



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

DEMANDA VERBAL DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL DE MAYOR CUANTÍA DE
CARLOS MARIO RIVERA MORA CONTRA ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P – C.H.B.

REPORTE-PRIVADO-2023-CRIVERA-HIGUERON



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS EFECTIVAS

2023

PAGINA DEJADA EN BLANCO INTENCIONALMENTE



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

2023

PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

DEMANDA VERBAL DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL DE MAYOR CUANTÍA DE
CARLOS MARIO RIVERA MORA CONTRA ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P – C.H.B.

CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

PROCESO No.: 11001310304120220012800
DEMANDADO: ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P
DEMANDANTE: CARLOS MARIO RIVERA MORA

Reporte elaborado por: **CHAVARRO DIAZ JOHN ALEXANDER**
Ingeniero Agrícola, Magister en Hidrosistemas
Consultor en Estudios Ambientales
T.P. 00000-22731 AGR del C. P. Nacional de Ingeniería COPNIA
REPRESENTANTE LEGAL HIDROBIOSISTEMAS INGENIERÍA S.A.S

Para: **JUZGADO CUARENTA Y UNO (41)**
CIVIL DEL CIRCUITO DE BOGOTÁ
Bogotá D.C:

REPORTE-PRIVADO-2023-CRIVERA-HIGUERON

HIDROBIOSISTEMAS INGENIERÍA S.A.S
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
2023



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

JOHN ALEXANDER CHAVARRO DÍAZ, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 7.717.598 de Neiva Huila, portador de la Matrícula Profesional # 00000-22731 AGR del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería COPNIA, y representante legal de la firma **HIDROBIOSISTEMAS INGENIERÍA S.A.S (NIT 900.581.501)** obrando como Perito Hídrico: Ingeniero Agrícola, Magister en Hidrosistemas, Actualmente estudiante del Doctorado de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana (ver hoja de vida adjunta).

Poseedor de amplia experiencia en estudios alrededor de los recursos naturales, con énfasis en recurso hídrico, allego a su despacho el concepto pericial solicitado por **ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P.**, realizado con ocasión del proceso de DEMANDA VERBAL DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL DE MAYOR CUANTÍA DE **CARLOS MARIO RIVERA MORA** CONTRA ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P – C.H.B.

1 MANIFESTACIÓN PREVIA

De acuerdo con lo consagrado en el Artículo 219 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo, manifiesto bajo la gravedad de juramento que:

- No estoy incurso en causal de impedimento legal para actuar como perito dentro del presente proceso.
- Acepto el régimen jurídico de responsabilidad de los auxiliares de la justicia.
- Tengo los conocimientos necesarios para rendir el experticio como Ingeniero Agrícola, Magister en Hidrosistemas, actualmente estudiante del Doctorado de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana. Poseedor de amplia experiencia en estudios ambientales (Hidrológicos e Hidráulicos).
- He actuado leal y fielmente en el desarrollo de mi labor, con **objetividad e imparcialidad**, tomando en consideración tanto lo que pueda favorecer como lo que sea susceptible de causar perjuicio a cualquiera de las partes.
- Afirmo que todos los fundamentos del presente informe son ciertos y fueron verificados por personal técnico de la empresa HIDROBIOSISTEMAS INGENIERÍA S.A.S, Ing. John Alexander Chavarro Díaz (Ingeniero Agrícola, Msc. Hidrosistemas) en **visita técnica al predio el Higuerón realizada el 4 de noviembre de 2023**.
- Los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones efectuados no son diferentes respecto de los que he utilizado en peritajes rendidos en anteriores procesos que versen sobre las mismas materias.
- Los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones efectuados no son diferentes respecto de aquellos que utilizo en el ejercicio regular de mi profesión u oficio.

- He sido designado en procesos anteriores o en curso por parte de ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P (antes EMGESA S.A. E.S.P.) y cuyos objetos se relacionan con la especialidad en Hidrología e Hidráulica.

2 EXPERIENCIA EN DICTAMENES PERICIALES

Desde 2018 a la fecha, he venido desarrollando ejercicios de peritaje con Enel Colombia S.A E.S.P. (Antes Emgesa S.A. E.S.P. y Codensa S.A. E.S.P.), AES CHIVOR & CIA SCA E.S.P, y el Instituto de Investigación CENIGAA.

Los objetos de estudio en los peritajes son el recurso hídrico asociado a elementos de infraestructura para generación hidroeléctrica como Embalses y/o sistemas de información como soporte para la toma de decisiones en eventos de riesgo de origen hidrometeorológico como se muestra a continuación:

DEMANDANTE	DEMANDADO	PROCESO No. (Año)	JUZGADO
AES CHIVOR CIA SCA ESP	CORPOCHIVOR (RES. 375/2019)	15001233300020200009400	Tribunal Administrativo de Boyacá
Alejandro Sánchez Guarnizo y Otros	ENEL COLOMBIA SA ESP	11001310301320190071800	Juzgado 28 Civil del Circuito de Bogotá
María Inés Yepes Quimbayo y Otros	Nación - Ministerio de Minas y Energía y Otro	73001-23-33-000-2019-00260-00	Tribunal Administrativo del Tolima
Luis Alfonso Marín Navarro	ENEL COLOMBIA SA ESP	11001310302820200002900	Juzgado 28 Civil del Circuito de Bogotá
Enel Colombia S.A. E.S.P. (antes Codensa SA ESP)	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR	25000-23-37-000-2019-00671-00	Tribunal Administrativo de Cundinamarca
Gobernación del Huila	Logística en Proyectos Integrales SAS & Técnicos en Comunicación SAS	Contrato 513 de 2015	Departamento Administrativo Jurídico - Gobernación del Huila

3 OBJETIVO

Elaborar un dictamen pericial hídrico de índole técnico cumpliendo con lo establecido en el Art. 226 del Código General del Proceso dentro del proceso de **DEMANDA VERBAL DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL DE MAYOR CUANTÍA DE CARLOS MARIO RIVERA MORA CONTRA ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P – C.H.B.**, referente a establecer las causas efectivas que condujeron a los fenómenos de inundación en el predio **EL HIGUERON**, en la vereda El Rincón Municipio de Aipe - Huila durante los días del **8 al 16 de diciembre de 2011**.

4 ALCANCE DEL DICTAMEN PERICIAL

Brindar soporte científico y técnico para establecer los **nexos de causalidad** entre la operación de la Central Hidroeléctrica de Betania operada por ENEL COLOMBIA S.A E.S.P. y los fenómenos de inundación en el tramo que corresponde al río Magdalena entre el punto de presa del Embalse de Betania y el municipio de Aipe-Huila – Vereda El Rincón

sobre el predio EL Higuerón (*tramo de interés*). Lo anterior, desde un enfoque hidrológico y de valoración de riesgo por inundaciones.

En este sentido, el sistema hidrológico, es analizado a través de los componentes involucrados en la dinámica del agua asociados a: **i)** sistema natural (la cuenca hidrográfica), **ii)** la infraestructura asociada al uso y aprovechamiento del recurso hídrico, y **iii)** las reglas que operan sobre el sistema (aspectos normativos), es decir, sobre las reglas de operación del embalse de Betania, así como también, los aspectos de ordenamiento ambiental (POMCAS) y del territorio (PBOT/EOT/POT).

5 METODOLOGÍA

El presente documento acoge el marco de análisis para la evaluación del uso del recurso hídrico propuesto por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (National Research Council 2002). A continuación, algunos aspectos claves del enfoque.

- El **SISTEMA NATURAL**, representado aquí por las cuencas hidrográficas que ofertan el volumen de agua que es aprovechado por las múltiples actividades productivas en territorio y que es analizado a través del ciclo hidrológico. De manera precisa, el ciclo hidrológico es la representación sistémica de la circulación del agua a través de los distintos componentes de la hidrósfera (océanos, mares, ríos, lagos, agua subterránea, hielo, nieve) y por supuesto, el agua contenida en la atmósfera y sus procesos de intercambio con la hidrosfera como la precipitación, la escorrentía y la evaporación a distintas escalas espaciales y temporales.
- De forma resumida, la escorrentía superficial es el resultado de la transformación del agua lluvia (precipitación) en los caudales que observamos transcurrir en un primer momento por las laderas de las montañas hasta alcanzar los cauces principales (caños, quebradas y ríos) en las cuencas hidrográficas. De esta manera, los ríos, de forma natural, incrementan sus volúmenes o caudales paulatinamente en la medida que el agua corre desde las montañas hasta los océanos en el sentido del gradiente altitudinal (desde lo más alto a lo más bajo).
- Este aumento natural de los caudales de los ríos se ve ampliado/modificado por la captura del agua lluvia de las mismas cuencas hidrográficas que confluyen al cauce, por ejemplo, todas las áreas de drenaje (áreas de captación de agua) de los cauces afluentes al cauce principal, en tanto mayor área de captación, mayor probabilidad de capturar más agua lluvia y mayor aporte de caudal al cauce principal. También, en tanto mayor sean las intensidades de lluvia (mayor volumen de precipitación por unidad de tiempo) mayor aporte de caudales al cauce principal (caudales instantáneos y/o torrenciales). Lo anterior ocurre de manera natural en el ciclo hidrológico que experimentamos día a día incluso en cuencas hidrográficas con poca o nula intervención antropogénica.
- Teniendo en cuenta el posterior enunciado y de frente a fenómenos de inundaciones, los principales procesos a ser tenidos en cuenta son las

precipitaciones y la escorrentía superficial en las escalas temporales adecuadas. Esto es, un contexto general a resolución mensual, y un análisis particular sobre la situación hidrometeorológica en el mes de diciembre de 2011.

- Por otra parte, **EL SISTEMA ANTRÓPICO** representado aquí por la **infraestructura** que hace uso de los servicios ecosistémicos que ofrece el sistema natural (*el agua como servicio de provisión, por ejemplo*), hace referencia a las características de las centrales hidroeléctricas presentes en el área de interés.
- Lo anterior resulta significativo debido a que este tipo de elementos de infraestructura pueden hacer cambios temporales en las características del sistema natural/biofísico de forma proporcionalmente inversa al punto más próximo donde se ubica la infraestructura, es decir, ante una perturbación del sistema natural de origen antrópico (entiéndase, por ejemplo, la retención de volúmenes de agua almacenados o descargados al cauce por parte de un embalse), **los cambios se evidencian de manera clara y con mayor intensidad inmediatamente después del punto de descarga** y su impacto se ve disminuido en la medida en que el cauce transita aguas abajo hasta, incluso, desaparecer. Un ejemplo muy didáctico es cuando lanzamos un objeto al centro de un lago. En este caso las ondas se definen muy bien muy cerca de donde cayó el objeto hasta desvanecerse unos metros o cientos de metros desde el punto de la perturbación dependiendo del tamaño y la fuerza con que fue lanzado el objeto (en términos técnicos esto se denomina atenuación de la onda cinemática o transito hidrológico).
- Por último, el **ELEMENTO NORMATIVO**, *incluyendo normas institucionales y los marcos de política pública*, en este caso representados por las reglas de operación de las centrales hidroeléctricas y los instrumentos de planeación y ordenación territorial (POMCAS, EOT, PMA, entre otros), respectivamente, **indican el cómo hacer uso del bien o servicio** y, por lo tanto, *tienen la capacidad de alterar el régimen natural de los sistemas en función del grado de intervención*.

El enfoque anterior, se plasmó en tres (3) capítulos (7, 8, 9) en el presente documento, como se expone a continuación:

- **CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA (CAPÍTULO 7):** hace referencia a la descripción y la revisión de características de la infraestructura asociada a la generación de energía de la Central Hidroeléctrica de Betania.
- **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMAS BIOFÍSICO (CAPÍTULO 8):** hace referencia a la descripción topológica de la red hidrográfica. Se enfocó en los análisis y caracterización del sistema hídrico en la cuenca alta del río Magdalena, es decir, al área que drena al **tramo de interés**, su variabilidad y la oferta luego de la entrada en operación de la Central Hidroeléctrica. Los análisis se fundamentaron en la información hidrometeorológica del IDEAM, Cartografía Oficial IGAC (Escala 1:100.000 y/o 1:25.000), estudios oficiales de las Corporaciones Ambientales Regionales (CARs), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituciones

que conforman el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Este apartado introduce al lector en el contexto espacial en donde se desarrollaron los hechos desde el punto de vista hidrológico.

- **CONTEXTO NORMATIVO (CAPÍTULO 9):** Se refiere a los **instrumentos de planificación y ordenación del recurso hídrico** en el área y tramo de interés a la que hace referencia el Decreto 1076 de 2015 plasmados en la Política Nacional del Recurso Hídrico, como, por ejemplo, **Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS)**. También, desde el lado territorial, los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) y/o Planes Municipales de Gestión del Riesgo. También se incluyen los **instrumentos de operación del Embalse de Betania**, específicamente el Manual de Operación vigente para la época de los hechos.
- Luego, el CAPÍTULO 10, expone el **análisis de las relaciones causales ante los fenómenos de inundación**. Esto incluye los análisis causa-efecto de los fenómenos de inundación y su relación con los procesos operativos de generación hidroeléctrica y la variabilidad hidroclimática en la cuenca alta del río Magdalena para el **periodo de diciembre de 2011**, con énfasis, los **días del 8 al 16 de diciembre**, de acuerdo con lo mencionado en los hechos de la demanda.

A continuación, se lista una serie de fuentes de información, elementos y/o métodos que determinaron el desarrollo operativo y estructuración técnico-científica del dictamen pericial desde un enfoque sistémico de uso del recurso hídrico incluyendo componentes de infraestructura, sistema biofísico y normativos.

- Visita de campo al predio realizada el **4 de noviembre de 2023**.
- Análisis de documentación aportada por las partes, en las diferentes etapas procesales.
- Consulta a la base Cartográfica Nacional a escala 1:100.000 y/o 1:25.000, elaborada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC y CORTOLIMA respectivamente, las coberturas del suelo e hidrografía básica (drenajes sencillos y dobles, embalses y demás sistemas hídricos que caracterizan la región de la cuenca alta del río Magdalena).
- Revisión del estudio Nacional del Agua 2018 (IDEAM 2018) elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM¹. Para jerarquizar la red hidrográfica del río Magdalena, así como la zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia (IDEAM 2013).
- Estudio de la red de estaciones de monitoreo hidroclimático disponibles en la cuenca alta del río Magdalena y selección de las de mayor representatividad en cuanto a medición de niveles, caudales y precipitaciones.
- Amparado en la Ley 1712 de 2014 – Ley de Transparencia, se puede consultar de manera gratuita la información Hidrometeorológica de la red de estaciones

¹ Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/agua/evaluacion-recurso-hidrico>

administradas por el IDEAM, mediante el Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH² y el reciente Sistema de Información para la gestión de datos hidrológicos y meteorológicos DHIME³.

- Aplicación de técnicas de análisis espacial a través de software especializados como QGIS 3.28 (QGIS Development Team 2020), para la visualización de la información cartográfica y salidas gráficas necesarias para dar respuesta al dictamen.
- Consulta a las fotografías aéreas disponibles en plataformas abiertas como Google Engine, Agencia Espacial Europea (ESA) y Earth Explorer, con el fin de determinar la dinámica multitemporal observada del área de interés.
- Estudio de la información de operación del embalse en el contexto de los reportes hidroclimáticos de la red de estaciones y de las alertas emitidas por el IDEAM.
- Recopilación y análisis de información relacionada con el ordenamiento del territorio y del recurso hídrico incluyendo además estudios técnicos y planes de manejo ambiental, como información de soporte para la evaluación de los niveles de amenaza y vulnerabilidad de la zona frente a amenazas por inundación.
- Manual de Operaciones vigente para fecha de los Hechos de la Central Hidroeléctrica de Betania, elaborado por INGETEC en el año 2003.

De acuerdo con la información recopilada y analizada, la cual soportan los conceptos técnicos desde la experticia y formación del perito, se presentaron conceptos basados en los datos y la ciencia sobre la causalidad de los fenómenos de inundación en el *tramo de interés* sobre el río Magdalena durante el periodo comprendido entre el 8 al 16 de diciembre de 2011.

Adicionalmente, en la medida en que se requirió, se ampliaron otros conceptos técnicos que son necesarios y que buscan que el lector comprenda fácil y rápidamente el presente documento sin ser un experto en recursos hídricos.

Así mismo, se recomienda la lectura de las descripciones de las imágenes y figuras, las cuales fueron diseñadas para un rápido y fácil entendimiento de los aspectos clave que se quieren analizar.

6 MARCO CONTEXTUAL

De acuerdo con la sección de hechos narrados en el documento de la demanda, el área de estudio se delimita hasta el municipio de Aipe, Vereda El Rincón, predio EL HIGUERON⁴ en el departamento del Huila como el lugar donde ocurrieron las inundaciones a causa,

² <http://sirh.ideam.gov.co/Sirh/faces/observatorioSuperficiales.jspx>

³ <http://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/>

⁴ Código Catastral No. 410160001000000020081000000000

según el demandante “con ocasión y por motivo de una inundación o avalancha artificial ... debido al manejo inadecuado de los niveles del embalse ...”⁵.

Más adelante en el mismo documento de la demanda del 19 de abril de 2022, específicamente, indica en la sección III HECHOS QUE FUNDAMENTAN LAS PRETENSIONES numeral 6, que la inundación a causa del **desbordamiento súbito⁶ del río Magdalena**, obedeció al manejo de las compuertas y niveles del embalse de Betania **durante** los días del **8 al 16 de diciembre de 2011**. De esta manera, se entiende que el fenómeno de inundación se generó de forma tal que fue imposible de anticipar y que tuvo su génesis a partir de los manejos operativos de la Central Betania previos al 8 de diciembre de 2011.

De esta manera, los hechos **delimitan espacialmente** el área de análisis en el departamento del Huila entre el Punto B donde se ubica el Embalse de Betania (ver **Figura 6-1**) y el Punto A, predio EL HIGUERON (ver **Figura 6-1**) sobre la margen izquierda del río Magdalena unos 104 kilómetros aguas abajo del Embalse de Betania.

Según los planos aportados y la **visita de campo** realizada el pasado 4 de noviembre de 2023, el predio EL HIGUERON se localiza sobre la margen izquierda del río Magdalena (**Punto A Figura 6-1**) luego de la confluencia del río Aipe al río Magdalena y otras afluencias menores como las Quebradas La Bambuca, La Venta (margen derecha del río Magdalena) y **La Canchosa** sobre la margen izquierda del río Magdalena según se infiere de la cartografía oficial IGAC escala 1:100.000.

Esta última, **La Quebrada La Canchosa** (mencionada como Quebrada El Higuerón en los anexos de la demanda, ver **Figura 6-2**) conforma el lindero del predio por el norte, este punto se abordará con mayor detalle en la descripción de la visita técnica realizada.

⁵ Folio 3 documento DEMANDA19042022_110959.pdf de abril 19 de 2022

⁶ El desbordamiento súbito significa que los incrementos en los niveles del río suceden de forma muy rápida de tal forma que es imposible anticiparlos.

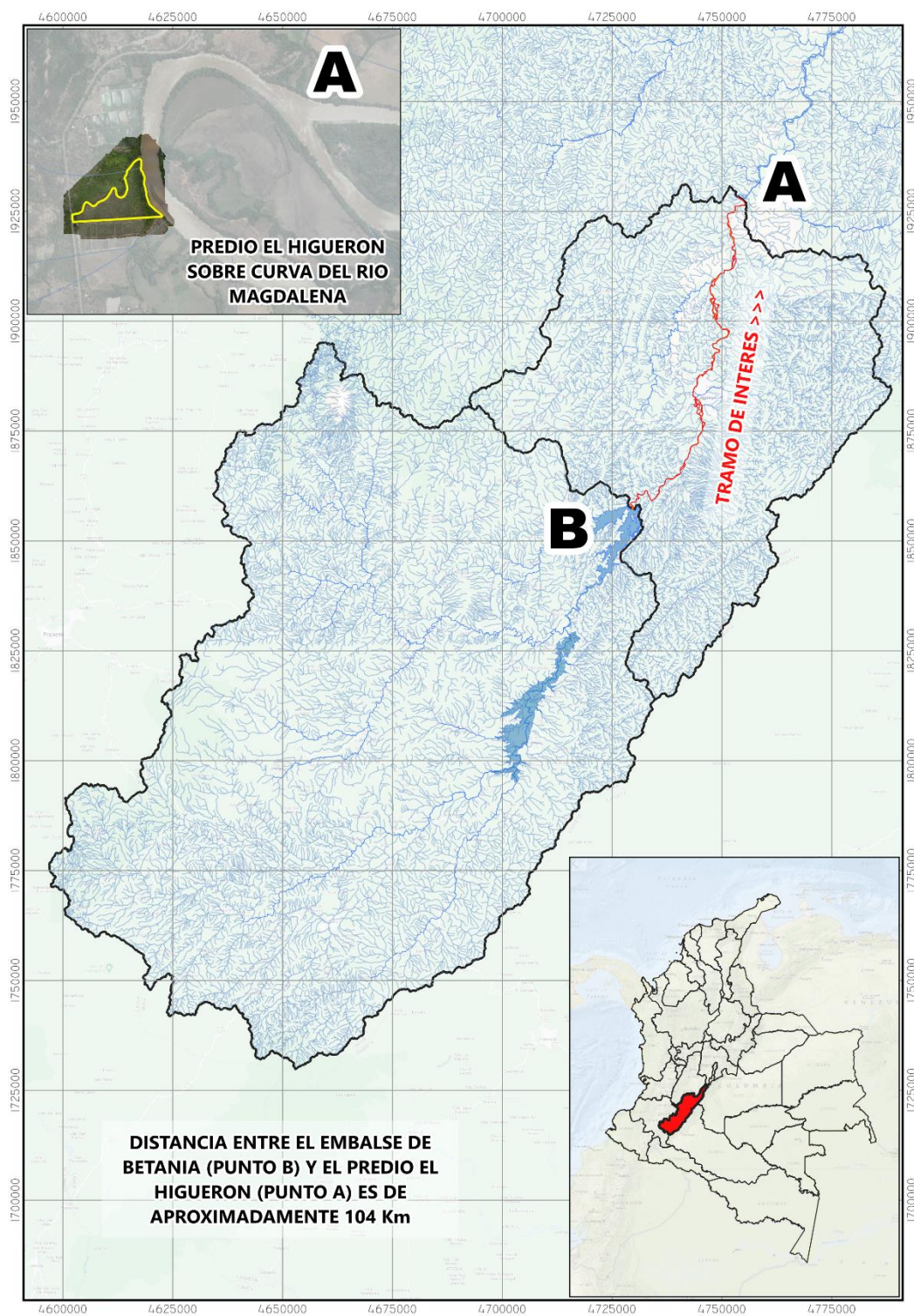


Figura 6-1. Localización general del área de estudio. El predio EL HIGUERON (Punto A) sobre la margen izquierda del río Magdalena. Luego, el Punto B representado por el Embalse de Betania se localiza unos 104 km aguas arriba (tramo en rojo) del Punto A. Los polígonos delineados en negro demarcan las cuencas hidrográficas del río Magdalena hasta el punto del Predio EL HIGUERON agregando un área de drenaje de 18,652 km².

6.1 VISITA DE CAMPO

Durante el 4 de noviembre de 2023, se realizó por parte del Ing. John Chavarro *-integrante del equipo profesional de esta compañía-*, la visita de campo al predio EL HIGUERON, mencionados por el demandante y donde sucedieron los eventos de inundaciones entre el 8 al 16 de diciembre de 2011. La visita estuvo acompañada por el Sr. John Repizo delegado por el Dr. Nofal José Ospina Perales.

La visita tuvo como objetivo conocer los aspectos del paisaje y relieve de la finca, así como también aspectos topográficos y las condiciones de linderos en especial los relacionados con los receptores de los drenajes del predio.

El ejercicio de inspección visual se complementó con la toma de imágenes realizadas con Vehículo Aéreo No Tripulado DJI Phantom (Dron), el cual permitió evidenciar el contexto de drenaje del predio frente al río Magdalena en el momento de la visita.

Adicionalmente, previamente se recopiló información secundaria de apoyo a la visita, como, por ejemplo, un plano del predio aportado por el demandante en los anexos de la demanda, las manchas de inundación determinadas por el IDEAM para el año 2011⁷.

Previo a la visita de campo, el plano aportado por el demandante fue digitalizado y confrontado con la información de contexto, como, por ejemplo, las manchas de inundación definidas por el IDEAM.

También, se realizó la consulta de imágenes de satélite disponibles para el segundo semestre de 2011. Lo anterior con el objetivo de identificar si las zonas resaltadas en el plano por el demandante posteriormente fueron identificadas por el IDEAM como zonas inundadas durante el 2010 y 2011. Además, para identificar los linderos y coberturas vegetales de los lotes definidos como afectados por el demandante y su cercanía al río Magdalena para el año 2011.

⁷ Los mapas de inundación a escala 1:100.000 están disponibles para 22 departamentos de Colombia y se basan en la interpretación de imágenes de sensores remotos para los años 1988, 2000, 2011 y 2012 (*interpretación realizada con imágenes obtenidas entre diciembre 2010 - julio 2011*). Esta cartografía cuenta con una interpretación casi del 100% del área total de cada departamento y muestra de manera clara aquellas superficies cubiertas por espejos de agua, así como las coberturas que por sus condiciones edafogenéticas favorecen la ocurrencia de procesos de inundación, por ejemplo las zonas pantanosas. A su vez, permite estimar el área respectiva que está asociada a cada evento en particular. Disponibles en <http://www.siac.gov.co/documents/670372/36170668/03+tolima+2011.pdf/37208776-69e3-41c8-b648-965822294c05>.

La

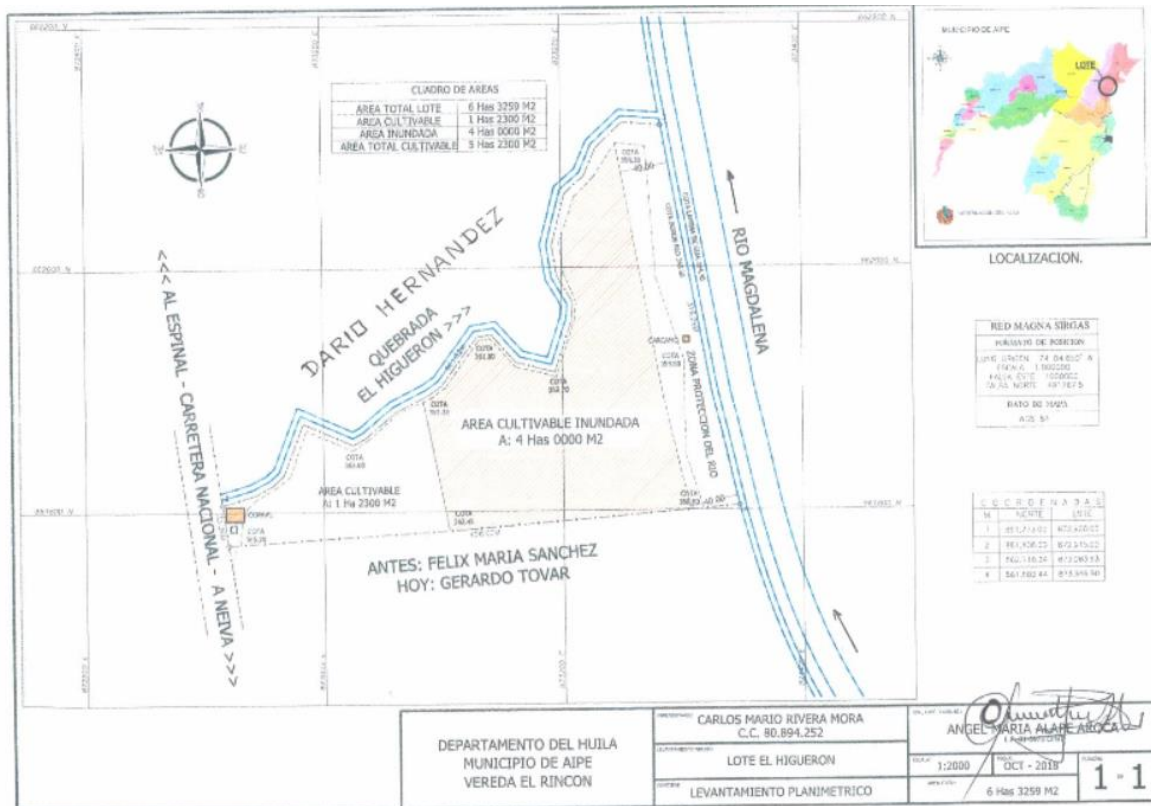


Figura 6-2 muestra los planos aportados en el proceso de la demanda. La ubicación exacta de los predios *a priori*- EL HIGUERON (410160001000000020081000000000), fue posible gracias al plano aportado. El código catastral del predio fue identificado como 410160001000000020081000000000 en el geoportal del IGAC disponible a través de internet⁸, sin embargo, el predio aparece englobado en uno de mayor área (77 hectáreas).

⁸ <https://www.colombianmapas.gov.co/?e=-75.31905829576866,3.310721755814393,-75.12937247423571,3.3739570545598374,4686&b=igacsatelite&u=0&module=catastral&npredial=410160001000000020081000000000>

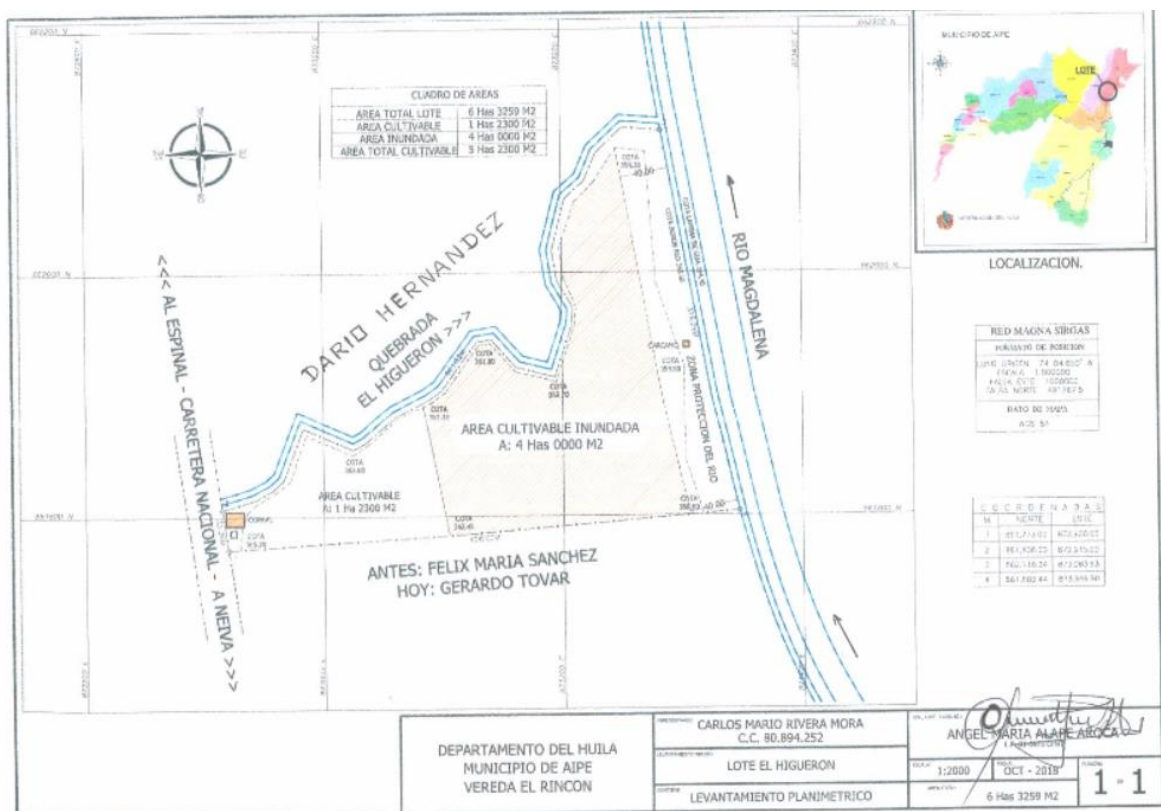


Figura 6-2. Predio EL HIGUERON.
Fuente: Anexos de la Demanda Folio 20.

En la **Figura 6-3**, se presenta la superposición del polígono de los predios indicados como afectados (punto en rojo), la mancha de inundación identificada por el IDEAM por los eventos de inundación del 2010 – 2011 y las escenas disponibles del sensor Landsat ETM+7 para el periodo de los hechos. Como se puede observar la disponibilidad de escenas desde sensores remotos fue limitada y no cubrió *-para el periodo de los hechos-*ninguna imagen. No obstante, se puede observar de las escenas disponibles una alta nubosidad sobre la costa del pacífico mientras que en el valle del Magdalena el porcentaje de nubes se reduce significativamente hacia el río Magdalena. Esta situación será corroborada mediante los valores de precipitación de las estaciones de monitoreo en diciembre de 2011.

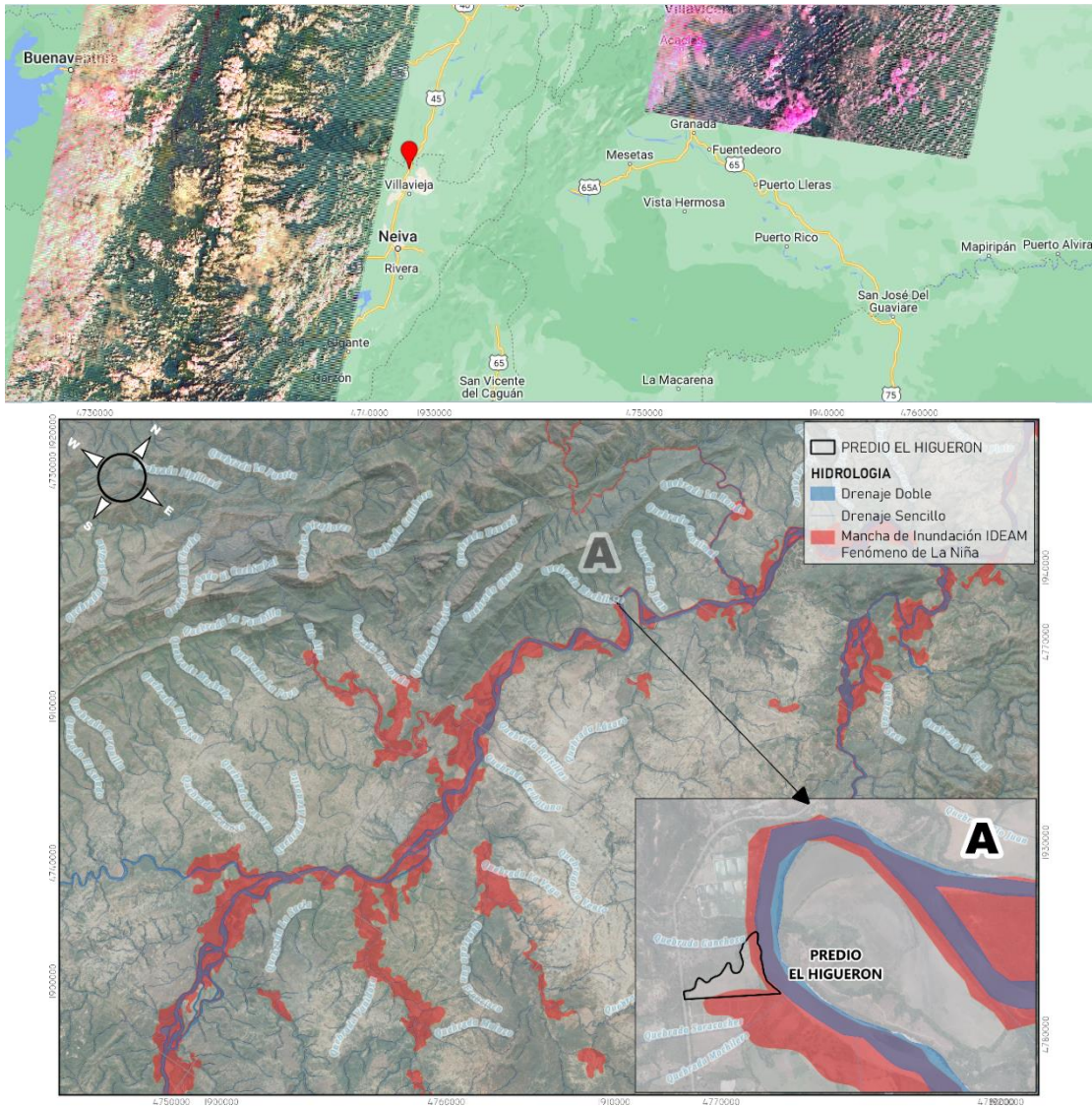
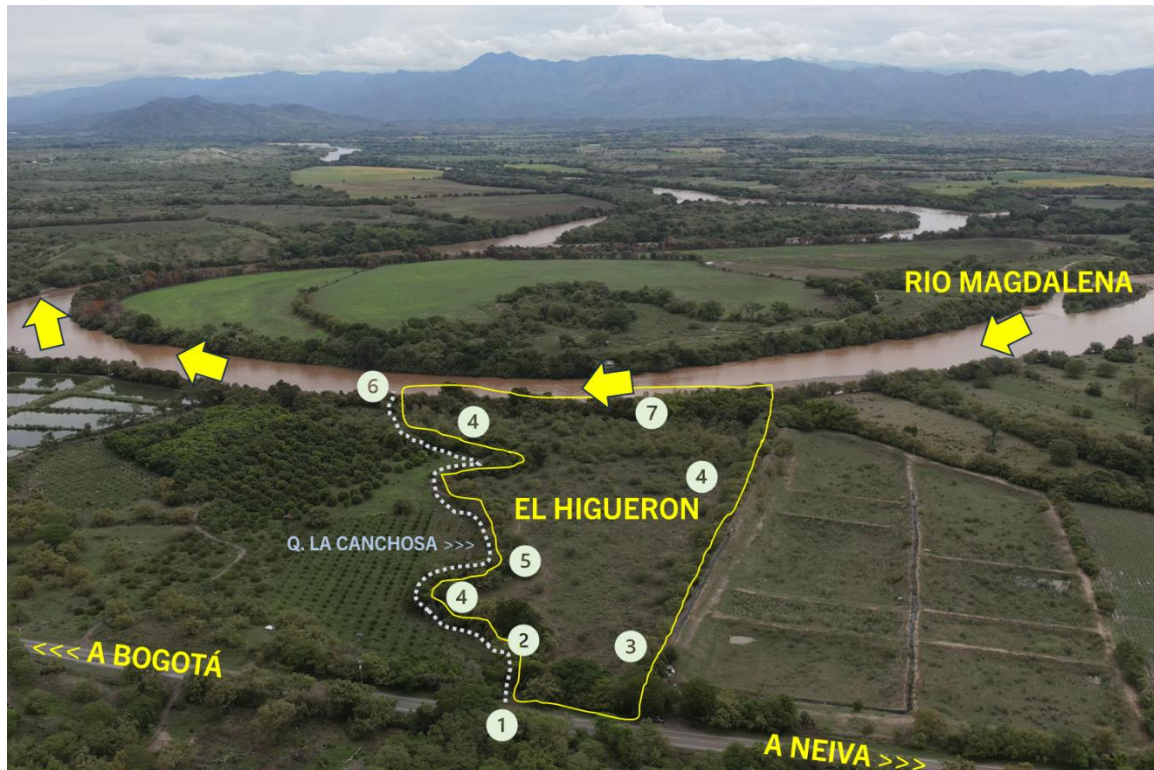


Figura 6-3. Arriba. Consulta Imágenes Landsat disponibles para el periodo de los hechos (08.Dic.2011 – 16.Dic.2011). Abajo. Manchas de Inundación determinadas por el IDEAM para el Fenómeno de La Niña 2010-2011

El análisis de las evaluaciones realizadas por el IDEAM respecto a las manchas de inundación potencial durante el fenómeno de La Niña 2010-2011 indican que el predio no fue afectado por los fenómenos de inundación de este periodo de máxima humedad. Si bien algunas áreas (en rojo en la figura) se superponen con el polígono del predio EL HIGUERON, esto puede obedecer a efectos de la escala del estudio. De hecho, en el contexto regional, se observa que en las llanuras de inundación del río Magdalena aguas arriba del predio EL HIGUERON fueron en efecto afectadas según el IDEAM, mientras que sobre el tramo del río Magdalena en linderos con el predio, la planicie de inundación se reduce y, por lo tanto, la mancha de inundación corresponde básicamente a la corriente principal del río Magdalena.

Por otra parte, sobre las imágenes tomadas desde aire en desarrollo de la visita de campo, se realizan los siguientes comentarios:



Fotografía 1. Vista Panorámica tomada con Dron DJI el 5 de noviembre de 2023⁹ desde la margen izquierda del río Magdalena con vista hacia el nororiente. Se puede observar que el predio El Higuérón está limitado por el costado oriental por el río Magdalena y por el costado norte con la Quebrada La Canchosa según cartografía IGAC. El predio presenta una condición de drenaje natural moderada con una pendiente general hacia el río Magdalena.



Fotografía 2. Boxculvert sobre la vía Neiva-Bogotá (Punto 1 referenciado en la Fotografía 1). Se observa la gran capacidad de la obra hidráulica para habilitar el paso de la Quebrada La Canchosa al río Magdalena.

⁹ El día 4 de noviembre no fue posible realizar los vuelos con el Dron dado las condiciones de lluvia al momento de la visita, sin embargo, el equipo regreso el 5 de noviembre y realizó el vuelo.



Fotografía 3. Arriba. Sección hidráulica de la Quebrada La Canchosa en el **Punto 2** **referenciado en la Fotografía 1.** Al momento de la visita, la quebrada no presentaba flujo superficial en su cauce. Se infiere entonces por la cuenca de drenaje asociada y el régimen de precipitaciones en la zona, que esta es de carácter intermitente. No obstante, se pueden observar el material de arrastre de la quebrada en sus avenidas torrenciales arrastrando material grueso de hasta 50 cm de diámetro y de peso considerable, lo cual demuestra la fuerza del agua derivada de los volúmenes pico que se pueden generar debido a altas intensidades de lluvia en la quebrada La Canchosa, lo que, sumado a tiempos de concentración pequeños debido al tamaño de la cuenca, detona en lo que se denomina una avenida torrencial.



Abajo. Se observa la diferencia de nivel entre la sección hidráulica de la quebrada La Canchosa y el nivel del predio El Higuérón, se estima que esta diferencia puede oscilar alrededor de los 1.20 a 1.5 metros, no obstante, durante el recorrido se pudo observar que la sección hidráulica de la quebrada varía en tanto ancho y profundidad. De esta manera, **se infiere que las crecidas de esta quebrada son significativas** en tanto que la capacidad hidráulica del Boxculvert a la entrada del predio así lo sugiere, así como también, el tamaño del material de arrastre de la quebrada, la pendiente estimada en un 2% acorde con el modelo digital de terreno ALOS PALSAR y la sección hidráulica de la quebrada observada durante el recorrido.



Fotografía 4. Vista General del Predio El Higuerón el día de la visita el 4 de noviembre de 2023 (Punto 3 en la Fotografía 1). Se observa el relieve plano ligeramente inclinado del predio.



Fotografía 5. Durante el recorrido se evidenciaron encharcamientos en el predio y vecindades (Punto 4 en la Fotografía 1). Vale la pena aclarar que, durante el recorrido y la noche anterior, se presentaron algunas precipitaciones. Lo anterior, y teniendo en cuenta el drenaje general del predio plantea algunas limitaciones del drenaje vertical del predio (procesos de infiltración del agua en el suelo).



Fotografía 6. Jarillón de Riego bordeando la Quebrada La Canchosa (Punto 5 en la Fotografía 1). Durante el recorrido y en algunos tramos se evidencia la existencia de un jarillón con fines de riego.



Fotografía 7. Descarga de la Quebrada La Canchosa sobre el río Magdalena (Punto 6 en la Fotografía 1). A pesar de que, en la parte de la cabecera del predio, la quebrada no presentaba flujo superficial, sobre la descarga con el río Magdalena, se observó la descarga de flujo.



Fotografía 8. Perfil Transversal del Predio El Higuierón con el Río Magdalena (Punto 7 en la Fotografía 1). **Arriba.** Vista de perfil del final del predio El Higuierón con el río Magdalena, como se puede apreciar, la diferencia de nivel entre el río Magdalena y el plano general del predio es de alrededor de 5-6 metros. **Abajo Izquierda.** Nivel del río Magdalena el 4 de noviembre de 2023. **Abajo Derecha.** Se observa el nivel inicial de la infraestructura de riego y el aumento que surgió luego de los eventos de inundación según narró el acompañante en la visita el Sr. Jhon Repizo.

6.2 ANÁLISIS DESDE SENSORES REMOTOS

Este proceso incluyó la consulta de imágenes de sensores remotos accesibles vía internet en plataformas como Google Engine (<https://earthengine.google.com/>) ampliamente usada para la adquisición de imágenes satelitales (RapidEye, Sentinel 2, Landsat, entre otras) y otras fuentes como la USGS y su plataforma EarthExplorer (www.earthexplorer.usgs.gov) con imágenes Landsat 7 +ETM C1 Level-1. Desafortunadamente, no se identificaron escenas desde sensores remotos disponibles para el periodo entre el 8 de diciembre y el 16 de diciembre de 2011 que permitieran corroborar las condiciones de inundación narradas por en el documento de la demanda.

Este punto es crucial en el análisis pericial, dado que de acuerdo con el plano aportado por el demandante y mostrado en este informe en la **Figura 6-2**, la cota de lámina de agua del río Magdalena es la 354.30 y la cota hasta donde llegó la inundación es la 362.45, es decir, **que el incremento en niveles del río Magdalena debió ser del orden de 8.15 metros respecto del nivel actual** para lograr inundar el predio El Higueron. Este incremento de nivel en un cuerpo de agua como el río Magdalena, a priori, del orden de los 8 metros implicaría una inundación de escala regional. Ahora bien, sobre las variaciones de nivel del río Magdalena, más adelante en el Capítulo 10 se realiza el análisis de las variaciones de nivel sobre estaciones de monitoreo hidrológico del IDEAM sobre el río Magdalena, en específico, sobre las estaciones La Esperanza, Puente Santander y La Angostura.

En resumen, sobre la visita de campo se resaltan los siguientes elementos:

- Sobre la dinámica del río Magdalena en el tramo cercano al predio EL HIGUERON, aguas abajo y aguas arriba. El cauce del río, actualmente, se encuentra **consolidado en un solo cauce principal en zona de una curva pronunciada del río Magdalena**. Además, las evaluaciones realizadas por el IDEAM en el trabajo de identificación de las manchas de inundación para el fenómeno de La Niña 2010-2011, se infiere que el predio no presentó afectación durante el fenómeno de La Niña 2010-2011.
- Para el día de la visita, el río Magdalena presentaba **altos niveles**, sin embargo, **no se evidenció desbordamiento** del río Magdalena en ninguna de sus márgenes tanto a izquierda como a derecha. No obstante, se observaron encharcamientos en el predio EL HIGUERON, lo cual puede ser asociado a las altas lluvias de los últimos meses, y/o niveles freáticos altos dada la cercanía con el río Magdalena y/o la Quebrada La Canchosa.
- La **Quebrada La Canchosa** presenta una capacidad de flujo significativa en periodos de alta intensidad de precipitación y, por lo tanto, puede estar sujeta a eventos torrenciales que pueden afectar las condiciones de drenaje del predio en combinación con las condiciones del río Magdalena.

7 CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDROELÉCTRICA

La Represa de Betania, está localizada en el departamento del Huila, es un embalse construido en la desembocadura del río Yaguará en el Magdalena, en los municipios de Campoalegre, Hobo y Yaguará. La represa se ubica 35 km al sur de Neiva. El embalse posee varios fines, entre ellos, la generación de energía eléctrica, **amortiguación de crecientes súbitas en río Magdalena**, riego agrícola y piscicultura. La Central Hidroeléctrica de Betania consta de un embalse, una casa de máquinas, un vertedero de borde libre, un vertedero controlado por compuertas y una descarga de fondo.

- **EMBALSE:** El embalse tiene una capacidad de 1627 hm³ a la cota 561.2 msnm (nivel máximo normal de operación, sin vertimientos) y de 718 hm³ a la cota 544.0 msnm (nivel mínimo de operación), con un volumen útil de 909 hm³.
- **CENTRAL:** La central consta de tres unidades generadoras de 180 MW cada una, constituidas por una turbina Francis de eje vertical, acopladas directamente a un generador de corriente alterna del tipo convencional. Cada unidad se alimenta independientemente por un túnel de conducción de 570 m que tiene una capacidad sumergida provista con rejas de coladera, una almenara y un pozo de compuertas constituido por una compuerta principal de ruedas y una compuerta deslizando auxiliar para cierre del conducto.
- **VERTEDERO LIBRE:** El vertedero de borde libre está ubicado a la derecha del vertedero de compuertas y tiene un ancho de cresta de 80 m el cual se reduce gradualmente mediante paredes laterales hasta alcanzar 50 m en la parte final. Su cresta está en la cota 561.2 msnm. La rápida tiene una longitud de 610 m y termina con un deflector de chorro que lanza el agua a un pozo de impacto ubicado sobre la cota 480 msnm.
- **VERTEDERO DE COMPUERTAS:** El vertedero de compuertas está conformado por cuatro compuertas radiales cada una de 10.5 m de ancho, 15.9 m de alto y 16 m de radio; la cresta del vertedero se encuentra a la cota 548 msnm y el borde superior de las compuertas a 563.9 msnm cuando están cerradas. La rápida tiene una longitud de 230 m y al final empalma con un deflector de chorro que lanza el agua a un pozo de impacto ubicado a la cota 470 msnm.
- **COMPUERTAS DE FONDO:** Uno de los túneles de desviación utilizados durante la etapa de construcción de la presa, el número uno, fue habilitado para descarga de fondo. El sistema de compuertas de descarga de fondo no se utilizará para el manejo de crecientes.

En la **Figura 7-1** se pueden identificar cada uno de los elementos integrantes de la Central Hidroeléctrica de Betania. El sistema hidrológico del Embalse está comprendido por el represamiento de las aguas del río Magdalena (luego de la descarga del Embalse del Quimbo) y el río Yaguará.

Las cotas claves para efecto del estudio, según lo indicado en el Manual de Operaciones elaborado por la firma **INGETEC en el año 2003 y vigente para el año 2011**, son, por ejemplo, las cotas a las cuales el embalse empieza el vertimiento de aguas como se muestran en la **Figura 7-2**.



Figura 7-1. Identificación de obras de la Central Hidroeléctrica de Betania.
Fuente: ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P.

De esta forma, se aclara que además del caudal turbinado (volumen de agua que se capta a través de los túneles de conducción y que luego de generar energía es descargada al río Magdalena), el embalse de Betania tiene dos alternativas de vertimientos, i) caudal que se evacua por el vertedero de borde libre, y ii) las compuertas.

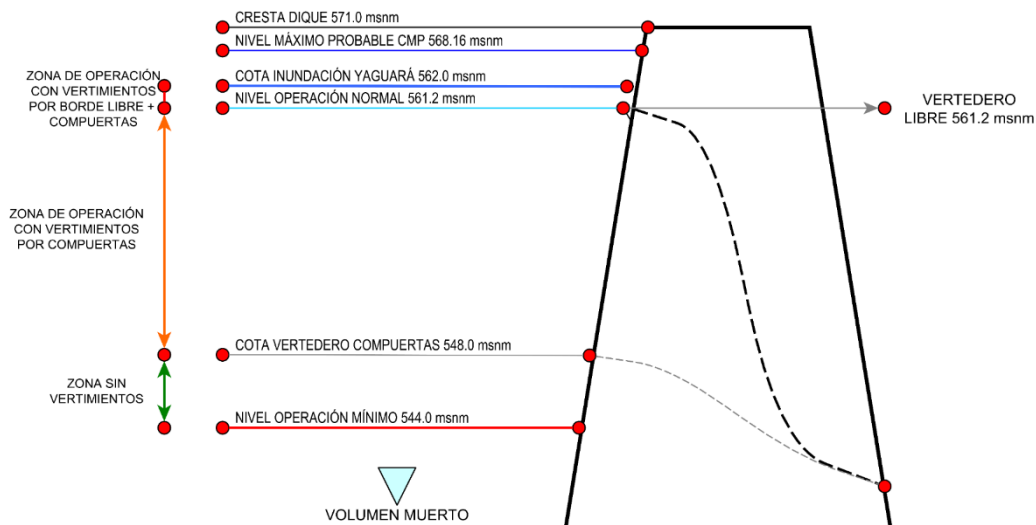


Figura 7-2. Esquema de las cotas críticas de operación del embalse.

8 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA BIOFÍSICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA HASTA EL PREDIO EL HIGUERÓN

Los hechos de la demanda circunscriben el presente dictamen al estudio de fenómenos de inundación. De esta forma, y al analizar lo concerniente al recurso hídrico es necesario comprender el concepto del ciclo hidrológico del agua y cuenca hidrográfica.

De acuerdo con, el Tesauro Ambiental para Colombia desarrollado en su momento por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT 2005). El ciclo hidrológico hace referencia a la “sucesión periódica de etapas por las que pasa el agua, tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera. Empieza con la evaporación de los cuerpos de agua, le siguen la condensación, proceso por el cual se forman las nubes, la precipitación y por último la acumulación en la tierra o en cuerpos de agua”. En la Figura 8-1, se pueden apreciar los principales componentes del ciclo del agua.

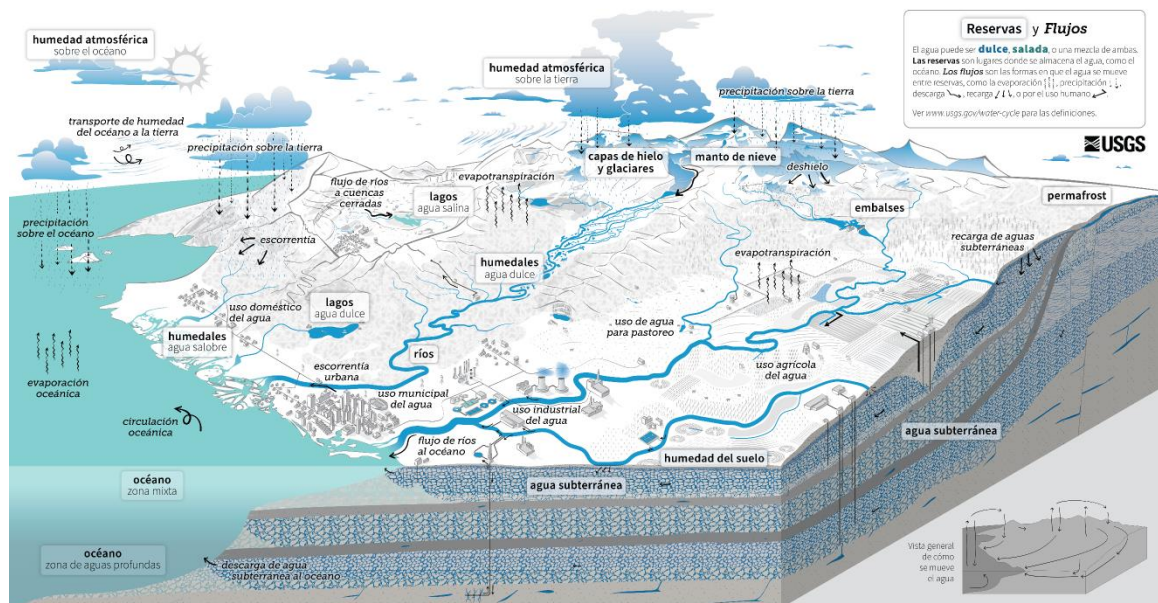


Figura 8-1. El Ciclo del Agua.

Fuente: (USGS VizLab 2022)

Otro concepto importante es el de cuenca hidrográfica. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cuenca hidrográfica se refiere al “recurso hídrico comprendido en un área física geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural. Territorios bañados por un río y sus afluentes, así como el mismo curso fluvial. Para efectos de planificación, ordenamiento y gestión ambiental la cuenca es una unidad de territorio donde las aguas fluyen naturalmente en

un sistema interconectado y en el cual interactúan uno o varios elementos biofísicos, socioeconómicos y culturales” (MAVDT 2005). La **Figura 8-2**, resume los elementos principales mencionados en la definición del Ministerio.



Figura 8-2. Esquema de una cuenca hidrográfica.

Fuente: (Planas-Fajardo et al. 2015)

*Del concepto se puede inferir que la evaluación del recurso hídrico en un punto específico de la cuenca debe contemplar los **efectos acumulativos** al punto donde fluyen todos los tributarios al cauce principal.*

Para el caso puntual, se hace necesario evaluar los fenómenos de inundación en el Predio EL HIGUERON, en el municipio de Aipe-Huila, y **evaluar las condiciones hidrológicas y meteorológicas** del cauce principal en el tramo de interés (río Magdalena tramo en rojo **Figura 6-1**) y sus tributarios el predio El Higuerón.

8.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS AGUAS ABAJO DEL EMBALSE Y HASTA EL PREDIO EL HIGUERÓN

El primer punto, es la identificación de las cuencas hidrográficas que delimitan espacialmente el análisis de las relaciones de causalidad de la inundación, entre el embalse de Betania y el punto de interés representado por el predio EL HIGUERÓN (**Figura 8-3**).

La **Figura 8-3** muestra el área que drena por el río Magdalena hasta el punto de interés denominado **A** (área en verde más área en amarillo) **la cual asciende a 18,652 km²**. El insumo base para la realización de las delimitaciones de las cuencas hidrográficas son los modelos digitales de terreno de distribución gratuita como el SRTM (NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) 2015), la red de estaciones del IDEAM (como puntos de cierre de la delimitación) y la ubicación del predio EL HIGUERON.

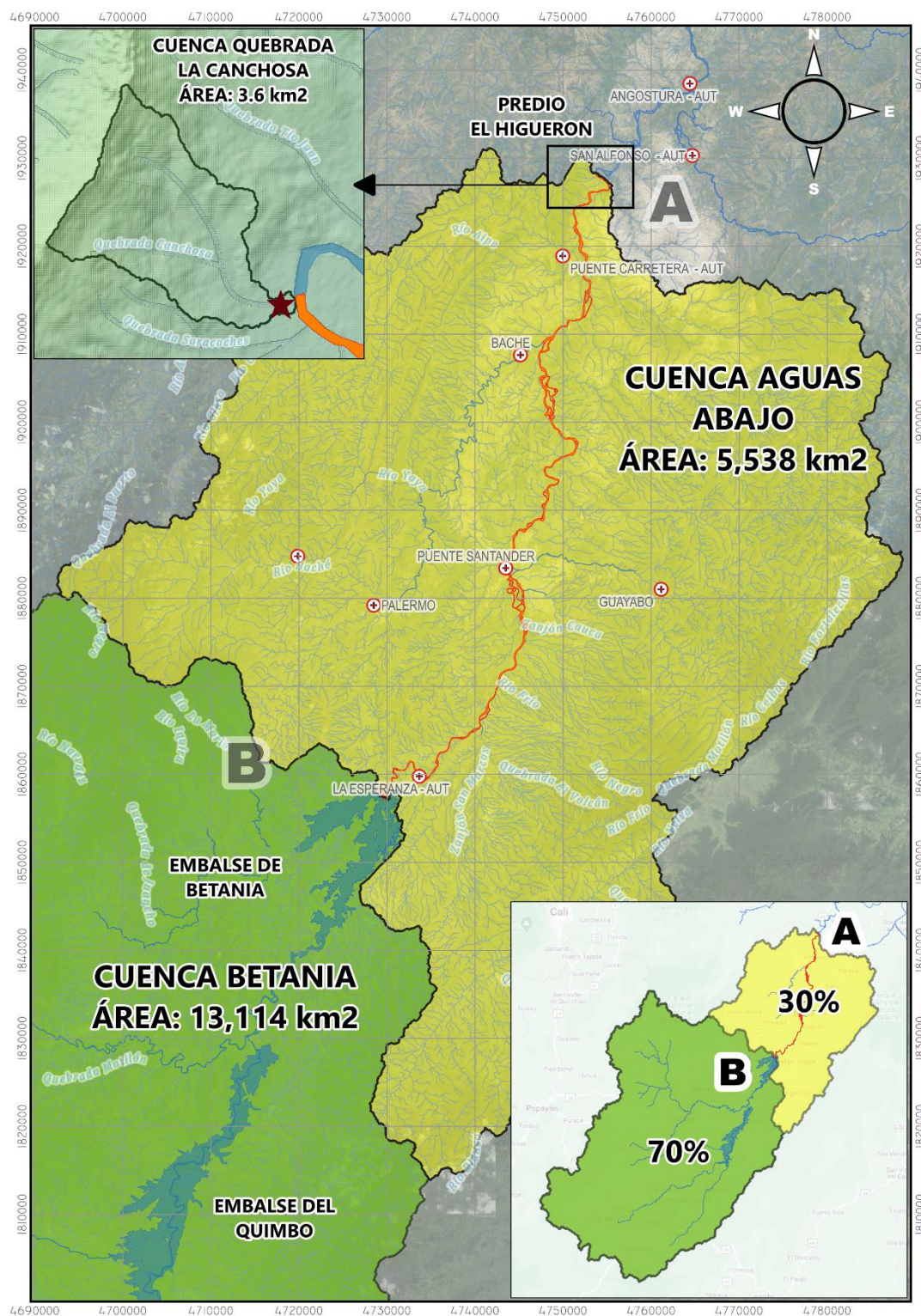


Figura 8-3. Cuena hidrográfica del río Magdalena con punto de cierre en el predio EL HIGUERÓN (Punto A). Recuadro **Abajo Derecha** Relación de las cuenas hidrográficas aguas arriba (Verde) y aguas abajo (Amarillo). **Arriba Izquierda.** Cuena de la Quebrada La Canchosa.

En la misma figura **Figura 8-3, en el recuadro Abajo Derecha**. El área en verde corresponde a la cuenca que drena sus aguas al embalse de Betania (Punto B). El área en amarillo corresponde a la cuenca hidrográfica **intermedia** entre el embalse de Betania y el predio EL HIGUERÓN (intercuenca según el término utilizado por el IDEAM para este tipo de áreas de drenaje). En rojo, el cauce principal del río Magdalena entre el embalse de Betania y el predio EL HIGUERÓN (104 km de recorrido sobre el río Magdalena aguas debajo de Betania). El caudal que fluye del río Magdalena en cercanías del lindero oriental de la finca es el resultado de la sumatoria de los escurrimientos de las áreas en verde (**13,114 km² ~70%**) y amarillo (**5,538 km² ~30%**). **Recuadro central**. En detalle el tramo de interés correspondiente al río Magdalena entre el punto de presa del embalse de Betania y el predio EL HIGUERÓN (~104 km). Se resaltan los puntos de monitoreo hidrológico sobre el río Magdalena de la red de estaciones nacionales operadas por el IDEAM (**Tabla 8-1**). Como se puede apreciar, el primer punto de monitoreo oficial es la estación La Esperanza (21097120) seguida de la Estación Puente Santander (21097070). **Recuadro Arriba Izquierda**. Se presenta un acercamiento del predio EL HIGUERÓN, el río Magdalena y la cuenca hidrográfica de la Quebrada La Canchosa (3.6 km²). Se destaca la afluencia del río Baché, Aipe, Fortalecillas y Las Ceibas como los principales afluentes al río Magdalena en el tramo de interés (entre Betania y el predio El Higuierón).

8.2 ESTIMACIÓN DE AFLUENCIAS (CAUDALES) EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

El segundo aspecto, es la caracterización de los escurrimientos que suceden en el río Magdalena. En este sentido, a partir de la delimitación de las cuencas mostrada en la **Figura 8-3**, y mediante la selección de las estaciones de tipo hidrológica dentro de las cuencas se logró identificar las principales estaciones de monitoreo sobre el cauce principal del río Magdalena y principales tributarios como se muestra en la **Tabla 8-1**. Tanto las series de caudales de resolución diaria y mensual para el periodo entre 1987¹⁰-2021, así como también la ubicación de las estaciones fueron obtenidas desde los sitios que dispone el IDEAM para tal fin en el SIRH y el DHIME¹¹.

Tabla 8-1. Principales Estaciones de Monitoreo Hidrológico de la red IDEAM

CODIGO	NOMBRE	LAT	LONG	Área Parcial [km ²]	CAUDAL MEDIO ANUAL [m ³ /s]
21097120	LA ESPERANZA	2.7284	-75.3964	13,195.01	398.26
21107040	POTOSI HDA	2.7000	-75.3000	142.96	
21107020	PTE MULAS ¹²	2.5664	-75.3743	618.68	16.1
21097010	EL JUNCAL	2.8040	-75.3269	14,356.80	
21117170	LAS JUNTAS	2.7667	-75.2167	51.53	
21117080	GUAYABO	2.9211	-75.1497	223.91	4.61
21097070	PTE SANTANDER	2.9426	-75.3085	15,127.32	489.57
21127040	BACHE ¹³	3.1667	-75.3000	1,154.77	27.32
21137030	PTE CARRETERA	3.2634	-75.2510	659.73	15.51

¹⁰ Año de entrada en operación de la Central hidroeléctrica de Betania

¹¹ <http://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/>

¹² Periodo Histórico

¹³ Periodo histórico previo a la entrada en operación de Betania

CODIGO	NOMBRE	LAT	LONG	Área Parcial [km ²]	CAUDAL MEDIO ANUAL [m ³ /s]
21147010	SAN ALFONSO	3.3705	-75.1142	2,724.05	78.66
21137050	LA ANGOSTURA	3.4432	-75.1188	22,278.75	605.27
21137010	PURIFICACIÓN AUT	3.8495	-74.9358	25,498.50	790.99

Los resultados de la búsqueda de información permitieron identificar los caudales característicos en condiciones medias anuales (**condición promedio**) de los principales ríos en el área de interés. En condiciones normales (sin afectaciones por fenómenos macroclimáticos como el Niño o La Niña), los volúmenes que drenan las corrientes afluentes al río Magdalena hasta el Embalse de Betania explican alrededor del **67%** del caudal que fluye por el río Magdalena a la altura del predio EL HIGUERÓN. **El caudal medio anual que fluye por el río Magdalena en cercanías del predio fue estimado en 580.9 m³/s** a partir de un análisis regional a través regresiones lineales como la presentada en la **Figura 8-4**, la cual se construyó con los datos recopilados para este peritaje y los cuales se anexan a este documento. Este método, muy sencillo, relaciona las áreas de drenaje y los caudales asociados a los puntos de monitoreo hidrológico, esto es conocido como relaciones área-caudal (Gianfagna et al. 2015; Spence and Mengistu 2017; Ven Te Chow, Maidment, and Mays 1994) como se muestra en la **Figura 8-4**.

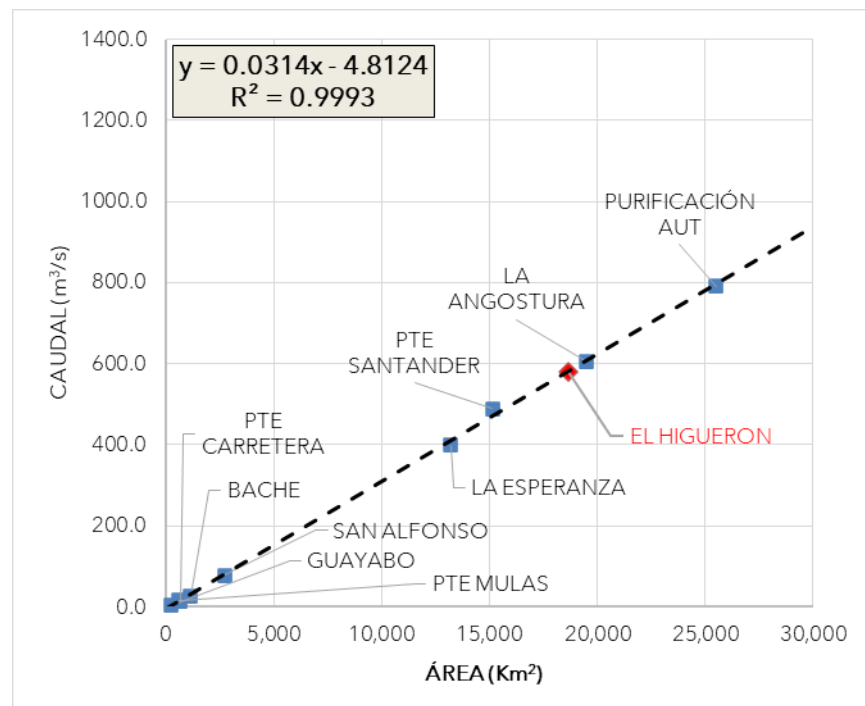


Figura 8-4. Relación área-caudal de las estaciones hidrológicas en el tramo de interés.

La relación muestra un rendimiento hídrico homogéneo en los casi 25,000 km² evaluados. El coeficiente de determinación (r^2) muestra un ajuste mayor al 99%. Es decir, con un alto grado de certidumbre es posible explicar los caudales **medios anuales** en cualquier punto

dentro de la cuenca alta del río Magdalena hasta la estación Purificación (aguas abajo del predio en análisis). El modelo que explica la relación es de tipo lineal, es decir, de la forma $Q = ax + b$, donde Q es el caudal medio anual, a y b son constante determinadas por la regresión. En términos generales, y como es de suponer, a mayor área de captación (mayor área de la cuenca hidrográfica) de la precipitación, mayores serán los volúmenes que escurrirán en el río (mayores caudales).

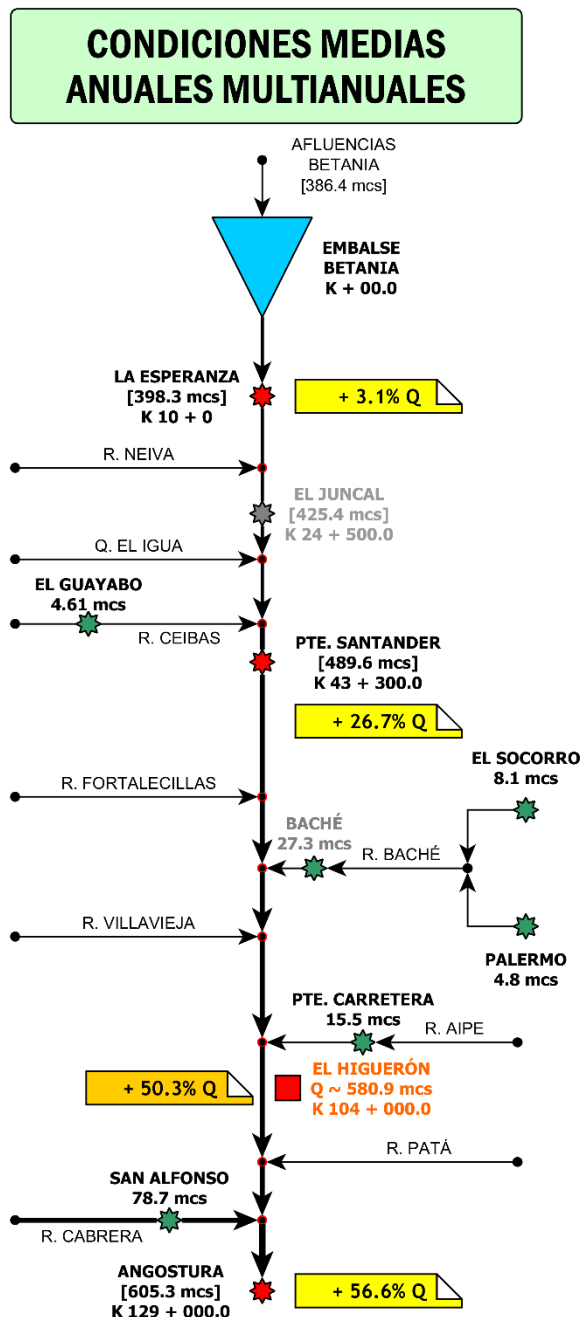


Figura 8-5. Diagrama topológico de la red de afluentes al río Magdalena – Cuenca Alta. El diagrama muestra los tributarios más importantes del río Magdalena a partir del embalse de Betania hasta la estación La Angostura Automática, es decir, un poco más de los 104 km del tramo de interés. Las afluencias medias anuales al embalse fueron estimadas a partir de los datos del balance operativo de la Central Betania. El valor estimado es de 386.4 m³/s (1987-2021). Luego de las descargas del Embalse, vía caudal turbinado y/o caudal vertido, el volumen de agua en el río es medido en la estación La Esperanza operada por el IDEAM ubicada unos 10 km aguas abajo de la central hidroeléctrica. En este punto el río ya refleja un incremento del 3.1% en el caudal medio anual multianual respecto de las afluencias al embalse. Luego de la estación de monitoreo el río Magdalena recibe los aportes de río Neiva, quebrada El Igua y río Las Ceibas. En la ciudad de Neiva se ubica la estación automática Puente Santander (km 43 + 300 m), la cual luego de los aportes de las corrientes mencionadas y otras menores, el caudal del río Magdalena se incrementa en un 26.7% respecto del caudal estimado en el punto del embalse. Continuando aguas abajo, el Magdalena recibe a los tributarios río Fortalecillas, río Baché, río Villavieja y río Aipe. Sobre el predio EL HIGUERÓN a través de las relaciones área-caudal de la **Figura 8-4** se estimó que el caudal medio anual que escurre en este tramo del río es del orden de los 580.9 m³/s (un aumento del 50.3% respecto de la afluencia a Betania). En el último tramo del diagrama, se resaltan las afluencias del río Cabrera y el río Patá, en este punto de límites con el departamento del Tolima, el río Magdalena registra 605.3 m³/s (Estación La Angostura), es decir, aumenta en un 56.6% su caudal respecto a las afluencias al embalse de Betania.

8.3 PRECIPITACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA PARA EL PERIODO DE DICIEMBRE DE 2011

El tercer momento, derivado del concepto del ciclo hidrológico, lo constituye otro elemento importante dentro de este sistema, como lo son las precipitaciones.

De esta manera, y considerando las cuencas hidrográficas delimitadas y presentadas en la **Figura 8-3**, se identificaron las estaciones meteorológicas que registran las precipitaciones al interior de la cuenca hidrográfica del Alto Magdalena (áreas en verde y amarillo de la **Figura 8-3**). La consulta al catálogo nacional de estaciones del IDEAM disponible en la plataforma DHIME arrojó como resultado 112¹⁴ estaciones de tipo meteorológico con un periodo de registro mayor a 30 años (mínimo exigido por la Organización Meteorológica Mundial para realizar caracterización climáticas (OMM 1990)).

Los datos del conjunto de estaciones fueron agregados a escala anual y mensual, para realizar ejercicios de interpolación (Cressie 1990) espacial, de tal forma que se pueda apreciar la variabilidad en las cuencas de la precipitación.

La **Figura 8-6** muestra la distribución espacial de la precipitación total anual y mensual de diciembre de largo plazo¹⁵ (periodo 1983-2021), la precipitación total mensual que sucedió en diciembre de 2011 (mes y año de los hechos de la demanda) y las anomalías¹⁶ del mes de diciembre de 2011 frente al diciembre promedio (largo plazo).

Tabla 8-2. Valores Promedio de precipitación (mm/año) para las cuencas hidrográficas (Periodo 1983-2021)

CUENCA	PRECIPITACIÓN	UND	VALOR
BETANIA	ANUAL (1983-2021)	mm/año	1,599
	DICIEMBRE (1983-2021)	mm/mes	140
	DICIEMBRE 2011	mm/mes	243
	ANOMALIA	%	+75
INTERCUENCA ENTRE BETANIA Y EL HIGUERON	ANUAL (1983-2021)	mm/año	1,508
	DICIEMBRE (1983-2021)	mm/mes	164
	DICIEMBRE 2011	mm/mes	288
	ANOMALIA	%	+75
QUEBRADA LA CANCHOSA	ANUAL (1983-2021)	mm/año	1,272
	DICIEMBRE (1983-2021)	mm/mes	150
	DICIEMBRE 2011	mm/mes	261
	ANOMALIA	%	+74

Como se puede apreciar en la **Tabla 8-2**, el comportamiento anual de la precipitación es de 1599 mm en la cuenca Betania. El comportamiento es muy similar en la cuenca aguas abajo de Betania (identificada como intercuenca en la **Figura 8-6**), aquí se estima un valor anual de 1508 mm. Entre tanto, la cuenca de la Quebrada La Canchosa presenta un valor anual de 1272 mm. A nivel espacial, se observa que existe un gradiente ascendente de la

¹⁴. En el Anexo 01 se presenta una relación de 112 estaciones.

¹⁵ El largo plazo se refiere a la condición promedio de la variable en ese periodo de tiempo, la condición promedio.

¹⁶ Las anomalías son el resultado de la diferencia entre el valor presentado en el mes X y el valor promedio de la misma variable. Normalmente se expresa en términos porcentuales frente a su valor promedio.

precipitación sobre la vertiente oriental de la cordillera central, mientras que en el valle del Magdalena disminuye la precipitación.

Al comparar los valores medios mensuales multianuales (1983-2021) del mes de diciembre (mes de los hechos de la demanda) observamos que la precipitación en la intercuenca aumenta en un 17% frente a la precipitación en la cuenca aguas arriba en Betania.

Sin embargo, la situación cambia drásticamente cuando realizamos el mismo análisis para el mes de diciembre de 2011. Se observa que el mes de diciembre de 2011 la precipitación cambio con respecto a su valor normal incrementando hasta en un 175% su valor para el área de estudio. A nivel general, las anomalías de precipitación fueron positivas (incrementos de precipitación) y se estiman en alrededor de un 75% más de lluvia para toda la cuenca alta del río Magdalena. Como se muestra en la **Tabla 8-2**, mientras en Betania se registraron en promedio una precipitación total de 243 mm, en la intercuenca se estima una precipitación de 288 mm, esto es un 19% de mayor volumen precipitado en el área inmediatamente después del Embalse de Betania aunado a que en general las precipitaciones en toda el área fueron un 75% mayor a la condición normal. Respecto a la cuenca de la Quebrada La Canchosa, las diferencias en relación con Betania son de un 7% mayor precipitación. La cuenca de la Quebrada La Canchosa se estima experimentó una precipitación total de 261 mm en diciembre de 2011.

De lo anterior se infiere que dados los mayores volúmenes precipitados en la cuenca alta del río Magdalena se incrementaron los caudales en los ríos tributarios en el mes de diciembre de 2011.

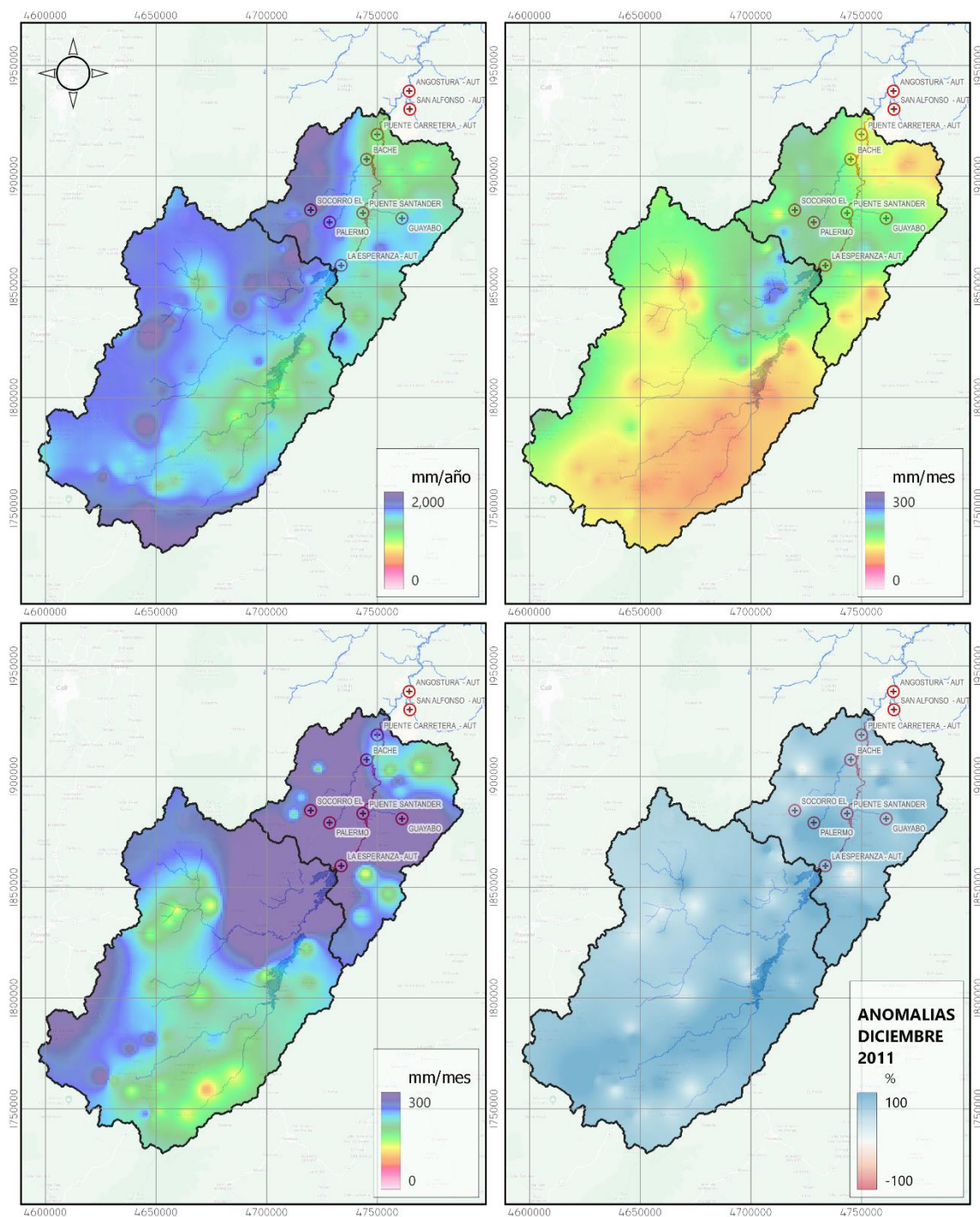


Figura 8-6. Distribución espacial de la precipitación a partir de datos de la red nacional IDEAM en las cuencas hidrográficas aguas arriba de Betania y aguas abajo de Betania hasta la Finca EL HIGUERÓN. Periodo de caracterización 1983-2021. **Fuente:** Propia a partir de datos IDEAM.

8.4 FENÓMENOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Un cuarto elemento, es representado por los fenómenos de variabilidad climática (no introducido en los dos conceptos iniciales) que ejercen alteraciones sobre la normal climática (condiciones promedio), como se explica y se evalúa a continuación:

Según el IDEAM (IDEAM et al. 2015), *“es muy frecuente escuchar que algunas personas relacionan la ocurrencia de eventos extremos del tiempo meteorológico como indicadores inequívocos del cambio climático (ejemplo, ocurrencia de un huracán fuerte, una gran granizada, una sequía prolongada, una lluvia torrencial, una tormenta de nieve y un frente muy frío). Sin embargo, muchos de esos eventos extremos son puntuales y no son la generalidad, es decir, se presentan una única vez, o no se repiten sino hasta muchos años después. En otros casos, cuando se presenta un fenómeno de Variabilidad Climática interanual, como El Niño o La Niña, estos pueden ser leves, moderados o fuertes. Como vimos anteriormente, la ocurrencia de uno de estos fenómenos se restringe sólo a algunos años y su duración es de 1 hasta 3 años. Periodo donde El Niño o La Niña, nace, crece, madura, y muere o desaparece (científicamente denominados: inicio, desarrollo-maduración y debilitamiento). En el caso de presentarse fenómenos de esta naturaleza fuertes, se presentarán también **eventos climáticos extremos**, pero éstos sólo estarán restringidos en ocurrencia, al periodo de “vida” que tengan El Niño o La Niña”*.

Como se puede apreciar, la normal climática puede verse alterada positiva o negativamente por efectos de fenómenos climáticos como el ENSO en fases cálida (El Niño) y fría (La Niña) u otros dependiendo del lugar en donde se esté evaluando la variabilidad. Para la cuenca Magdalena-Cauca varios autores convergen en que uno de los fenómenos de mayor regularidad que afectan los componentes hidroclimáticos, es en efecto, el ENSO (Angel 2006; Bedoya, Contreras, and Ruiz 2010; Domínguez Calle et al. 2018; Jiménez, Vélez, and Poveda 2011; Montealegre 2009; Poveda et al. 2002).

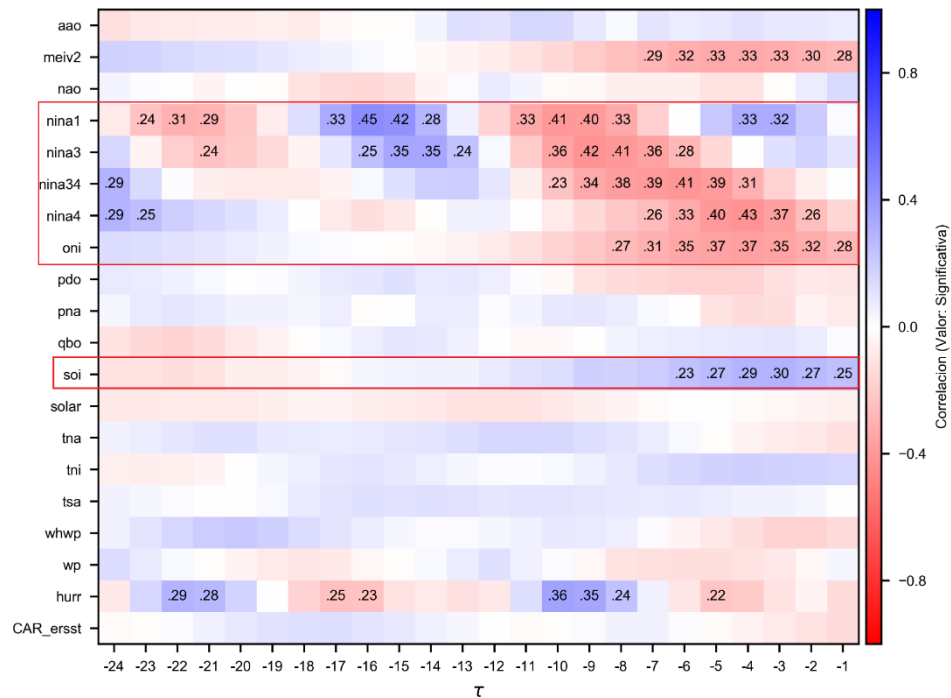


Figura 8-7. Análisis de teleconexiones con la serie de caudal de la estación Puente Santander [21097070]. La matriz muestra correlaciones estadísticas significativas de los caudales del río Magdalena medidos en Puente Santander (a la altura de la ciudad de Neiva) y las señales del océano pacífico como son nina1, nina3, nina34, nina4, oni y SOI. En términos generales lo que la gráfica nos muestra es que ante anomalías positivas en el océano pacífico (diferencias positivas entre el valor promedio de la temperatura del océano pacífico y la temperatura del mes), meses más adelante experimentamos anomalías positivas (azules), en esta condición estamos frente a un fenómeno ENSO fase fría, es decir, La Niña con aumentos significativos de las precipitaciones y, por lo tanto, de los caudales en los ríos.

La evaluación de estos fenómenos suele realizarse a través de herramientas matemáticas basadas en el análisis de las anomalías¹⁷ de la serie hidroclimática (precipitación y/o caudales) y en análisis de correlaciones cruzadas con señales macroclimáticas o teleconexiones¹⁸. En la actualidad existe una gran cantidad de señales hidroclimáticas que explican alteraciones del clima regional¹⁹ disponibles en la web. Como se muestra en la **Figura 8-7**.

¹⁷ Las anomalías son las diferencias entre el valor de cada dato de la serie de tiempo y su respectivo promedio.

¹⁸ Se refiere a alteraciones climáticas simultáneas en regiones distantes producidas por cambios en la circulación atmosférica a nivel planetario o hemisférico. El calentamiento de la atmósfera sobre el Pacífico ecuatorial central durante los eventos El Niño es una de las causas de estos cambios en la dinámica de la atmósfera global que producen las teleconexiones.

¹⁹ <https://www.psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>

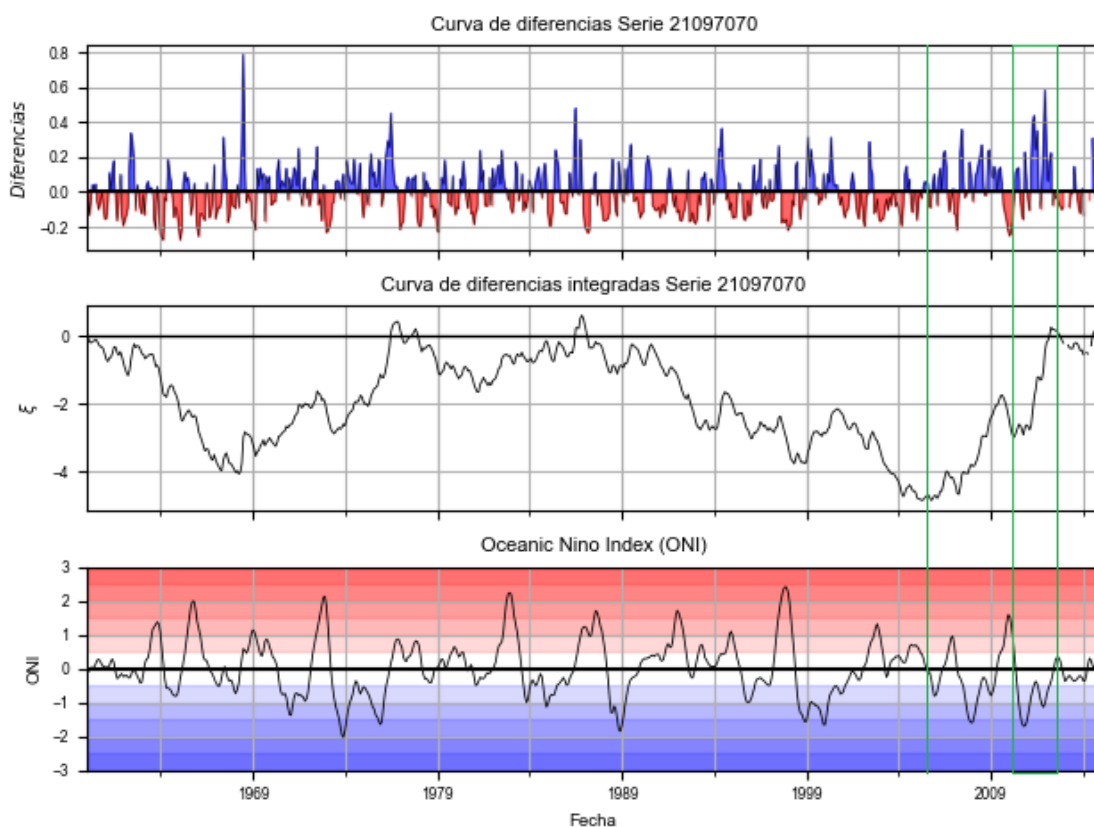


Figura 8-8. Curva de Diferencias Integrales de la serie de Caudales de la Estación Puente Santander [21097070]. La gráfica en parte más arriba nos muestra las anomalías (variaciones con respecto al valor medio) de la serie de caudales. En azul se resaltan las anomalías positivas, es decir, cuando los caudales superan los valores medios, y en rojo cuando los valores están por debajo de los valores medios. Se puede apreciar que cada cierto tiempo las rachas rojas o azules se mantienen por un mayor periodo. Esto significa periodos muy húmedos o secos según el color, como, por ejemplo, el periodo 2010-2011, en donde las anomalías fueron positivas (azules). En la gráfica en la mitad, las anomalías de la primera gráfica se han acumulado progresivamente (integración), de tal forma, que se pueden observar periodos donde predominan los excesos o los déficits. La figura muestra como a partir de 2005 la tendencia en los caudales era positiva, es decir, un periodo predominantemente húmedo. Abajo, se presenta la señal del ONI (Oceanic Niño Index) utilizada por la NOAA y el IDEAM (National Oceanic and Atmospheric Administration) para declarar fenómenos ENSO (El Niño o La Niña). Se puede apreciar que para la época de los hechos indicada en la reforma de la demanda el indicador se mantuvo en la franja azul indicando fenómeno de La Niña.

En efecto, el IDEAM, en sus reportes mensuales de predicción climática y alertas para planear y decidir²⁰, desde el 2010 venía alertando sobre la posibilidad del desarrollo de un fenómeno de La Niña y como en efecto se desarrolló entre 2010-2011. A continuación, una rápida revisión de los reportes los cuales se adjuntan a este dictamen en la carpeta de ANEXOS²¹.

²⁰ Los reportes están disponibles en <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/prediccion-climatica>

²¹ 01_BOLETINES_PREDICCIONES_CLIMATICAS_IDEAM_2011

- **Boletín 185 julio de 2010:** IDEAM mantiene la probabilidad de desarrollo de un fenómeno “La Niña” en los próximos meses.
- **Boletín 188 octubre de 2010:** Continúa el fortalecimiento de “La Niña” y sus efectos continuarían hasta el primer trimestre de 2011. Sumado a lo anterior, en el mar Caribe se mantienen condiciones propicias para la ocurrencia de fenómenos atmosféricos que generan lluvias abundantes en la mayor parte del país.
- **Boletín 190 diciembre de 2010:** Continúa el fenómeno de “La Niña” en aguas del Océano Pacífico Tropical y de acuerdo con los modelos internacionales de pronóstico, es muy probable que perdure por lo menos hasta el periodo marzo-mayo de 2011, alcanzando su fase máxima de desarrollo entre noviembre de 2010 y enero de 2011, periodo durante el cual, influiría más marcadamente en las condiciones climáticas de la mayor parte del país. Es importante destacar que cada evento “La Niña” es diferente y su repercusión en el clima nacional está condicionada por su intensidad y por la interacción que pueda presentar con otros fenómenos océano-atmosféricos presentes en el Atlántico tropical y Oriental, además del grado de vulnerabilidad de cada zona del país y de los sectores socioeconómicos. El boletín dedica un apartado a describir la proyección de marzo a mayo de 2011, en este punto comenta que, para las lluvias, *“en la región Andina y en amplios sectores del oriente del país, marzo generalmente constituye la transición entre la temporada seca de inicio de año y la primera temporada lluviosa, la cual se extiende hasta finales de mayo o mediados de junio. Considerando que La Niña se prolongará hasta mayo-junio de 2011, es de esperar que, en estas regiones, durante marzo se registren lluvias frecuentes durante la primera quincena, las cuales deben incrementarse hacia la segunda mitad del mes y continuar en los meses de abril y mayo”*. En cuanto a los niveles de los ríos, *“comenzarán a registrar ascensos de nivel, con la presencia de la primera temporada lluviosa del 2011, durante el mes de marzo”*.
- **Boletín 200 octubre de 2011:** En el Océano Pacífico tropical actualmente persisten diversas características océano-atmosféricas, entre las cuales se destacan la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y la circulación atmosférica, **que evidencian una situación de similitud con un fenómeno “La Niña” débil**, marcado por un patrón de condiciones frías (ligeramente por debajo de las neutrales).
- **Boletín 202 diciembre de 2011:** Las observaciones realizadas a las variables océano atmosféricas, entre las cuales se destacan la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y la circulación atmosférica, reflejan la **continuidad de condiciones de un fenómeno “La Niña”**. Es importante mencionar que, durante diciembre, el paso de frentes fríos sobre el Océano Atlántico occidental, la interacción océano-atmosférica presente en el Pacífico Oriental y la continua alteración de los patrones de circulación atmosférica sobre la región Amazónica, seguirán influyendo en la condición de cielos más nublados, lluvias por encima del

promedio del mes, particularmente en el centro y sur de las regiones Andina y Pacífica (*tal y como se observó en las imágenes LANDSAT*), y en sectores de las regiones Orinoquía y Amazonía. Cabe mencionar, que en diciembre la Zona de Confluencia Intertropical (banda de nubes que define las lluvias en Colombia), se ubica hacia el centro y sur del país, con actividad entre ligera y moderada; lo anterior, **sumado a la proyección de lluvias por encima de los promedios** (*tal y como se evidenció con los análisis expuesto en el capítulo 8.3 y resumido en la Tabla 8-2*), hace prever que continúen lluvias significativas, particularmente hacia Antioquia, Eje Cafetero, Valle y Cauca.

De esta manera y, a partir de los reportes del IDEAM y la evaluación de los indicadores estimados en este peritaje y plasmados en la **Figura 8-8** se concluye que **durante el año 2010 y 2011 se presentó un fenómeno de La Niña** que tuvo repercusiones incluso en el PIB del país (Euscategui and Hurtado 2011; Ruíz-Cabarcas 2012; Tobón and J. F. Boshell V. 2014). **Lo anterior es congruente con los análisis de las precipitaciones presentados arriba.**

8.5 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Por último, el quinto elemento, incluyó la revisión del estudio de suelos del departamento del Huila escala 1:100.000 publicado en el año 1994 elaborado y publicado por el IGAC y disponible gratuitamente en la plataforma ICDE.

El estudio suministra información importante acerca del recurso suelo, a través de la determinación de las potencialidades y limitaciones de uso de las tierras a partir del análisis de las características tanto físicas como químicas. Además, define las unidades cartográficas de acuerdo con su capacidad de uso de la tierra. Las unidades de suelo predominantes en el predio EL HIGUERÓN corresponde en un 90% (**Figura 8-9**) con una **unidad clase VXGa con tipo de relieve de terrazas** de diferentes niveles de material de depósitos aluviales heterogéneos²². La característica principal de esta unidad son áreas con relieve plano a ligeramente plano, **expuesto a inundaciones ocasionales de acuerdo con los niveles de las diferentes terrazas.**

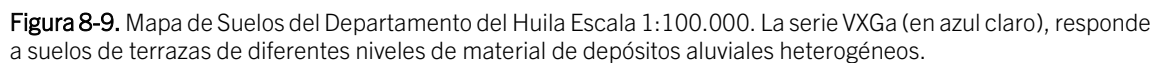
Como conclusión de este capítulo, se pueden resaltar los siguientes puntos:

- Los caudales medios anuales (condición promedio) que fluyen en el río Magdalena a la altura del predio EL HIGUERÓN son del orden de los 580.9 m³/s. Más arriba en la cuenca, los aportes del río Magdalena hasta Betania son del orden de los 386.4 m³/s (cuenca verde **Figura 8-3**), es decir, en condiciones promedio, los caudales entre Betania y EL HIGUERÓN se incrementan en un 50.3% debido al área de intercuenca entre Betania y los predios afectados (**Figura 8-5**).

²² Sedimentos arrastrados por una corriente de agua, que quedan depositados en un terreno.

- Los valores anuales totales de precipitación (condición normal) indican una disminución del 5.7% de esta variable en la cuenca aferente entre Betania y el predio EL HIGUERÓN (cuenca amarilla) en relación con la cuenca aguas arriba de Betania. Mientras que la cuenca de la Quebrada La Canchosa, presenta en promedio un 20.5% menos precipitación que la cuenca del río Magdalena hasta Betania (**Figura 8-6**). Entre tanto, las precipitaciones presentadas en el mes de diciembre de 2011 por la intercuenca (**Figura 8-6**) y La Canchosa (**Figura 8-6**) superan en un 19% y 7% respectivamente, las precipitaciones registradas en la cuenca Betania (**Figura 8-6**).
- Otro punto importante, es que según la topológica expuesta en la **Figura 8-5**, el primer punto de monitoreo hidrológico luego de la Central Hidroeléctrica de Betania es la estación **La Esperanza** (a 10 km de Betania). Como se muestra en la **Figura 8-3** y la **Figura 8-5**, la estación Puente Santander es la segunda estación luego de Betania ubicada a 43.3 km de Betania sobre el costado occidental de la ciudad de Neiva²³ y ya en este punto, en condiciones normales, **la cuenca aumenta sus volúmenes de agua en un 26.7% referente a las afluencias al Embalse debido a los nuevos tributarios aguas abajo del embalse de Betania.**
- La estación Puente Santander **no refleja las operaciones directas de la Central Betania** dado que por su ubicación resume, además de los caudales por Betania, los aportes de otras corrientes de aguas importantes que hacen que en promedio sus valores medios se incrementen en un 26.7% por las condiciones naturales de la cuenca hidrográfica.
- Los análisis de variabilidad climática representados por el análisis de teleconexiones (**Figura 8-7**) y curva de diferencia integrales **Figura 8-8** con los datos de la estación Puente Santander [21097070] mostraron que los caudales de la cuenca alta del río Magdalena son afectados por señales macroclimáticas como el calentamiento del océano pacífico que a la postre generan el fenómeno de El Niño/La Niña, y que en efecto, para los años 2010-2011, las condiciones hidroclimáticas de la cuenca alta fueron afectadas por el fenómeno de La Niña (Fase fría ENSO). Este aspecto ha sido un tema ampliamente estudiado en el país tanto por instituciones oficiales como el IDEAM como por la academia.
- **El predio EL HIGUERÓN se ubica en un suelo de tipo terraza de diferentes niveles** lo cual plantea una condición de vulnerabilidad moderada a baja, dado que, este tipo de suelos son indicativos de áreas de inundación con un periodo de retorno no tan frecuente (**Figura 8-9**).

²³ En el diagrama topológico se muestra la estación El Juncal, sin embargo, esta registraba solo niveles del río y fue suspendida en el año 2014. Durante el desarrollo de este dictamen no fue posible obtener las curvas de gasto de la estación El Juncal, y, por lo tanto, no se incluyó en los análisis de resultados.



El predio EL HIGUERÓN se ubica en el área hidrográfica Magdalena – Cauca, en la subzona hidrográfica (SZH) 2113 denominada por el IDEAM como Río Aipe, Río Chenche y otros directos al Magdalena, y específicamente, en el nivel subsiguiente 2113-07 Quebrada Bambucá - Quebrada Mochilero. Corresponde a las Autoridades Ambientales Regionales,

en este caso, la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM la formulación e implementación de dichos instrumentos de planificación ambiental.

De acuerdo con las averiguaciones realizadas en el marco de este peritaje, no fue posible establecer con certeza la existencia del instrumento ambiental POMCA, por lo que resulta menos probable que existiera para el año 2011.

9.2 ESQUEMAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL – EOT

De otra parte, de los instrumentos administrativos de planeación, en especial los Planes de Ordenamiento Territorial POT son un instrumento técnico de las administraciones municipales para la planificación y ordenación de su territorio de acuerdo con la Ley 388 de 1997. Los POT buscan integrar los aspectos físicos, socioeconómicos y medioambientales (por ejemplo, derivados del POMCA) en la planificación del territorio con instrumentos de gestión y financiación a través de las determinantes ambientales para el ordenamiento.

Estos documentos oficiales deben incluir estudios sobre cambios en la estructura demográfica del municipio, **zonas de riesgo (por inundaciones**, incendios, deslizamientos de tierra, etcétera), protección de la estructura ambiental de soporte, comportamiento socioeconómico de su población, entre muchos otros.

De acuerdo con la Ley 388 del 97, al municipio de Aipe le correspondía un Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) debido a que contaba con menos de 30.000 habitantes al 2011. El EOT vigente para el año 2011²⁴ del municipio de Aipe adoptado mediante Decreto 068 de 2011²⁵ menciona en el artículo 58 frente a las amenazas por inundación:

“ARTICULO 58. Por inundación. Esta amenaza está asociada sobre el río grande de la Magdalena y la confluencia del río Bache, Aipe, cauces de las quebradas Dindal, Arenoso, Muchubi, Bambucá, sobre las márgenes occidentales, sobre algunos sectores de las veredas La Manga, río Aipe y El Pata.

En el casco urbano las áreas de amenazas por inundación están representadas por las quebradas Villegas en el sitio denominado el Hueco”

No obstante, no fue posible acceder a la cartografía del EOT para corroborar espacialmente la pertenencia o no del predio EL HIGUERÓN a las categorías de amenaza establecidas en el instrumento de ordenamiento territorial.

9.3 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BETANIA

Por último, los instrumentos de tipo privado, en este caso relacionado con la operación y manejo de la Central Hidroeléctrica de Betania. El manual de operación establece los

²⁴ La vigencia de los EOT es de 12 años, de acuerdo con, lo dispuesto en el marco legal y normativo contenido en la Ley 388 de 1997 (modificada en lo pertinente por las leyes 507 de 1999 y 902 de 2004 y reglamentada por el decreto 1077 de 2015) y en la Ley 1537 de 2012.

²⁵ 10 de mayo de 2011

criterios y procedimientos generales que se deben aplicar para la operación del embalse, es un instrumento base para la toma de decisiones. Desde la entrada en operación de la central en 1987 el manual de operaciones se ha sido actualizado en tres ocasiones agregando/modificando así:

- **1987.** Versión original realizado por la firma SEDIC LTDA.
- **1998.** Se realizan dos intervenciones:
 - Ajustes de hidrógrafas y volúmenes de espera para afluencias con período de retorno de 50 años;
 - Ajuste al tránsito de crecientes y volúmenes de espera para afluencias con período de retorno de 25 años;
- **2003.** Se actualiza la batimetría del embalse y, por lo tanto, se actualizan los balances hidráulicos para los cálculos del balance operativo en la central. Se agregó un criterio adicional para prevenir que el nivel del embalse caiga por debajo de la cota mínima normal (544 msnm).

El manual de operaciones vigente desde el año 2003 corresponde a la versión actualizada por la firma INGETEC S.A.

Un concepto importante para el manejo de crecientes es el de **volumen de espera** (espacio vacío), el cual es **dinámico dependiendo de las afluencias que se registren al embalse** y el periodo del año como se muestra a continuación.

Tabla 9-1. Volúmenes de Espera para periodo de retorno de 25 años

Mes	Excedente 1600 m ³ /s creciente 10 años [Hm ³]	Volumen de espera creciente 25 años [Hm ³]	Nivel de espera del Embalse [msnm]
Ene	1.7	0.0	561.20
Feb	0.1	0.0	561.20
Mar	13.0	7.8	561.10
Abr	25.5	22.2	560.91
May	18.5	13.8	561.02
Jun	46.2	45.9	560.59
Jul	80.3	85.3	560.05
Ago	51.1	51.5	560.51
Sep	7.5	1.4	561.18
Oct	1.6	0.0	561.20
Nov	2.3	0.0	561.20
Dic	5.1	0.0	561.20

Fuente: manual de Operación Embalse de Betania v. 2003 INGETEC

Como se puede apreciar de la tabla anterior, en cada mes y en función del caudal de ingreso al embalse (este caudal de ingreso se define en las estaciones Puente Balseadero en el río Magdalena y Paicol en el río Páez aguas arriba del embalse), el manual de operación, contempla operaciones para habilitar un volumen en el embalse que debe

disipar el pico de la creciente que se avecina, de esta forma, se atenúan los caudales pico que se pueden generar al no anticipar este tipo de fenómenos naturales.

A continuación, se listan una serie de datos y criterios derivados del manual de operación del embalse que apoyan de manera sustancial el dictamen pericial en el componente normativo.

9.3.1 Criterios de operación del embalse en cuanto a descargas

- Caudal mínimo: 100 m³/s
- Caudal máximo normal en periodo de verano: 975 m³/s, **siempre y cuando no se presenten crecientes con caudales pico mayores que este valor.**
- Caudal máximo normal en periodos de invierno: 1600 m³/s, **siempre y cuando no se presenten crecientes con caudales pico mayores que este valor.**
- Caudales máximos en crecientes: **Los caudales pico descargados podrán superar el límite de 1600 m³/s, cuando se presenten crecientes que superen este valor.** Sin embargo, los caudales pico descargados no superarán los caudales pico afluentes al Embalse.
- Aumento de descargas del Embalse: Siempre y cuando los incrementos de las afluencias que ingresan al Embalse lo permitan, los aumentos en las descargas se realizan de acuerdo con los siguientes criterios:
 - Caudales entre 0 y 975 m³/s: No hay restricciones para aumentos de las descargas del Embalse, cuando el caudal final no supera el valor de 975 m³/s.
 - Caudales entre 975 y 1600 m³/s: Los aumentos del caudal descargado dentro de este rango, se harán por pasos de máximo 150 m³/s cada 15 minutos o más.
 - Caudales mayores de 1600 m³/s: Los aumentos del caudal descargado por encima de 1600 m³/s, se harán por incrementos de máximo el 15 % cada 15 minutos o más.

9.3.2 Criterios de operación del embalse en cuanto a niveles

- Nivel mínimo normal: 544 msnm (se establecen políticas de manejo si el Embalse llega a la cota 547 msnm, evitando así que se alcance el nivel mínimo normal)
- Nivel máximo sin vertimientos: 561.2 msnm
- Nivel máximo con CMP (creciente máximo probable): 568.16 msnm
- Nivel de la cresta de la presa: 571.0 msnm

9.3.3 Políticas de manejo de crecientes

Las siguientes políticas se adoptan en beneficio de los ribereños de aguas abajo del Embalse y en detrimento de la generación de la Central Hidroeléctrica de Betania.

- Crecientes con periodos de retorno de hasta 10 años: El Embalse se operará buscando amortiguar las crecientes con periodos de retorno inferiores o iguales a

10 años, de tal forma que las descargas máximas correspondientes a su tránsito no superen el valor de los 1600 m³/s.

- Crecientes con periodos de retorno de hasta 25 años: El Embalse se operará buscando amortiguar las crecientes con periodos de retorno superior a 10 años e inferior o igual a 25 años, de tal forma que las descargas máximas correspondientes a su tránsito no superen el valor de los 2200 m³/s.
- Crecientes con periodos de retorno superior de hasta 1000 años: El Embalse se operará con el fin de que el máximo nivel alcanzado no sobrepase el nivel de inundación de la población de Yaguará (562.0 msnm).

En resumen, el presente capítulo permitió definir el contexto normativo que define las reglas de uso del suelo, las determinantes ambientales y de la infraestructura hidroeléctrica. A continuación, se resaltan los siguientes aspectos:

- Los instrumentos territoriales de planeación (EOT) del municipio de Aipe señalan como zona de amenaza por inundaciones, a la vereda El Patá, donde se ubica el predio EL HIGUERÓN. Sin embargo, no fue posible corroborar espacialmente la convergencia de estas áreas de amenaza por inundación con el predio El Higuerón dado que no fue posible acceder a los elementos cartográficos del EOT.
- El manual de operación de la central contempla un “**plan de contingencias**” dentro de su operación para el manejo de crecientes extraordinarias, es decir, para caudales con periodos de retorno mayores a 2.33 años (condiciones normales). Es decir, es posible estimar si hubo o no violación al manual de operaciones (se tratará en el capítulo siguiente).
- Adicionalmente, el mismo manual de operaciones de la Central de Betania establece la forma gradual de disipación de los caudales excedentes que, debido a las condiciones meteorológicas extremas, la central debe evacuar minimizando los potenciales impactos aguas abajo. Vale la pena aclarar en este punto, que los fenómenos de inundación *per se* **son condiciones naturales de variabilidad del sistema biofísico** y son precursores de la prestación de muchos servicios ecosistémicos (Angarita et al. 2017; Arthington et al. 2006; Ruiz et al. 2016).

10 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE LOS FENÓMENOS DE INUNDACIÓN

10.1 CONDICIONES DEL EMBALSE PREVIO A LOS EVENTOS DEL 8 AL 16 DE DICIEMBRE DE 2011 EN LA CUENCA ALTO DEL RÍO MAGDALENA

La evaluación de las condiciones hidrometeorológicas y de operación del embalse previo y durante los eventos del mes de diciembre implican el análisis del manual de operación del embalse. De esta manera, resulta importante **definir el régimen hidroclimático del río Magdalena para establecer si los eventos de inundación narrados en los hechos de la demanda sucedieron en la época de excesos (invierno) o de déficits de humedad (verano).**

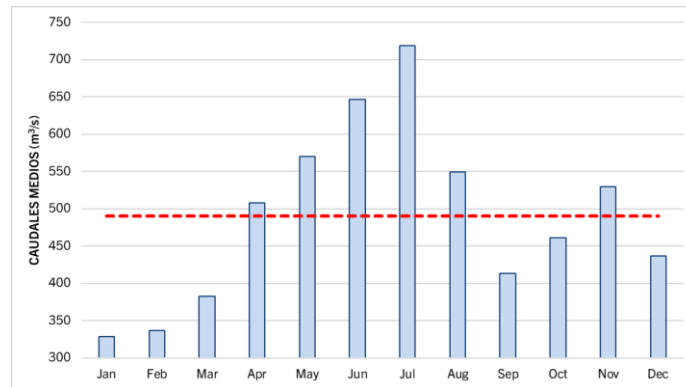


Figura 10-1. Régimen de caudales en la cuenca alta del Río Magdalena medidos en la estación Puente Santander [21097070]. El caudal promedio de la cuenca alta del río en este punto sobre la ciudad de Neiva es de 489.6 m³/s. Se observa un periodo de excesos de humedad entre el mes de abril al mes de agosto seguido de un periodo corto de baja humedad entre septiembre y octubre. El mes de noviembre presenta caudales por encima del promedio anual seguido nuevamente por un periodo de baja humedad entre diciembre y marzo.

La **Figura 10-1** muestra que el mes de diciembre corresponde al inicio del periodo de déficit de humedad, es decir, periodos donde los valores de caudal en el río son, en promedio, inferiores al valor medio anual. Por lo tanto, los criterios generales de operación del embalse deben corresponder con los del periodo de “*verano*”²⁶ según como los denomina el manual de operaciones.

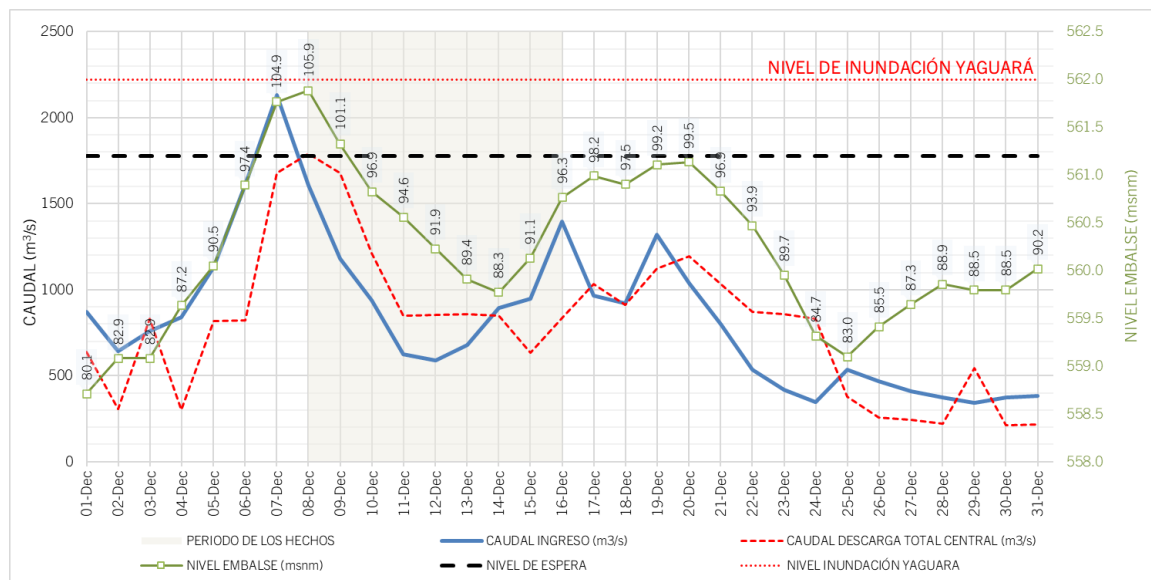


Figura 10-2. Dinámica de los niveles (verde) y caudales de ingreso (azul) del embalse de Betania, los caudales totales descargados (rojo trazos) durante diciembre de 2011. La línea negra a trazos indica el nivel de espera del embalse para el mes de diciembre de 561.2 msnm así como también, la cota de inundación de Yaguará (562 msnm) como umbrales de los criterios de operación de acuerdo con el manual.

²⁶ En Colombia, no se presentan estaciones por estar sobre la zona tropical. En su lugar se presentan periodos de excesos y déficits de humedad.

Los análisis sobre las operaciones en el embalse indican que la central cumplió con el nivel de espera en el embalse a inicios de diciembre. El nivel del embalse el 1 de diciembre de 2011 se ubicó en la cota 558.71 msnm muy por debajo de lo indicado en el manual la cota 561.2 msnm, es decir, el embalse liberó alrededor de un 20% de la capacidad del embalse para amortiguar crecientes dado que como se emitió en los boletines del IDEAM se proyectaba continuidad en el fenómeno de La Niña.

No obstante, las altas precipitaciones que según las estimaciones realizadas en este estudio fueron del orden de un 75% más lluvia de la condición normal incrementaron las afluencias al embalse de Betania y en general en toda la cuenca alta del río Magdalena incluso los afluentes cercanos al predio El Higuérón como, por ejemplo, la Quebrada La Canchosa.

Es así, como durante el 1 de diciembre y el 7 de diciembre de 2011 el embalse amortiguó las crecientes del río Magdalena con caudales de hasta los 3719.22 m³/s (fue el caudal máximo afluente a Betania durante el año 2011) y, como resultado, los niveles del embalse ascienden hasta alcanzar casi la cota crítica de inundación del casco urbano del municipio de Yaguará. Luego entre el 8 de diciembre y el 11 de diciembre la Central inicia maniobras de descargas para liberar capacidad de almacenamiento en el Embalse hasta alcanzar una capacidad de 88.3%.

10.2 MANIOBRAS DE OPERACIÓN DE COMPUERTAS

En este ítem se revisaron en detalle las operaciones del embalse del mes de diciembre, con énfasis durante el periodo referido en los hechos de la demanda, esto es, del 8 al 16 de diciembre de 2011.

Como se mencionó, los hechos de la demanda transcurren en el mes de diciembre, periodo de déficit (“*verano*”). En consecuencia, el manual de operaciones vigente para el 2011 indica que, los caudales máximos normales descargados podrán ser de hasta 975 m³/s, si y solo si, el caudal afluente al embalse no supera este valor, en cuyo caso se podrán hacer **descargas superiores** de acuerdo con los criterios de caudales máximos en creciente. En el caso de los caudales máximos normales (975 – 1600 m³/s), las descargas se realizarán gradualmente cada 15 minutos o más aumentando el caudal descargado en volúmenes de 150 m³/s hasta alcanzar máximo 1600 m³/s.

Los datos de la operación a **resolución horaria** de la central durante los días 8 a 16 de diciembre de 2011 fueron suministrados por Enel Colombia SA ESP. El Anexo 02 contiene los datos de operación, es decir, hora y fecha, nivel del embalse (msnm), capacidad del embalse (%), caudal de ingreso al embalse²⁷ (m³/s) y caudal descargado (caudal turbinado + caudal vertido por compuertas y borde libre en m³/s).

²⁷ Estimado a partir de la metodología de Balance operativo del Embalse.

La tabla del ANEXO 02 también incluyó tres columnas adicionales que evaluaron los criterios descritos en el párrafo anterior. La columna “caudal máximo normal en periodo invierno” evaluó si la columna “caudal turbinado + caudal vertido” superó el umbral fijado por el manual de los 975 m³/s, y si lo superó, verificó si la descarga total era menor al caudal de la columna “caudal ingreso”. La columna “aumento descarga embalse”, evaluó los cambios del caudal vertido en m³/s cada hora. Valores positivos en esta columna [aumento descarga embalse] indican aumento de la descarga en relación con la hora anterior, y, de forma inversa cuando los caudales son negativos.

De acuerdo con el manual de operación, las descargas en periodo de baja humedad (“verano”) se realizan haciendo incrementos paulatinos de 150 m³/s mínimo cada 15 minutos, es decir, que el aumento máximo en la descarga entre una hora y otra es de 600 m³/s (150 m³/s cada 15 minutos). La última columna, “amortiguación creciente”, evaluó las diferencias relativas entre el caudal ingresado al embalse y el descargado, cuando el caudal ingresado al embalse es mayor al descargado, se genera una amortiguación de la creciente.

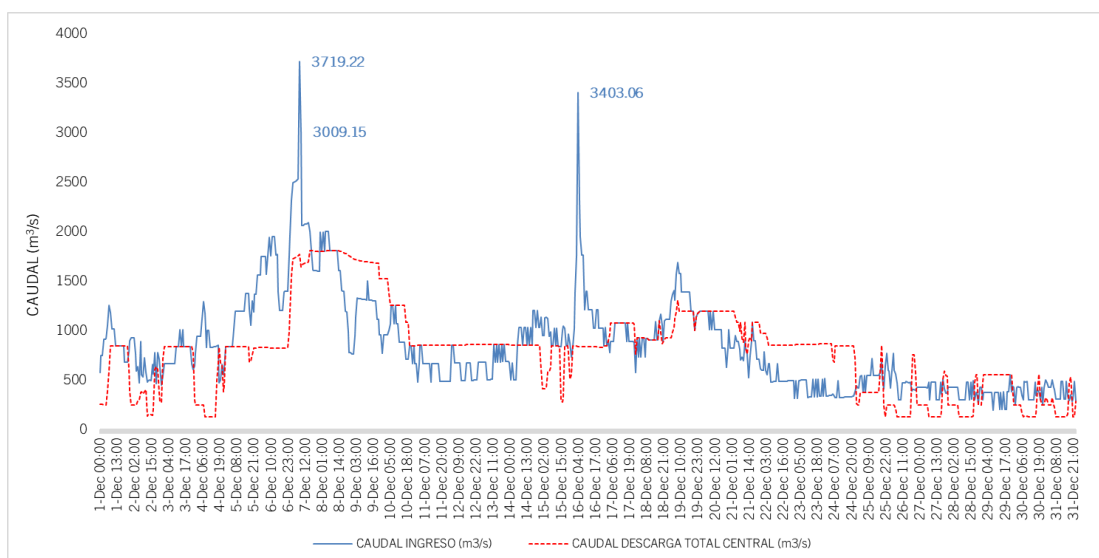


Figura 10-3. Caudal ingresado y caudal vertido [m³/s] en la Central Hidroeléctrica para el mes de diciembre de 2011 a resolución horaria. La línea azul por encima de la línea roja significa amortiguación de los caudales de ingreso al embalse. La gráfica muestra la amortiguación de dos eventos de creciente súbita, la primera a las 08:00 del 7 de diciembre, registrando un caudal pico de ingreso de 3719.22 m³/s. En este caso, la central pudo haber descargado hasta un máximo igual al valor ingresado, sin embargo, se continuó con valores similares en la descarga de alrededor de los 1771 m³/s y de esta forma amortiguó cerca de 1948 m³/s [reducción del 52%]. El segundo caso, se presentó desde el 16 de abril a las 04:00 con un caudal pico de 3406.06 m³/s, en esta ocasión la reducción del pico de caudal fue de 2565.37 m³/s, ya que solo se descargó un caudal de 837.69 m³/s [reducción del 75%]. Se recalca que valores de descarga total por debajo de los 975 m³/s no tienen ningún impacto aguas abajo en términos de amenaza por inundación.

Los resultados de la aplicación de los criterios establecidos en el Manual de Operación indican que:

- El caudal máximo horario descargado entre el 8 y el 16 de diciembre de 2011 por la central fue de 1807.78 m³/s registrado el día 7 de diciembre a las 16:00.
- El aumento máximo de caudal de descarga de la creciente fue 522.25 m³/s registrado el 15 de diciembre de 2011 entre las 18:000, es decir, muy por debajo del máximo establecido por el manual de operación y fijado en 600 m³/s.
- Frente a los caudales máximos descargados permitidos por el manual de operación para el mes de diciembre, se observó que entre el 8 de diciembre a las 14:00 y el 10 de diciembre a las 05:00, luego, el 10 de diciembre a las 08:00 y entre el 10 de diciembre a las 10:00 y las 19:00, el embalse realizó descargas totales superiores al caudal de ingreso al embalse, entre 187.20 y 975.31 m³/s con un promedio de 465 m³/s. **Si bien esta operación no se ajusta lo contemplado en el manual de operación en cuanto a los valores de las descargas totales del embalse, si cumple con el criterio de protección del municipio de Yaguará.** No obstante, vale la pena recalcar que durante el mes de diciembre la Central amortiguó crecientes en el 43% del tiempo descargando valores menores de caudal de los afluentes al embalse. De esta manera amortiguó valores de caudal entre los 168 y hasta 2565.36 m³/s. Más adelante, se presenta un análisis de la **relación causal** de las inundaciones frente a este incremento de caudal ocasionado por el delta de descarga de la central, es decir, el efecto de los 187.20 a 975.31 m³/s adicionales en el río Magdalena.

10.3 EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LAS COMPUERTAS Y BITÁCORAS DE OPERACIÓN

El capítulo 9.3 del Manual de Operación de la Central Hidroeléctrica de Betania en su versión de 2003 realizado por INGETEC LDTA hace referencia a las descargas por el vertedero de compuertas y el vertedero libre. El manual relaciona el nivel del embalse, el nivel de apertura de compuerta y el caudal que se descarga por el vertedero. Adicionalmente, la bitácora del movimiento de compuertas contiene la información de la apertura de cada compuerta y relaciona el caudal ingresado al embalse y descargado por las maniobras.

Sin embargo, teniendo en cuenta que finalmente son los caudales descargados, es decir, el volumen de agua entregado al río Magdalena el que tiene la capacidad de provocar potenciales inundaciones, y no, la posición de “x” compuerta según el Manual de Operación, se definió utilizar en efecto los registros de caudales afluentes al embalse, caudales descargados (caudales turbinados + caudales descargados por las compuertas) al río Magdalena y el nivel del embalse a resolución horaria y que son estimados mediante la técnica de Balance Operativo. Los registros de la operación para el periodo de los hechos se adjuntan al final de este documento en el ANEXO 02

10.4 CONDICIONES HIDROLÓGICAS EN EL PERIODO 8 A 16 DE DICIEMBRE DE 2011 ENTRE EL EMBALSE Y EL PREDIO EL HIGUERON

Retomando la **Figura 6-1**, en este punto hemos evaluado lo acontecido previo y durante al período de los hechos (8-16 de diciembre de 2011) en el Embalse de Betania (Punto B en la **Figura 6-1**).

A continuación, se analizan los datos de carácter hidrológico (caudales) y meteorológicos (precipitaciones) obtenidos para el curso del río Magdalena entre el Embalse de Betania y la Finca EL HIGUERON (Puntos B y A en la **Figura 6-1**), y que corresponden a las estaciones de monitoreo hidrometeorológico de la red nacional operadas por el IDEAM presentadas en la **Figura 8-5**.

Los análisis se resumen en diagramas topológicos como el presentado en la **Figura 8-5**. En la **Figura 10-4**, el primer diagrama a la izquierda muestra las condiciones medias mensuales multianuales del mes de diciembre, mientras que a la derecha se muestran las **condiciones específicas** de cada día entre el 8 al 16 de diciembre de 2011.

El diagrama resalta tres puntos de control del río Magdalena representados por las estaciones hidrológicas operadas por el IDEAM:

- Inmediatamente después de la descarga del Embalse de Betania (caudales reportados por ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P),
- En la estación Puente Santander ubicada a 43.3 km aguas abajo del embalse sobre la ciudad de Neiva y,
- En la estación La Angostura a 129 km aguas abajo del embalse.

Los diagramas muestran las afluencias al embalse (caudales que ingresan al embalse), los caudales descargados por embalse (caudales turbinados + caudales vertidos), los caudales registrados en los puntos de control (estaciones IDEAM) y, las afluencias al río Magdalena entre el embalse de Betania y el predio EL HIGUERON (algunos presentan mediciones de estaciones del IDEAM como el río Las Ceibas monitoreado por la estación El Guayabo, el río Aipe cuyos caudales son registrados por la estación Puente Carretera y el río Cabrera mediante la estación San Alfonso).

Los valores entre corchetes cuadrados (*[valor mcs]*) representa los caudales afluentes al embalse y los registrados por las estaciones en m³/s (metros cúbicos por segundo).

Los valores resaltados en amarillo representan la **evolución espacial** de los caudales en el río Magdalena entre dos puntos aguas arriba y aguas abajo del río Magdalena. La evolución se presenta en términos relativos frente a los caudales afluentes al Embalse de Betania, es decir, el primer valor resaltado en amarillo luego del Embalse de Betania (triángulo azul) corresponde a la diferencia entre el caudal descargado por el embalse y las afluencias al embalse mismo dividido por el caudal afluente al embalse.



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

El análisis busca identificar los tramos que generaron los caudales significativos y que escurrieron a través del río Magdalena en su paso por el predio EL HIGUERON.

Para el punto de control luego del Embalse de Betania se utilizaron los datos de la descarga del embalse teniendo en cuenta que la estación La Esperanza no estuvo operativa para diciembre de 2011.

Para el caso del predio EL HIGUERON, ubicado sobre la margen izquierda del río Magdalena se definió estimar el caudal que fluye por el río a través de la técnica de relación de áreas y caudales, tal y como se presentó en el capítulo 8.2, mediante la evaluación de varios tipos de regresiones entre los datos de las estaciones de caudal registrados entre el 8 al 16 de diciembre de 2011 y las áreas de drenaje de cada una de ellas. Los detalles se presentan en el **Anexo 3** al final de este documento. Adicionalmente, se presenta un **mapa con la distribución espacial de la precipitación** que registraron las estaciones meteorológicas para cada uno de los días del 8 al 16 de diciembre de 2011. El valor en cada punto representa el valor precipitado medido por cada estación de meteorológica y a su vez, el color azul intenso indica mayor valor precipitado.

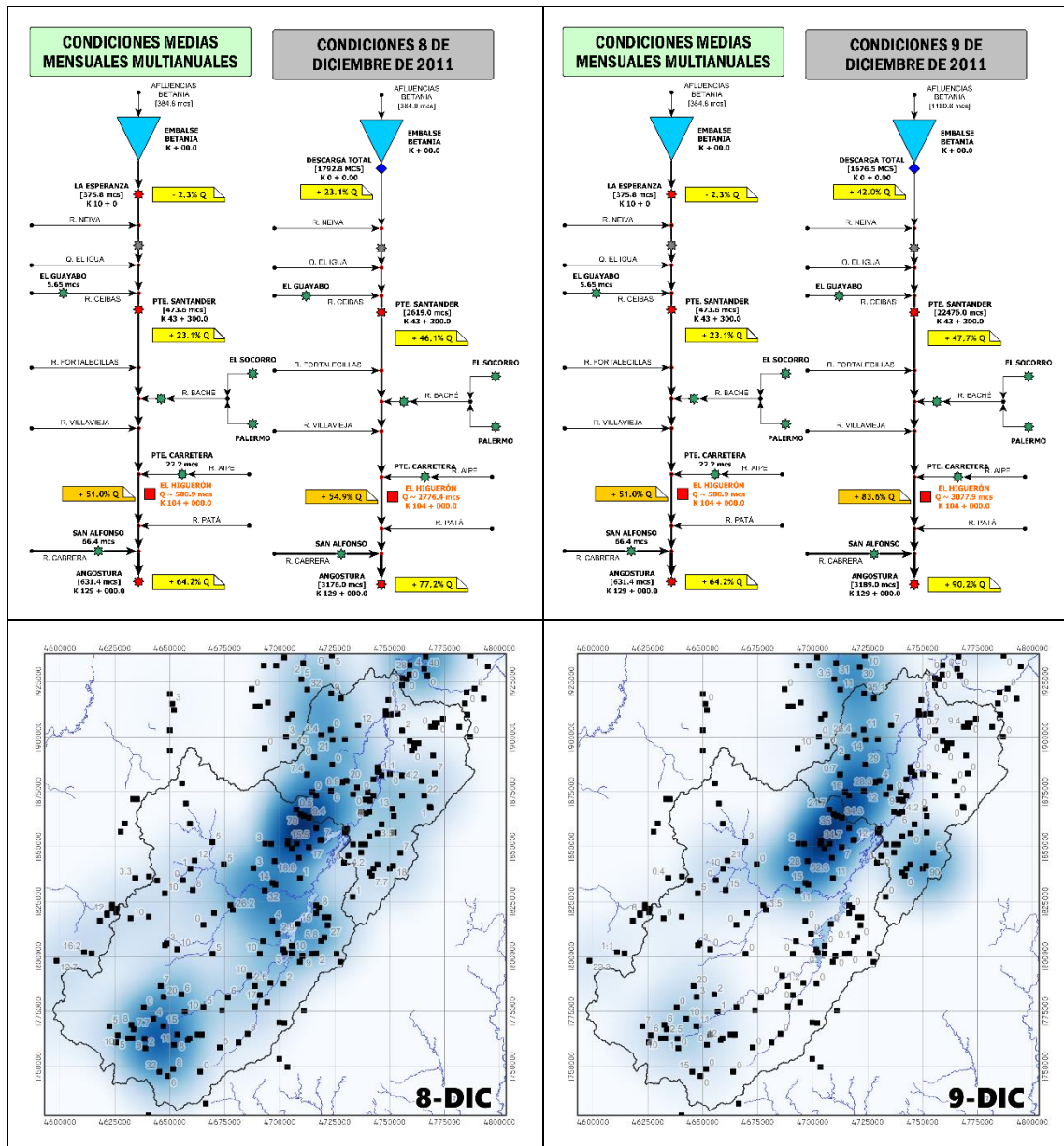


Figura 10-4 Evolución de los caudales en el tramo de interés sobre el río Magdalena y precipitaciones el 8 y 9 de diciembre de 2011

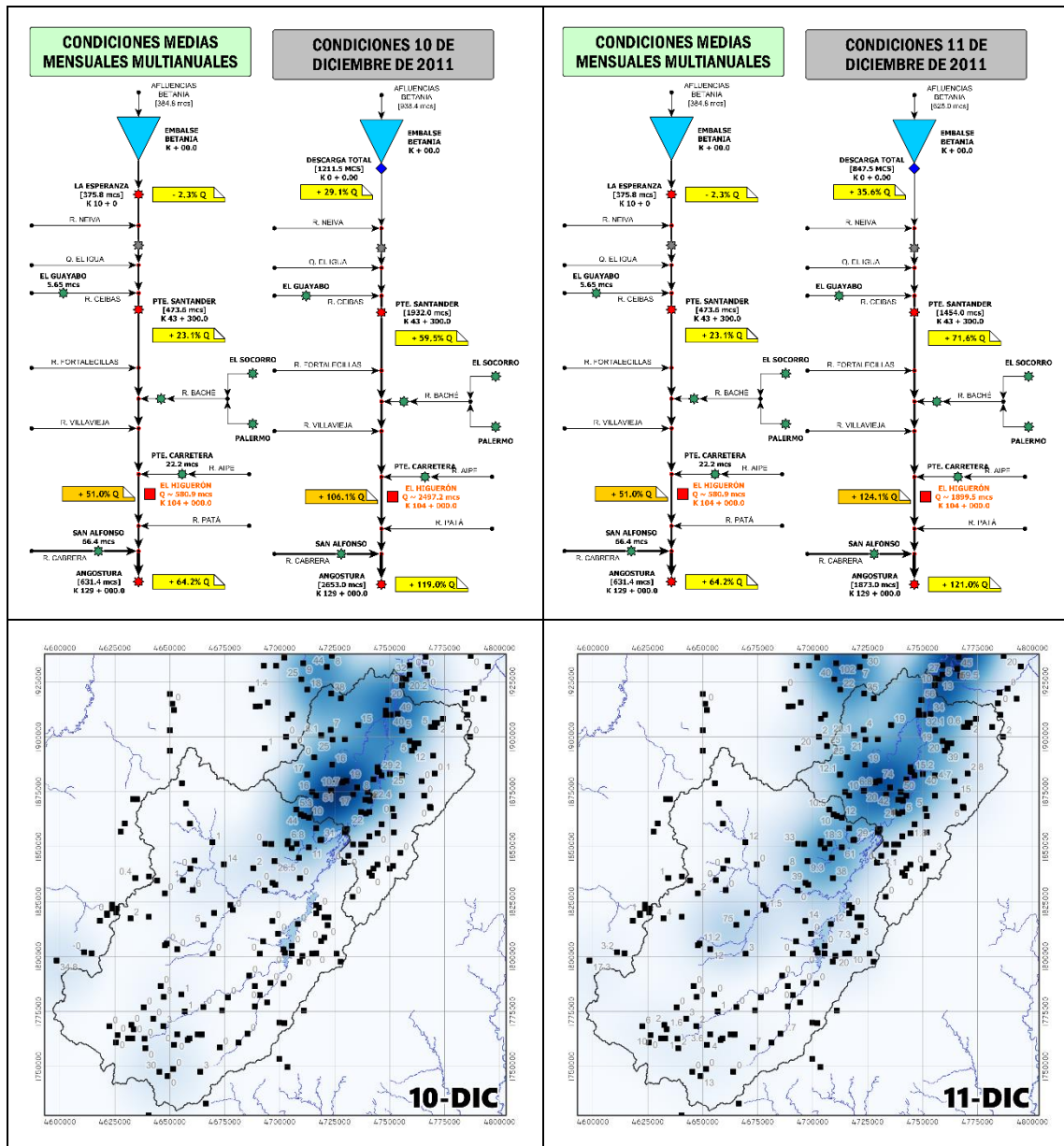


Figura 10-5 Evolución de los caudales en el tramo de interés sobre el río Magdalena y precipitaciones el 10 y 11 de diciembre de 2011

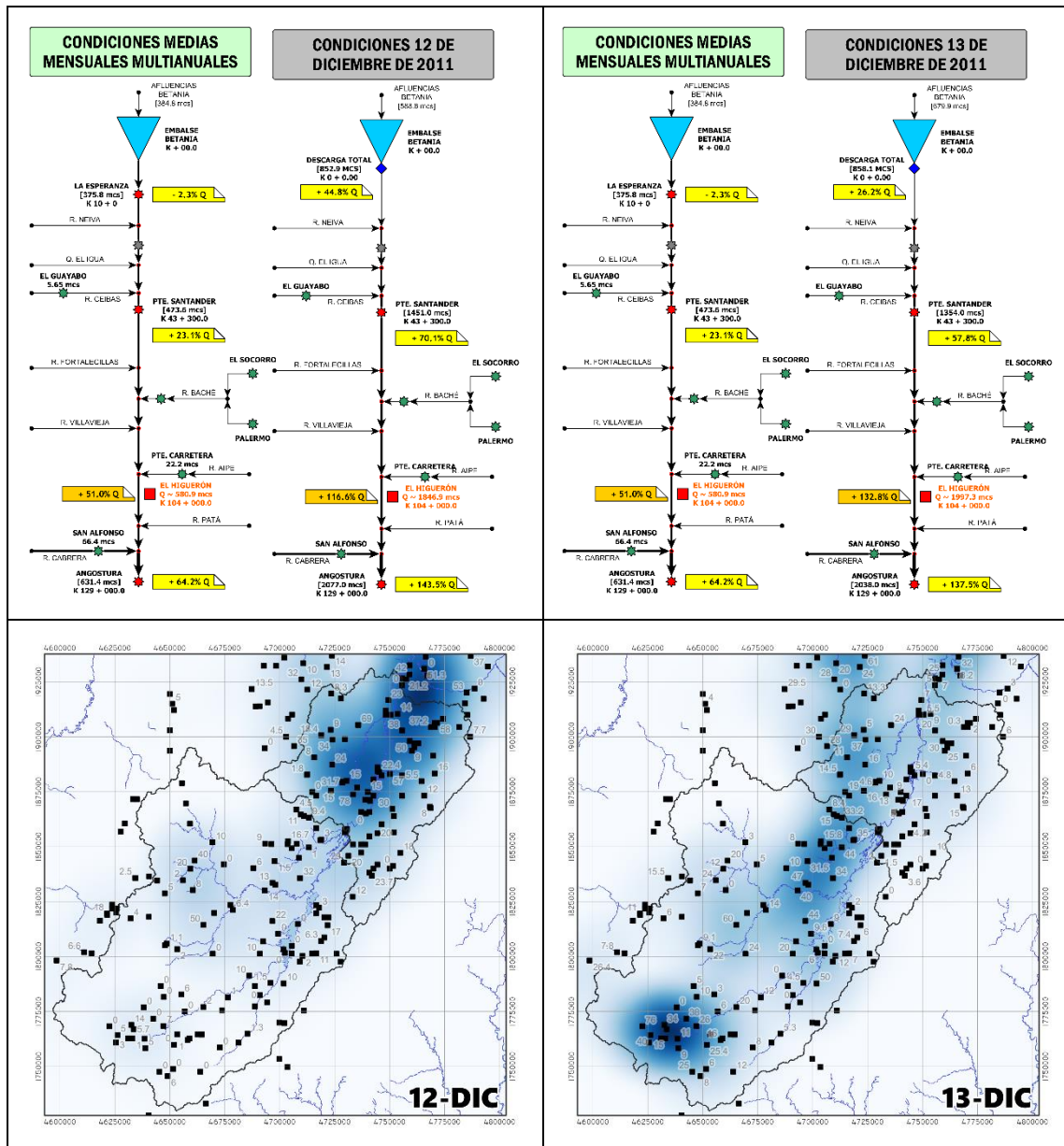


Figura 10-6 Evolución de los caudales en el tramo de interés sobre el río Magdalena y precipitaciones el 12 y 13 de diciembre de 2011

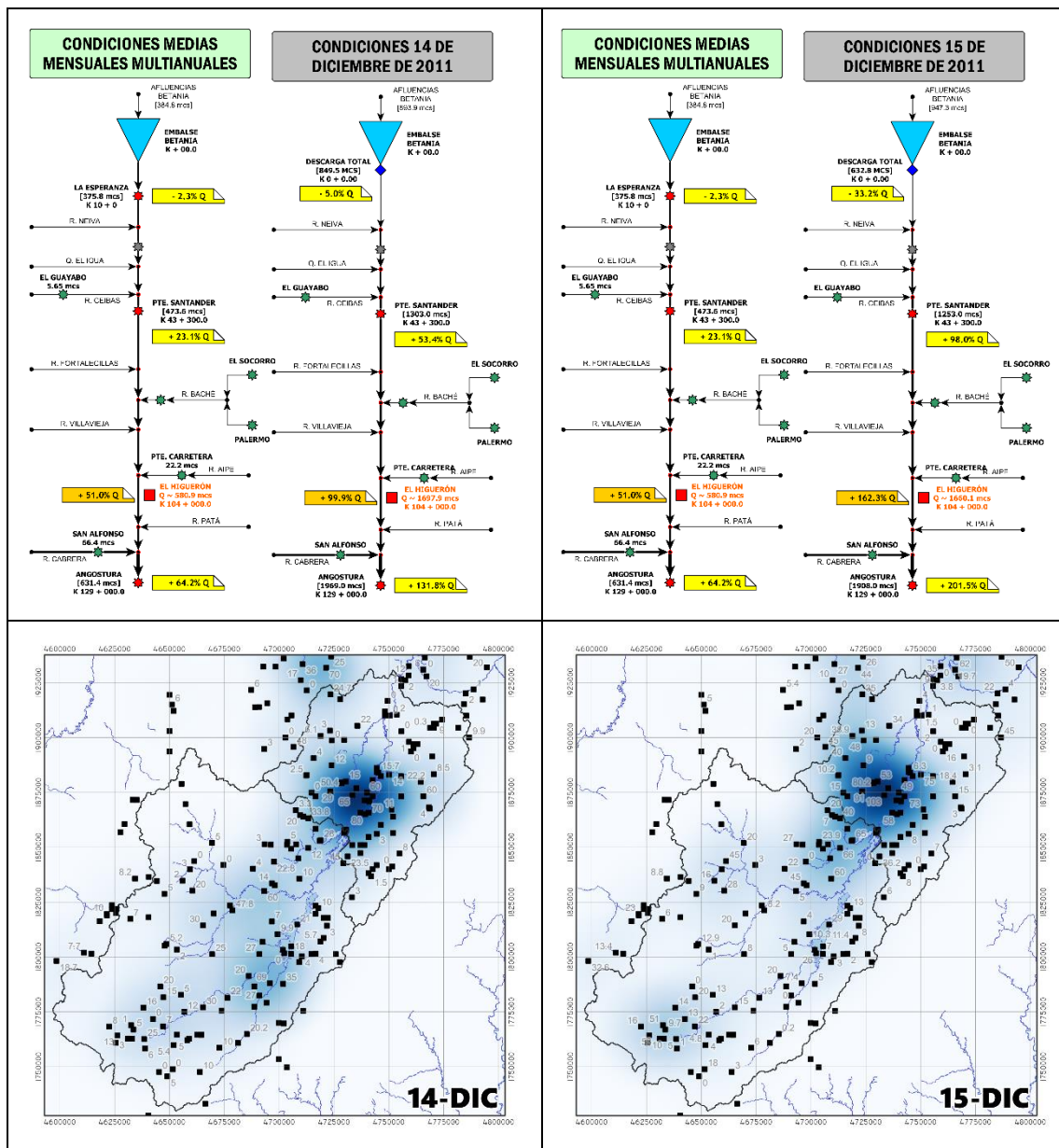


Figura 10-7 Evolución de los caudales en el tramo de interés sobre el río Magdalena y precipitaciones el 14 y 15 de diciembre de 2011

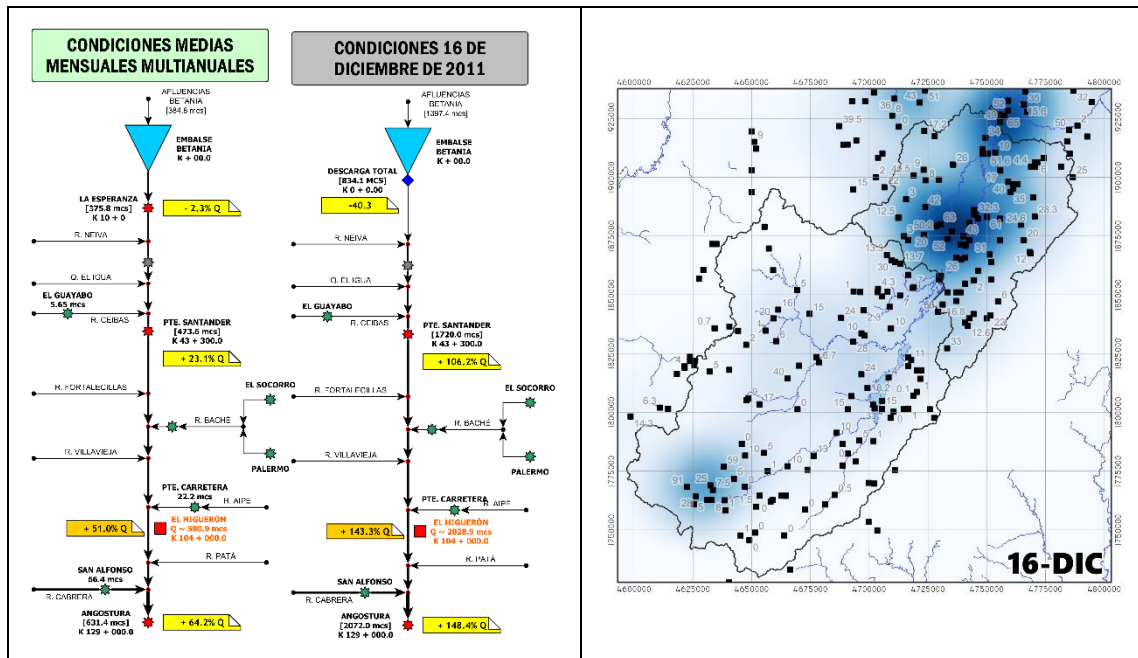


Figura 10-8 Evolución de los caudales en el tramo de interés sobre el río Magdalena y precipitaciones el 16 de diciembre de 2011

El análisis indica que para los días 8 a 10 diciembre de 2011, la Central de Betania descargó caudales por encima del umbral de los 975 m³/s. No obstante, las descargas totales del 8 al 10 de diciembre superaron el caudal afluente al embalse, en el promedio diario alrededor de 318.7 m³/s (se debe tener en cuenta los tiempos de viaje entre el embalse y el predio El Higuerón el cual se estima en alrededor de 8-12 horas). A partir del 11 de diciembre las descargas son congruentes con el manual de operación, inclusive entre los días 14-15 de diciembre el embalse amortiguó las crecientes del río Magdalena con caudales instantáneos de hasta 3400 m³/s.

Ahora bien, los hechos de la demanda narran el proceso de inundación en un periodo sostenido entre el 8 y hasta el 16 de diciembre, por lo que no es clara la relación causal que argumenta el demandante al respecto de la operación de la central y las inundaciones, por una parte porque el caudal adicional que descargó Betania por encima de la afluencia al embalse se realizaron entre el 8 y el 11 de diciembre y por el contrario sobre el 14 al 16 la Central amortiguó, por lo tanto, surge la pregunta **¿de dónde provino el caudal que sostuvo la inundación en el 11 y el 16 de diciembre?**. Además, la magnitud de los caudales adicionales en mi conocimiento sobre las condiciones hidrológicas e hidráulicas del río no son suficientes como para desbordar el río Magdalena en ese punto de la cuenca. De hecho, al analizar la variación de los niveles del río Magdalena en las estaciones Puente Santander (aguas arriba del predio) y La Angostura (aguas abajo del predio) los registros muestran que el nivel de la estación Puente Santander el 7 de diciembre de 2011 era de 715 centímetros (nivel referencia día previo antes de la inundación que narra el demandante), luego el 8 de diciembre el nivel ascendió a 863

centímetros, es decir que el aumento del nivel fue de 148 centímetros (1.48 metros). Por su parte, la estación La Angostura el día 7 de diciembre registro un nivel de 522 centímetros y luego el 8 de diciembre un nivel de 607 centímetros, es decir, un incremento de 85 centímetros (0.85 metros).

Los registros resultan cruciales para determinar la condición de desbordamiento del río Magdalena dado que de acuerdo con la información aportada por el demandante respecto del plano del predio en donde se alcanzan a identificar las cotas de la lámina de agua del río Magdalena (354.3.) y la cota máxima de inundación del predio (362.45) (ver **Figura 6-2**) se calcula que la diferencia de nivel de alrededor de 8.15 metros. Vale la pena aclarar que la diferencia de nivel estará en función del nivel del agua en el momento de la estimación. Sin embargo, del mismo plano de la **Figura 6-2**, la cota del “AREA CULTIVABLE INUNDADA” oscila entre la 358.2 (parte baja del predio) y la 362.45 (parte alta), es decir, una diferencia de nivel de 4.25 metros.

De esta manera, la variación de **nivel mínimo necesario para el desbordamiento del río Magdalena en este punto del predio El Higuerón, debe ser de 4.25 metros** asumiendo incluso que el nivel del río estaría en la cota del cárcamo de bombeo en el predio (ver **Figura 6-2**). Así las cosas, resulta improbable el desbordamiento del río Magdalena dado que incluso asumiendo que la variación del río se mantuvo constante entre Puente Santander y La Angostura (lo cual es hidráulicamente imposible dadas las pérdidas de energía en el trayecto) el río Magdalena incrementaría su nivel en hasta 1.48 metros siendo insuficiente para inundar el área señalada en la demanda.

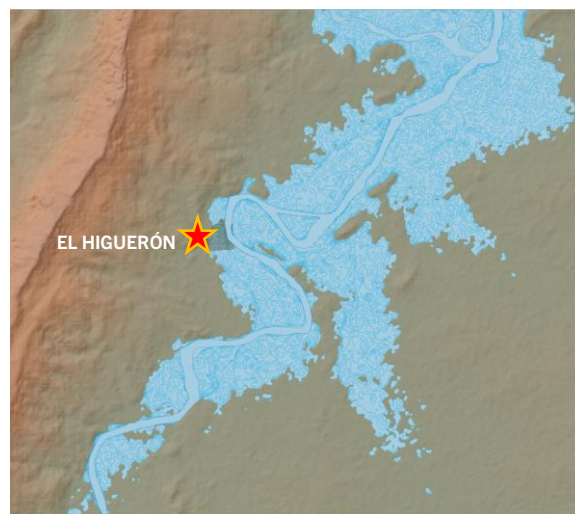


Figura 10-9 Mancha de Inundación estimada a partir de la cota máxima de inundación reportada por el demandante

Además, una proyección de la cota de inundación presentada en el plano de la **Figura 6-2** implicaría una inundación de dimensiones regionales según se puede observar de la **Figura 10-9**, en donde se proyecta una lámina de agua en la cota máxima de inundación señalada por el demandante. Como se puede apreciar el desbordamiento del río

Magdalena en los niveles del predio el Higuerón implicaría una inundación del orden de magnitud como la que se presenta en la **Figura 10-9**, lo cual en terminos reales no sucedió por el contexto general que conocemos de la época.

11 CONCLUSIONES

El proceso metodológico desarrollado y los resultados obtenidos durante la construcción de este dictamen pericial permitieron las siguientes conclusiones:

Las condiciones de **variabilidad climática por el fenómeno de la Niña** que afrontó el país durante 2010-2011 generó impactos negativos en las condiciones socio-económicas debido, entre otras cosas, a la perdida de cosechas y de animales (ganado bovino) en todo el territorio nacional, en especial en la macrocuenca Magdalena-Cauca (Euscategui and Hurtado 2011; Montealegre and Pabón 2000; Ruíz-Cabarcas 2012; Tobón and J. F. Boshell V. 2014).

Dicha condición de variabilidad afecto el contexto hidrometeorológico de la cuenca alta del río Magdalena **aumentando entre 1.7 y 4.7 veces el flujo de los caudales que normalmente** conduce el río Magdalena en el mes de diciembre de 2011.

Los movimientos de operación del embalse previo al mes de diciembre muestran que **el embalse se preparó para recibir el incremento de las afluencias por la continuidad del fenómeno de La Niña** al reducir sus niveles de tal forma que el embalse llegó a una capacidad de uso de alrededor del 80%, es decir, liberó un 20% del embalse.

Sin embargo, la variación de nivel mínimo necesario para el desbordamiento del río Magdalena en este punto del predio El Higuerón, debe ser de 4.25 metros asumiendo incluso que el nivel del río estaría en la cota del cárcamo de bombeo en el predio (ver Figura 6 2). Asi las cosas, resulta improbable el desbordamiento del río Magdalena dado que incluso asumiendo que la variación del río se mantuvo constante entre Puente Santander y La Angostura (lo cual es hidráulicamente imposible dadas las pérdidas de energía en el trayecto) el río Magdalena incrementaría su nivel en hasta 1.48 metros siendo insuficiente para inundar el área señalada en la demanda.

Por el contrario, las altas precipitaciones sobre la cuenca de la Quebrada La Canchosa como se ilustró en la **Figura 10-4** a la **Figura 10-8**, aunado a las condiciones morfométricas de la microcuenca de la quebrada sugieren la generación de caudales espontáneos del orden de los 4 a 5 m³/s según se puede calcular del dimensionamiento del Box-Coulvert sobre la vía nacional Bogotá-Neiva (ver **Fotografía 2**), caudales súbitos al llegar a la parte plana de la cuenca se desborda produciendo una inundación local, tal y como lo sugiere la estimación del IDEAM en sus manchas de inundación del fenómeno de La Niña de 2010-2011 presentado en la **Figura 6-3**.

De esta manera, y según los datos, información, análisis y los resultados, las causas probables que explican las inundaciones reportadas por el demandante obedecen a: **los**



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

altos valores de afluencias en la cuenca alta del río Magdalena alterados por la condición del Fenómeno de La Niña 2010-2011 declarado por el IDEAM que detonan la generación de caudales súbitos en la Quebrada La Canchosa y que dada la morfometría de la cuenca de la quebrada genera un escenario ideal para el desbordamiento de la quebrada luego del paso por el Box-Coulvert por el drástico cambio de la pendiente de la quebrada y de la cuenca.

Por todo lo anterior, **puedo concluir** que las causas que derivaron en los fenómenos de inundación relacionados por el demandante durante los pasados 8 a 16 de diciembre de 2011 es producto de:

FENÓMENOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA, específicamente el fenómeno de La Niña que afecto a todo el país, fenómeno natural y que detonaría caudales súbitos en la cuenca de la Quebrada La Canchosa.

De la manera más cordial y respetuosa,

JOHN ALEXANDER CHAVARRO DIAZ

Ingeniero Agrícola, Magister en Hidrosistemas

T.P. 00000-22731 AGR del C. P. Nacional de Ingeniería COPNIA

12 BIBLIOGRAFÍA

- Angarita, Héctor, Albertus J. Wickel, Jack Sieber, John Chavarro, Javier A. Maldonado-Ocampo, Guido A. Herrera-R, Juliana Delgado, and David Purkey. 2017. "Large-Scale Impacts of Hydropower Development on the Mompós Depression Wetlands, Colombia." *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* (September):1–39. doi: 10.5194/hess-2017-544.
- Angel, Jorge. 2006. "Análisis de La Variación de Caudales En La Cuenca Del Río Magdalena." 6(1):29–39.
- Arthington, Angela H., Stuart E. Bunn, N. LeRoy Poff, and Robert J. Naiman. 2006. "THE CHALLENGE OF PROVIDING ENVIRONMENTAL FLOW RULES TO SUSTAIN RIVER ECOSYSTEMS." *Ecological Applications* 16(4):1311–18. doi: 10.1890/1051-0761(2006)016[1311:TCOPEF]2.0.CO;2.
- Bedoya, M., C. Contreras, and F. Ruiz. 2010. *Estudio Nacional Del Agua (ENA)*. Bogota, D.C.
- Cressie, Noel. 1990. "The Origins of Kriging." *Mathematical Geology* 22(3):239–52. doi: 10.1007/BF00889887.
- Domínguez Calle, Efraín Antonio, John Alexander Chavarro-Díaz, Andres Norberto Velasco, Jorge Ivan Chavarro-Díaz, David De-León, Carlos Fernando Parra Díaz, and Alan Ernesto Garrido. 2018. *Cambio Climático y Variabilidad Climática Extrema En El Huila: Herramientas Para La Caracterización de La Amenaza Hidroclimática*. edited by Sciobanu. Madrid: Editorial Académica Española.
- Euscategui, Christian, and Gonzalo Hurtado. 2011. "Análisis Del Impacto Del Fenómeno 'La Niña' 2010-2011 En La Hidroclimatología Del País." P. 32 in *II Congreso Nacional del Clima: La Adaptación de Colombia*. Bogota, Colombia: IDEAM.
- Gianfagna, Chris C., Chris E. Johnson, David G. Chandler, and Charlie Hofmann. 2015. "Watershed Area Ratio Accurately Predicts Daily Streamflow in Nested Catchments in the Catskills, New York." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4:583–94. doi: 10.1016/j.ejrh.2015.09.002.
- IDEAM. 2013. *Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia*. Bogota, D.C.
- IDEAM. 2018. *Estudio Nacional Del Agua 2018*. edited by M. García, O. N. Vargas M., O. Jaramillo R., and J. P. Marín S. Bogota, Colombia: IDEAM.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, and CANCELLERÍA. 2015. *Nuevos Escenarios de Cambio Climático Para Colombia 2011-2100 Herramientas. Científicas Para La Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogota, D.C.
- Jiménez, Johanna, Jaime Vélez, and Germán Poveda. 2011. "Efectos Del Cambio Climático En Los Recursos Hídricos Para La Generación de Energía Eléctrica." Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Bogota, Colombia.
- MAVDT. 2005. "Tesauro Ambiental Para Colombia." *Centro de Referencia y Documentación*. Retrieved (<https://bibliovirtual.minambiente.gov.co/documentos/tesauro/naveg.htm>).
- Méndez, Williams, Zuleika Gonzalez, Jesús Suarez, Maraisa Arauno, Mayerling Vielma, and Heliana Maiz. 2016. "Geomorfología de Los Abanicos Aluviales Del Piedemonte Norte Del Macizo El Ávila, Estado Vargas, Venezuela." *Revista de Investigación* 40:87–121.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. *Política Nacional Para La Gestión Integral Del Recurso Hídrico*.
- Montealegre, Jose Edgar. 2009. *Estudio de La Variabilidad Climática de La Precipitación En Colombia Asociada a Procesos Oceánicos y Atmosféricos de Meso y Gran Escala*. Bogota, D.C.
- Montealegre, Jose Edgar, and Jose Daniel Pabón. 2000. "La Variabilidad Climática Interanual Asociada Al Ciclo El Niño-La Niña-Oscilación Del Sur Y Su Efecto En El Patron Pluviométrico De Colombia." *Meteorología Colombiana* 7–21.
- NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL). 2015. *Shuttle Radar Topography Mission United States 1 Arc Second. Version 3. 6oS, 69oW*. Sioux Falls, South Dakota. doi: 10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMUS1.003.
- National Research Council. 2002. *Estimating Water Use in the United States: A New Paradigm for the National Water-Use Information Program*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- OMM. 1990. *Guía de Prácticas Climatológicas*.
- Planas-Fajardo, José, Julio González-Piedra, Raúl León-Pérez, and Jorge Machín. 2015. "La Integración Del Manejo de Cuencas y Zonas Costeras." P. 263 in *Manejo Integrado de Zonas Costeras en Cuba: Estado Actual, retos y Desafíos*, edited by G. A. González. La Habana, Cuba.
- Poveda, Germán, J. Velez, Oscar Mesa, Carlos Hoyos, Freddy Mejía, Olga Barco, and Paula Correa. 2002. "Influencia de Fenómenos Macroclimáticos Sobre El Ciclo Anual de La Hidrología Colombiana: Cuantificación Lineal, No Lineal y Percentiles Probabilísticos." *Meteorología Colombiana* 121–30.
- QGIS Development Team. 2020. "QGIS Geographic Information System."
- Ruiz-Cabarcas, Aida. 2012. "Análisis Del Impacto de Los Fenómenos El Niño y La Niña En La Producción Agrícola Del Departamento Del Atlántico." Universidad Nacional de Colombia.



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

- Ruiz, Luis Miguel, Juliana Delgado, Héctor Angarita, Hernán Salas, Joany Sánchez, Mónica Cortés, and Oscar Rueda. 2016. "Efecto de Medidas de Adaptación Basada En Ecosistemas Sobre Métricas Hidrológicas Considerando Cambio Climático: Río Nechí, Colombia." *Aqua-LAC* 8:21–33.
- Smakhtin, V. .. 2001. "Low Flow Hydrology: A Review." *Journal of Hydrology* 240(3–4):147–86. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00340-1.
- Spence, Christopher, and Samson Girma Mengistu. 2017. "On the Relationship Between Flood and Contributing Area." *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 1–34. doi: 10.5194/hess-2017-252.
- Tobón, Julie, and J. F. Boshell V. 2014. "Análisis de La Gestión Del Riesgo de Desastres En Colombia. Un Aporte Para La Construcción de Políticas Públicas."
- USGS VizLab. 2022. *El Ciclo Del Agua - The Water Cycle, Spanish*.
- Ven Te Chow, David R. Maidment, and Larry W. Mays. 1994. *Hidrología Aplicada*.



PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

ANEXOS

ANEXO 01– ESTACIONES DE PRECIPITACION – METADATOS

CODIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	FECHA INST	FECHA SUSP	ANUAL (mm)
21010040	LAGUNA LA	1.9615	-76.0857	1334	Jul-63		1,401.2
21010050	SAN JOSE DE ISNOS	1.9316	-76.2149	1720	Jun-60		1,467.3
21010060	MEDIANIA	2.0208	-76.1721	1763	Aug-63		1,847.4
21010100	PALESTINA	1.7248	-76.1333	1530	Mar-71		1,602.9
21010110	INSFOPAL	1.8449	-76.0744	1265	Mar-71		1,340.4
21010130	BAJO FRUTAL	1.8104	-76.2467	1660	Oct-75		1,837.1
21010140	CANDELA LA	1.8644	-76.3608	1940	Nov-75		2,020.9
21010160	VILLA FATIMA	1.8994	-76.3942	1724	Nov-75		1,706.9
21010170	ESC BELEN	1.9014	-76.1725	1700	May-80		1,672.2
21010180	TABOR EL	1.6953	-76.1552	1700	Jun-80		1,980.3
21010190	ALTO DEL OBISPO	1.8489	-76.2497	1700	Jun-80		1,627.0
21010200	SULCHOMISCO	1.8503	-76.3176	1800	May-80		1,876.3
21010210	MONTECRISTO	1.7138	-76.1889	1674	May-80		2,218.6
21010220	MORELIA	2.0659	-76.1850	1625	May-80		2,303.5
21010230	BETANIA TV	1.9058	-76.3043	1949	May-80		1,484.3
21010250	HORNITOS	1.9778	-76.2535	2000	May-80		1,626.9
21015020	SEVILLA	1.8248	-76.1303	1320	Jun-71		1,255.5
21015030	PARQUE ARQUEOLOGIC	1.8885	-76.2950	1800	Jun-71		1,465.6
21020040	VISO EL	2.0171	-75.9072	1017	May-80		1,183.2
21020050	PTE SALADOBLANCO R	1.9842	-76.0138	1046	Feb-79		1,440.5
21030050	GUADALUPE	2.0263	-75.7754	893	Apr-64		1,232.5
21030060	SAN ADOLFO	1.7143	-76.0221	1345	May-64		2,079.2
21030090	JAGUA LA	2.2029	-75.6777	755	Jun-71		994.9
21030110	SAN ANTONIO DEL PE	2.0778	-75.6819	1190	May-80		1,577.9
21035020	RESINA	1.9139	-75.6790	2102	Apr-71	Aug-10	2,220.2
21035040	LIBANO EL	1.8684	-75.8278	1045	Dec-85		1,236.7
21040020	ANTENA TV	2.3340	-75.7285	2210	Apr-71		1,877.3
21040030	OPORAPA	2.0309	-76.1003	1614	Nov-75		1,533.0
21040040	PTE BALSEADERO RAD	2.2324	-75.6486	688	Feb-79		994.7
21040050	TARQUI	2.1088	-75.8228	830	Jun-80		996.4
21040060	TRES ESQUINAS	2.1994	-75.7794	805	Jun-80		1,108.5
21050060	ARGENTINA LA	2.1991	-75.9723	1500	Dec-58		1,572.1
21050090	NATAGA	2.5514	-75.8065	1545	Apr-71		1,947.3
21050110	INZA	2.5482	-76.0639	1800	Apr-71	Aug-14	1,515.0
21050140	HATILLO EL	2.5108	-75.6157	900	Nov-75		1,683.1
21050150	PAEZ PAICOL RADIO	2.4584	-75.7583	788	Feb-79		1,763.1
21050160	SAN VICENTE	2.3171	-76.0101	1745	Nov-75		1,663.8
21050170	YARUMAL	2.6524	-75.7589	1950	Nov-75		1,850.0
21050190	MEREMBERG HDA	2.2181	-76.1174	2220	Jun-80		1,893.7
21050220	SAN LUIS	2.5659	-75.9279	1462	Nov-75		1,413.1
21050230	SAN ANDRES	2.5818	-76.0468	1595	Nov-75		1,815.3
21050240	STA TERESA	2.4606	-76.0542	1600	Nov-75		1,644.4
21050250	ALTAMIRA	2.5010	-76.0952	2235	Nov-75		1,982.6
21050290	TESALIA 2	2.4913	-75.7285	825	Apr-71		1,605.4
21050310	ESC RIOSUCIO 2	2.4468	-76.1689	2750	Oct-83		2,320.9
21055020	ESC AGR LA PLATA	2.3783	-75.8913	1070	Dec-69		1,556.5
21055030	STA LETICIA	2.2415	-76.1639	2085	Jun-71		1,789.8
21060040	PITA LA	2.2020	-75.5486	1330	Dec-58		1,507.2
21060070	GIGANTE 2	2.3889	-75.5381	850	Apr-71		1,091.4
21060080	GARZON	2.1901	-75.6051	990	Apr-71		1,094.4
21060090	HOBOL EL	2.5748	-75.4355	636	Apr-71		1,325.0
21060100	CRISTALINA LA HDA	2.3172	-75.5036	1460	Nov-79		1,567.6
21060110	RIOLORO	2.3215	-75.6247	721	Jun-80		1,038.1
21065040	ZULUAGA	2.2525	-75.5294	1270	Jun-71		1,331.2
21080070	STA ROSA HDA	2.6369	-75.5809	650	Oct-79		1,870.0
21080080	MINA LA	2.7931	-75.6320	1800	Nov-75		1,649.5
21080100	HERRERAS LAS	2.7728	-75.6131	1800	Nov-75		1,921.8

PERITAJE TÉCNICO HIDROLÓGICO

ANÁLISIS DE CAUSAS

PROCESO No.: 11001310304120220012800

2023

CODIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	FECHA INST	FECHA SUSP	ANUAL (mm)
21085020	IQUIRA	2.6522	-75.6293	1095	Apr-71	Jul-11	1,894.4
21085030	SAN RAFAEL	2.7604	-75.5827	1030	Sep-84		2,075.1
21090020	CUCHARO EL	2.8556	-75.3992	620	Dec-69		1,794.8
21090040	PAPAGAYO HDA	2.7776	-75.3475	460	Mar-68		1,443.0
21095010	JUNCAL EL	2.8288	-75.3312	460	Nov-65		1,405.0
21100080	NUEVO PARAISO	2.6153	-75.2067	1525	Oct-76		1,262.1
21100140	ARCADIA LA	2.4348	-75.4009	1380	Oct-76		1,765.3
21105030	ALGECIRAS	2.5217	-75.3223	1155	Apr-71		1,144.5
21105050	ROSALES LOS	2.5997	-75.4179	553	Dec-73	Dec-73	1,320.6
21110040	HATO MILAGRO	3.0749	-75.1684	548	Sep-71		1,164.5
21110070	BARAYA	3.1503	-75.0573	615	Nov-58		1,144.8
21110090	POTOSI	3.3871	-75.1693	400	Feb-59		1,308.9
21110120	YEGUERA LA	3.3053	-75.2008	400	Nov-65		1,120.4
21110160	MESA REDONDA	3.1185	-75.1990	500	Sep-69		1,119.1
21110180	HATO BOGOTA	3.0360	-75.1597	591	Sep-69		1,213.3
21110290	VICTORIA LA	3.3496	-75.1703	400	Jul-68		1,353.8
21110330	OLONIA	3.1874	-75.2184	429	Nov-65		1,176.6
21110400	STA HELENA	2.8511	-75.1082	1160	Jun-83		1,657.0
21110430	GIRONDA LA HDA	2.9061	-75.1204	1060	Jun-83		1,569.2
21110440	GUADUAL EL	2.7957	-75.2393	735	Sep-83		1,772.6
21115060	SAN JOSE	3.3292	-75.1841	400	Oct-63		1,122.4
21115070	PORTAL EL	3.0149	-75.0730	1300	Jun-63		1,436.1
21115080	VILLAVIEJA FFCC	3.2225	-75.2163	430	Feb-64		1,142.1
21115100	PALACIO-VEGALARGA	2.9426	-75.0664	1100	Oct-71		1,611.8
21115160	MANILA LA HDA	3.1331	-75.0815	600	Jun-83		1,078.6
21120090	TOTUMO EL	2.8703	-75.4910	700	Oct-71		1,874.3
21120100	VOLCAN EL	2.8650	-75.5664	1105	Nov-76		2,255.7
21120130	RIONEGRO HDA	2.9119	-75.4261	560	Oct-79		1,742.2
21125010	STA MARIA	2.9357	-75.5891	1300	Sep-71		1,609.7
21130040	SAN LUIS	3.0806	-75.4847	1140	Aug-71		2,025.8
21130050	PEREZ HDA	3.2436	-75.2559	450	Jul-66		1,179.6
21130060	CARMEN EL	3.0071	-75.5592	2250	Jan-66		2,145.3
21130080	ORGANOS	3.1208	-75.4923	800	Apr-73		2,072.5
21130110	PRAGA	3.2686	-75.4907	1085	Apr-73		2,002.9
21130180	ALTAMIRA DC HDA	3.4536	-75.1509	500	Nov-79		1,311.3
21135030	ANCHIQUE	3.5738	-75.1090	415	Dec-63		1,516.5
21140030	ARIZONA	3.2792	-74.9342	638	Jan-73		879.6
21140080	MIRAFLORES	3.4805	-74.7438	1049	Apr-73		1,256.3
21140100	SAN JUANITO	3.4230	-75.1046	368	Jul-69		1,288.4
21140110	TOMO EL	3.3454	-75.0974	444	Oct-77		998.2
21140120	CRUCES LAS	3.4259	-74.9203	1400	Oct-74		1,855.8
21145070	LEGIOSA LA	3.3110	-74.7029	1476	Oct-71		2,345.3
21150030	TINAJAS	3.5661	-75.0625	290	Sep-75		1,413.9
21130010	PURIFICACION	3.8473	-74.9365	305	May-58		1,921.1
21160030	CUNDAY	4.0664	-74.6876	4543	Sep-58		2,035.0
21160040	ACO	3.7463	-74.8109	378	Feb-59		2,292.0
21160050	PINALITO HDA	3.6717	-74.8430	9217	Feb-59		2,374.4
21160080	BOQUERON	3.7538	-74.9009	337	Mar-62		1,985.9
21160160	LLANITOS	3.6206	-74.7997	1388	Sep-83		2,317.6
21160170	FIQUE EL	3.7093	-74.7908	1040	Sep-83		2,294.7
21160180	PTO LLERAS	3.8398	-74.6883	1209	Sep-83		2,505.1
21160200	CONC L BUSTAMANTE	3.8931	-74.5708	1613	Aug-80		2,133.4
21165030	LOZANIA	3.8979	-74.7715	394	Mar-72		2,012.3
26015020	PALETARA	2.1667	-75.4500	2900	Apr-71	Sep-05	1,204.4