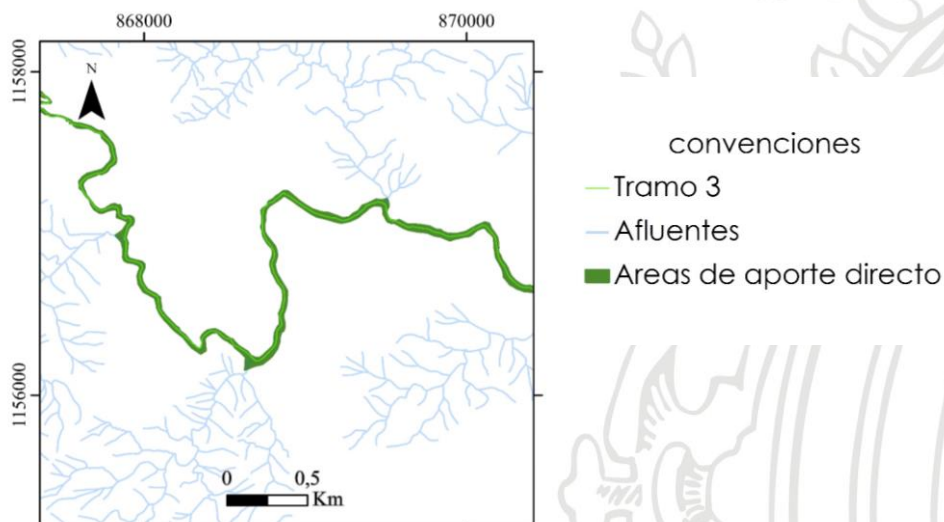


Figura 28. Área de aporte directo del tramo medio bajo del río San Lorenzo

Dentro de la geomorfología del tramo se evidencian dos unidades de ambiente denudacional: los Lomeríos disectados mencionados anteriormente y Colina residual disectada de la cual su origen se encuentra asociado al proceso tectónico desarrollado por la intrusión de las rocas pertenecientes al Batolito Antioqueño, así como a los procesos denudativos intensos y característicos de esta zona climática, lo cual ha dado lugar a disecciones paralelas en forma de U.

#### 2.4. Tramo 4

La característica del tramo final del río es que a pesar de estar en la parte donde se depositan los sedimentos a otro río (río Cocorná), se encuentra con una pendiente característica del 16% en el tramo. Sin embargo, la pendiente puede deberse a aspectos geomorfológicos de la zona, debido a que en ella se presentan dos tipos de ambientes denudacionales: Colina residual disectada y Loma denudada, este último hace referencia a prominencias topográficas que se encuentran entre 70 y 210 metros de altura, en referencia a su nivel base local, su morfología es alomada y elongada, con laderas de



longitud moderada, su superficie es convexa y con pendientes inclinadas. El origen de esta unidad se relaciona con procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Esta unidad se encuentra sujeta a presentar un gran índice de movimientos en masa y procesos erosivos que dan lugar a disecciones intensas, que han configurado su geometría.

El aumento en la pendiente en el último tramo aumenta su descarga de sedimentos y la sección transversal del cauce se hace mayor (Figura 29).



Figura 29. Vista en planta de la desembocadura del río San Lorenzo al río Cocorná (Tramo 6)

Los asentamientos poblacionales en el tramo (Figura 30) muestra que los últimos tramos son considerados poco intervenidos.

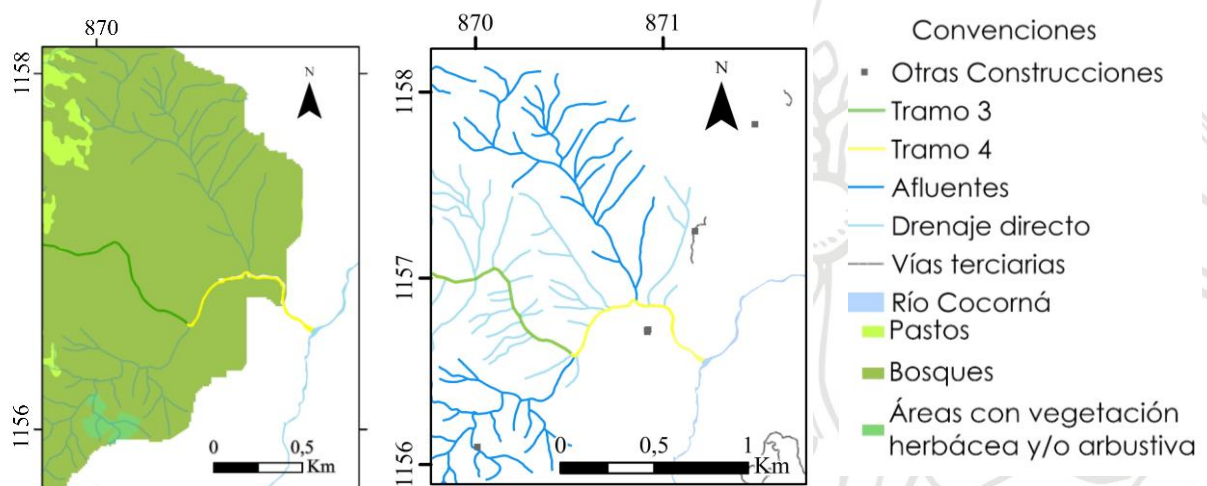


Figura 30. Cobertura del suelo (Izquierda) y actuaciones humanas (derecha) en el tramo final del río San Lorenzo

La cobertura del suelo en este tramo al encontrarse pocos asentamientos humanos y alejados del cauce principal del río, se evidencia poca alteración en las coberturas del suelo en estos tramos.



Así mismo, los Áreas de aporte directo en estos tramos son poco alterados y su conectividad longitudinal y ancho no presentan alteraciones en su naturalidad (Figura 31). Considerando que la vegetación de ribera es un indicador del estado de disponibilidad y calidad de la zona riparia entre los ecosistemas acuático y terrestre, debido a que permite la formación de corredores biológicos, favorecen el movimiento y dispersión de especies.

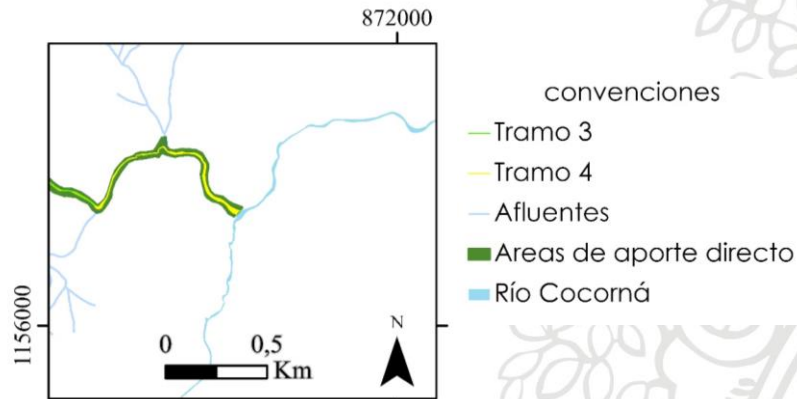


Figura 31. Área de aporte directo en el tramo final del río San Lorenzo

### 3. Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG

El indicador hidrogeomorfológico para el río San Lorenzo se evidencia en la Figura 32 donde muestra que el tramo superior del río se encuentra en estado *Moderado* en cuanto a su calidad hidrogeomorfológica, debido a que posee alteración antropógenas que afectan el proceso natural del río y lo que esto conlleva. Sin embargo, en los tramos finales del río la calidad hidrogeomorfológica del Río es *muy buena*.

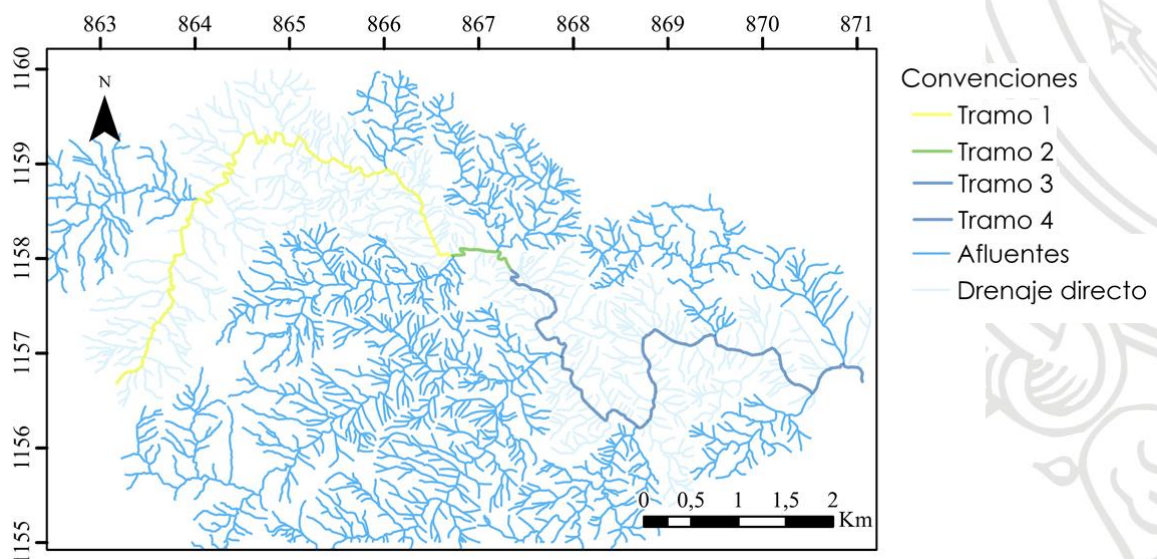


Figura 32. Aplicación del índice hidrogeomorfológico para los tramos del río San Lorenzo

Los valores de cada parámetro evaluado en los tramos del río se encuentran evidenciados en la Tabla 15, donde se muestra que, en la calidad funcional del sistema fluvial, la calidad del cauce y de las riberas el tramo superior (1) contiene la menor puntuación de calidad, es decir, que en este tramo hay una mayor alteración antrópica, alterando procesos hidrosedimentológicos y geomorfológicos del río.

Tabla 15. Valoración del indicador hidrogeomorfológico del río

Tramo	Valoración de la calidad funcional del sistema	Valoración de la calidad del cauce	Valoración de la calidad de las riberas	Valor final: calidad hidrogeomorfológica	Estado
1	19	19	18	56	Moderado
2	20	23	24	67	Bueno
3	25	30	30	85	Muy bueno
4	28	30	30	88	Muy bueno
<b>Total</b>				<b>74</b>	<b>Bueno</b>

Un promedio en el indicadores hidrogeomorfológico muestra que la puntuación es de 74, lo que caracteriza al río San Lorenzo como bueno en términos de calidad hidrogeomorfología.

#### 4. Aplicación del indicador a un escenario propuesto de captación de agua

Como se ha mencionado anteriormente el escenario propuesto implica la implementación de unas obras de captación de agua para el abastecimiento de la población en el sector, donde para ello se tiene en cuenta una suposición de una obra de contención dentro del cauce principal del río San Lorenzo y otra en el afluente principal del río, alteraciones en el corredor ripario debido a la construcción e implementación de la obra hidráulica y alteración en la llanura de inundación. La cubierta vegetal y la topografía son solo algunos de los factores que influyen en la funcionalidad los sistemas fluviales (Biedenharn et al., 2013) que también se alteran debido a la obra de captación.

La evaluación cualitativa del escenario propuesto para la obra en el tramo medio, la cual es donde se presenta la modificación del estado hidrogeomorfológico, se evidencia en la Tabla 16, donde, si se implementa la obra hidráulica, esta tendría repercusiones en el tramo que alterarían tanto la naturalidad del cauce como la funcionalidad del sistema.

Tabla 16. Valoración del indicador hidrogeomorfológico en el tramo medio del río San Lorenzo

Tramo	Valoración de la calidad funcional del sistema	Valoración de la calidad del cauce	Valoración de la calidad de las riberas	Valor final: calidad hidrogeomorfológica	Estado
2	20	23	24	67	Bueno
2**	16	17	19	52	Moderado

Si bien el área del mayor afluente que posee el río es mayor que el área acumulada hasta el punto de captación del tramo medio dentro del río, este no presenta presiones antrópicas tan marcadas como en la parte alta de la cuenca del río, sin embargo, presenta un leve grado de alteración en el régimen de caudales, debido a las pequeñas presas o azudes que se encuentran dentro del afluente del río.

### Conclusiones

Hoy en día hay muy pocos ríos que no han sido afectados de alguna manera por los efectos directos e indirectos de las actividades antrópicas. La aplicación del indicador IHG en este río del área rural arroja un valor de 74 correspondiente a un estado hidrogeomorfológico *bueno*, donde presenta valores de moderado a muy bueno en los tramos del río, esto debido a las alteraciones antrópicas que impactan en el sistema. El tramo con un menor valor de 56 para un estado *moderado*, corresponde al tramo superior del río, debido a los asentamientos poblacionales y usos del suelo que le dan en la zona. El valor más favorable en la situación actual se presenta para los tramos bajos en virtud a que presenta muy pocas intervenciones.

El grado de alteración hidrogeomorfológico del río San Lorenzo para el escenario proyectado por la posible ubicación en su cuenca media de la infraestructura de captación de un sistema de suministro de agua para el municipio del Carmen de Viboral, influye en los procesos hidrogeomorfológicos del río, esto debió a que una alteración en la dinámica de una masa de agua tendrá un rápido efecto con el deterioro en la biodiversidad y calidad de los ecosistemas, tanto aguas arriba y aguas debajo de la corriente. sin embargo, dependiendo del tipo de concesión, tamaño y abastecimiento la calidad hidrogeomorfológica de la zona puede variar. La implementación del índice IHG en este escenario arroja un valor de 70 para un estado hidrogeomorfológico *Bueno*, sin embargo, para todos los tramos excepto el tramo medio se mantiene la calidad hidrogeomorfológica. En el tramo medio siendo el más afectado con un grado de alteración *moderado*, donde el indicador más afectado es aspecto hidrológico por alteración de caudales, disminución de la capacidad de transporte la cual es mayor en temporadas secas y retención de sedimentos con un efecto acumulativo debido a las presas ya existentes



El indicador hidrogeomorfológico IHG el cual toma en cuenta los impactos y presiones antrópicas sobre los elementos, procesos y funciones hidrogeomorfológicas del sistema fluvial, ya se ha aplicado a ecosistemas tropicales, sin embargo, se requieren de más estudios para determinar la eficacia del indicador en este tipo de ecosistemas. Además, para determinar a mejor detalle la calidad hidrogeomorfológica de una corriente se deben tener en cuenta más segmentaciones en virtud de diferentes factores como: Usos, pendientes, asentamientos poblacionales, obras ingenieriles, entre otros. El índice puede ayudar a generar o complementar las evaluaciones de impacto ambiental y las medidas de manejo ambientales para la gestión ante los impactos que puedan ocasionar las infraestructuras ingenieriles.



## Anexo 1

### ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

<b>CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA</b>			
<b>NATURALIDAD DEL RÉGIMEN DE CAUDAL</b>			
Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus eventos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico			10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	sí hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable		-10
	sí hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales		-8
	Si hay alteraciones del régimen hidrológico pero las modificaciones al régimen estacional son sólo ligeramente perceptibles		-6
	sí hay alteraciones en el régimen hidrológico, pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal		-4
	sí hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante		-2
<b>DISPONIBILIDAD Y MOVILIDAD DE SEDIMENTOS</b>			
El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial lleva a cabo la función de movilización y transporte de esos sedimentos.			10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	sí más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos		-5
	sí entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos		-4
	sí entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos		-3
	sí hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector		-2
En el alcance hay extracciones de grava y / o arena y / o dragado que limitan el suministro de sedimentos y movilidad.	notable y frecuente		-2
	Leves		-1
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (blindaje, incrustación, alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales...) y pueden atribuirse a factores antrópicos	Notable y frecuente		-2
	Leves		-1
La red de drenaje y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes		-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas		-2
	alteraciones y/o desconexiones leves		-1
<b>FUNCIONALIDAD DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN</b>			
La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en los procesos de inundación, la dispersión de flujos máximos debidos a desbordamiento de sedimentos y deposición de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de la reducción del flujo máximo, decantación y disipación de energía.	Si son defensas continuas	sí son discontinuas, pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	sí alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
sí predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
sí están separadas del cauce, pero restringen más del 50% del ancho de la llanura de inundación	-4	-3	-2
sí sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% del ancho de la llanura de inundación	-3	-2	-1

La llanura de inundación tiene alteración en la sección transversal (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...), que alteran los procesos hidrogeomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	sí hay abundantes obstáculos	-2
	sí hay obstáculos puntuales	-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o ha sido alejada del canal por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie	-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie	-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados, aunque no alcanzan el 15% de su superficie	-1

### VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

CALIDAD DEL CAUCE				
NATURALIDAD DEL TRAZADO Y DE LA MORFOLOGÍA EN PLANTA				
La morfología del canal permanece natural, inalterada y su morfología en planta presenta las características y Las dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el comportamiento natural del sistema.				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	sí afectan a más del 50% de la longitud del sector	sí afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	sí afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	sí afectan a menos del 10% de la longitud del sector
sí hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos...)	-8	-7	-6	-5
sí, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones...)	-6	-5	-4	-3
sí, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial se ha recuperado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta, derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras			Notables	-2
			Leves	-1

CONTINUIDAD Y NATURALIDAD DEL LECHO Y DE LOS PROCESOS LONGITUDINALES Y VERTICALES				
El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico				10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	sí embalsan más del 50% de la longitud del sector	sí embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	sí embalsan menos del 25% de la longitud del sector	
sí hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin desvío para los sedimentos	-5	-4	-3	
si hay algún dique o al menos una presa de más de 10 m con desvío para sedimentos	-4	-3	-2	
sí hay un solo azud	-3	-2	-1	
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del canal	más de 1 por cada km de cauce			-2
	menos de 1 por cada km de cauce			-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector			-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector			-2
	de forma puntual			-1

### NATURALIDAD DE LAS MÁRGENES Y DE LA MOVILIDAD LATERAL



El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias...) adosadas a las márgenes	En más del 75% de la longitud del sector	-6
	Entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	Entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	Entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	Entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	En menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	Notables	-2
	Leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	Notables	-2
	Leves	-1

### VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE

CALIDAD DE LAS RIBERAS				
<b>CONTINUIDAD LONGITUDINAL</b>				
El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita				10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias...) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos...)	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes	
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10	
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8	
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7	
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6	
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5	
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4	
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3	
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2	
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1	
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1	
<b>ANCHURA DEL CORREDOR RIBEREÑO</b>				
Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.				10
La anchura de la ribera superviviente ha	si el ancho medio del corredor ribereño actual es inferior al 50% de la potencial			-3
	si el ancho medio del corredor ribereño actual se encuentra entre el 50% y el 75% de la anchura potencial			-2

si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 75% de la potencial				-1
si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	sí al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0		
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2			
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 o 3	-1			
<b>ESTRUCTURA, NATURALIDAD Y CONECTIVIDAD TRANSVERSAL</b>				
En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.				10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo...) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión del nivel freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2	
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1	
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas			-2
	si las alteraciones son leves			-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos...) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes super el 150% de la longitud de las riberas			-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas			-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas			-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas			-1
si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	sí al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0		
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2			
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 o 3	-1			
<b>VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS</b>				

**VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA**

Estado	Valor IHG
Muy bueno	75-90
Bueno	74-60
Moderado	59-42
Deficiente	41-21
Malo	20-0

## Referencias Bibliográficas

### Revistas

- Barboza, E., Corroto, F., Salas, R., Gamarra, O., & Ballarín, D. (2017). Hydrogeomorphology on Tropical Areas: Application of the Hydrogeomorphologic Index (Ihg) in the Utcubamba River (Peru). *Ecología Aplicada*, 16(1).
- Bledsoe, B. P., Hawley, R. J., Stein, E. D., & Booth, D. B. (2010). HYDROMODIFICATION SCREENING TOOLS: FIELD MANUAL FOR ASSESSING CHANNEL SUSCEPTIBILITY. *Hydromodification Screening Tools: Field Manual for Assessing Channel Susceptibility. Water Research*, (March).
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. (2000). River styles, a geomorphic approach to catchment characterization: Implications for river rehabilitation in Bega catchment, New South Wales, Australia. *Environmental Management*, 25(6), 661–679. <https://doi.org/10.1007/s002670010052>
- Casper, A. F., DeLong, M. D., Thorp, J. H., Williams, B. S., Ballantyne, F., Thoms, M. C., ... Haase, C. S. (2010). Linking Ecosystem Services, Rehabilitation, and River Hydrogeomorphology. *BioScience*, 60(1), 67–74. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.11>
- Cornare; Corantioquia; MINAMBIENTE; MINHACIENDA. (2017). Informe de diagnóstico. In *POMCA Río Samaná Norte* (p. 108).
- CORNARE; & Instituto Humboldt; (2015). ESTUDIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES COMPLEJO DE PÁRAMOS SONSON, 472.
- CORNARE. (2012). Evaluación y Zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de El Carmen de Viboral, (July).
- EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. (2000). Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal of the European Parliament*, L327(September 1996), 1–82. <https://doi.org/10.1039/ap9842100196>
- Frey, P., & Church, M. (2009). Geophysics. How river beds move. *Science (New York, N.Y.)*, 325(2009), 1509–1510. <https://doi.org/10.1126/science.1178516>
- García, J. A., Zamora, J., & L., N. (2011). *Sistema de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina*. Retrieved from [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-mp-inta\\_cipaf\\_ipafnoa\\_manual\\_de\\_agua.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-mp-inta_cipaf_ipafnoa_manual_de_agua.pdf)
- Grabowski, R. c., & Gurnell, A. . (2016). HYDROGEOMORPHOLOGY—ECOLOGY INTERACTIONS IN RIVER SYSTEMS. *River Research and Applications*, 32, 139–141. <https://doi.org/10.1002/rra>
- Lehotský, M. (2004). River morphology hierarchical classification (RMHC). *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 39(1), 33–45.
- MADS, M. de A. y D. sostenibe. (2017). Decreto 2245 de 2017 "Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rond, 4.
- MADS, M. de A. y D. sostenibe, & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogota.
- Malavoi, J.-R., & Bravard, J.-P. (2010). *Éléments D'Hydrogéomorphologie Fluviale*, 224p.
- Minambiente. Resolución 1257. Colombia, 2018.



- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., ... Sánchez, N. (2008). IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27(1), 171–188.
- Ollero, A., González de Matauco, A., García, J. H., Ferrer i Boix, C., Martín Vide, J. P., Acín Naverac, V., ... Sánchez Fabre, M. (2011). Indicadores geomorfológicos para el seguimiento de la restauración fluvial. *I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial. Restauraríos*, 346–355.
- Ollero, A., Ibisate, A., Gonzalo, L. E., Acín, V., Ballarín, D., Díaz, E., ... Sánchez, M. (2011). The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: Updated version. *Limnetica*, 30(2), 255–262.
- Ollero Ojeda, A. (2010). Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro - Guía metodológica. *MASTERGEO, S.L*, 57 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4642.4089>
- Papadaki, C., Soulis, K., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Zogaris, S., Ntoanidis, L., & Dimitriou, E. (2016). Potential impacts of climate change on flow regime and fish habitat in mountain rivers of the south-western Balkans. *Science of the Total Environment*, 540, 418–428. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.134>
- Patricia, C., González, P., Álvarez, C. A., Alfonso, L., Trujillo, E., Arnold, R., ... Palacio, V. (2018). GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA, 1–86.
- Raven, P. J., Holmes, N. T. H., Dawson, F. H., Fox, P. J. A., Everard, M., I.R., F., & Rouen, K. J. (1998). River Habitat Survey, the physical character of rivers and streams in the UK and Isle of man. *River Habitat Survey Report*, 2(2), 84.
- Rinaldi, M., Surian, N., Belletti, B., Golfieri, B., Lastoria, B., Comiti, F., ... Nardi, L. (2016). New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of Environmental Management*, 202, 363–378. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.036>
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2013). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180–181, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009>
- Santa-maría, C. M., & Yuste, J. A. F. (2011). Obtención De Escenarios De Régimen Ambiental De Caudales (Rac) a Partir Del Régimen Natural: Una Nueva Extensión Del Software Iahris, (i), 18–20.
- Servicio Geológico Colombiano. (2014). Memoria Explicativa Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos En Masa Esc 1 : 100 . 000 . Plancha 167 – Sonsón, (031), 1–114.
- Sidle, R. C., & Onda, Y. (2004). Hydrogeomorphology: Overview of an emerging science. *Hydrological Processes*, 18(4), 597–602. <https://doi.org/10.1002/hyp.1360>
- Siligardi, M., Avolio, F., Baldaccini, G., Bernabei, S., Bucci, M. S., Cappelletti, C., ... Zanetti, M. (2007). *INDICE DI FUNZIONALITÀ FLUVIALE (IFF), Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata.*
- Solano Mata, F., & Salas González, D. (2011). Estudio hidrogeomorfológico y análisis sedimentológico de la sección alta de la cuenca del río Aranjuez. *Revista Geográfica de América Central*, 1–43.
- Universidad de Coruña. (2012). Tema 9. Geomorfología aplicada. *Departamento de Tecnología de La Construcción*, 1–39.
- Wheaton, J. M., Gibbins, C., Wainwright, J., Larsen, L., & McElroy, B. (2011). Preface: Multiscale Feedbacks in Ecogeomorphology. *Geomorphology*, 126(3–4), 265–268. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.002>

## Libros

- Biedenharn, D. S., Watson, C. C., & Thorne, C. R. (2013). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Sedimentation Engineering*. <https://doi.org/10.1061/9780784408148.ch06>
- Universidad del Cauca. Procesos fluviales 1: Parte III. Popayan: n.d
- Horacio, J. *Medicina fluvial: Un nuevo paradigma en la conservación y restauración de ríos bajo el enfoque de la geomorfología*. (J. Luis Benito A, Ed.) (Primera ed). Jolube Consultor Botánico y Editor, 2015. ISBN: 978-84-943561-2-4
- Rosgen, D. *Applied River Morphology*. EE. UU.: Wildland Hydrology, 1996. ISBN-10: 0965328902

## Cibergrafía

- Alcaldía Municipal de El Carmen de Viboral en Antioquia. Municipio El Carmen de Viboral, Antioquia (2018). Retrieved from <http://www.elcarmendeviboral-antioquia.gov.co/>
- CORNARE. Información cartográfica temática - CORNARE. *Archivo SIG*. Antioquia, (2018). Retrieved from <https://bit.ly/32iDxUe>
- IDEAM. Solicitud De Informacion - Ideam. Antioquia (2018). Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. Geoportal: La Información Geográfica De Colombia. Colombia (2019). Retrieved from <https://geoportal.igac.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente. *Uso y aprovechamiento del agua*, Colombia (2018). Retrieved from <https://bit.ly/2JrhkcS>
- MinTIC. Base de datos Persona por Veredas SISBEN actualizado abril 2019 \_ Datos Abiertos Colombia. <https://bit.ly/2YIV3Pj>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. Registro Único Nacional de Áreas Protegidas - RUNAP (2018). <http://runap.parquesnacionales.gov.co/acerca>.
- Real Academia de la lengua Española. *Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario* (2018). Retrieved from <https://dle.rae.es/?id=NG3ktc6>
- Semana; Coca-Cola. (2019). *viaje por las venas de colombia*. Retrieved from <https://bit.ly/32kCrYb>