



Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema

Presentado a:



Dirigido por:

Ing. Gonzalo Cifuentes Ospina

Gerente técnico

Magister en recursos hídricos e hidroinformática

Aqualogs SAS

Aprobado por:

GEOPARK COLOMBIA SAS

Versión 02

Bogotá, diciembre de 2025

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

DATOS DEL INFORME

Título	Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		
Código del informe	AQ194	Versión del informe	02

CONTROL DE CALIDAD INTERNO AQUALOGS SAS

Elaborado por	GONZALO CIFUENTES OSPINA Gerente Técnico
	CARLOS PUENTES Director de Proyectos
	JORGE MARIN Ingeniero de Proyectos
Fecha	Diciembre 03 del 2025

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Tabla de contenido

1.	Introducción	8
2.	Fuentes de información	9
3.	Metodología general	12
3.1.	Modelación hidrológica	14
3.1.1.	Método de modelación.....	14
3.1.2.	Regionalización de cuencas.....	16
3.2.	Modelo hidráulico.....	19
4.	Conceptualización hidrológica	21
4.1.	Localización.....	21
4.2.	Red hídrica del modelo hidrológico	24
4.3.	Dinámicas fluviales	30
4.3.1.	Factores de influencia	30
5.	Conceptualización hidráulica	41
5.1.	Análisis hidráulico del área de estudio	41
5.2.	Dinámica hídrica regional	43
5.2.1.	Dinámica hídrica del río Meta	45
5.3.	Factores locales relevantes.....	45
5.3.1.	Modificaciones antrópicas	45
5.3.2.	Consideraciones de la modelación.....	49
5.4.	Análisis de remansos en el río Meta.....	51
5.4.1.	Metodología	52
5.4.2.	Tabla comparativa de imágenes satelitales	60
6.	Eventos de inundación históricos.....	71
6.1.	Información secundaria	71
6.1.1.	Alcaldía de Villanueva	73
6.1.2.	Alcaldía de Tauramena.....	75
6.1.3.	Gobernación de Casanare	77
6.1.4.	IDEAM	80
6.2.	Recolección de testimonios	82
6.2.1.	Listado de vecinos	82

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.2.2.	Formato de entrevistas	83
6.2.3.	Testimonios con la comunidad	87
6.3.	Evento de inundación reciente	89
6.4.	Reporte semanal de alertas (14 de junio, 9:37 AM)	90
6.5.	Comunicado Alcaldía de Villanueva, Casanare (14 de junio, 2:18 PM)	91
6.1.	Nivel del río Upía en el municipio de Barraca de Upía	92
6.2.	Vía entre los Gemelos – Guaco	94
6.3.	Acceso Guaco	96
6.4.	Jacana Central (CPF)	97
6.5.	Portería y vía de acceso a las plataformas Jacana	99
6.6.	Jacana Sur y vía de acceso	101
6.7.	Vía Santa Elena de Upía – Puerto Miriam desbordamiento del caño Aguaverde (16 de julio, 6:54 AM)	103
6.8.	Nivel del río Túa	105
6.9.	Mancha de inundación mediante información SAR	106
6.10.	Dinámicas Identificadas	109
6.10.1.	Origen del evento	109
6.10.2.	Comportamiento dentro del bloque	110
7.	Anexos	113
7.1.	Anexo 1 Conceptualización hidrológica	113
7.2.	Anexo 2 Conceptualización hidráulica	113
7.3.	Anexo 3 Eventos históricos	113
7.4.	Anexo 4 Eventos recientes	113
8.	Bibliografía	114

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Tablas

Tabla 2-1. Fuentes de información empleada en el desarrollo del estudio	9
Tabla 4-1. Porcentaje de cobertura de la tierra en la cuenca del río Túa para los periodos del 2002 al 2020	32
Tabla 4-2. Porcentaje de cobertura de la tierra en la cuenca del caño Aguaverde para los periodos del 2002 al 2020	32
Tabla 4-3. Porcentaje de cobertura de la tierra en las cuencas directas al río Meta para los periodos del 2002 al 2020	32
Tabla 4-4. Coberturas de la tierra en la cuenca del río Túa para los periodos del 2002 al 2020	33
Tabla 4-5. Coberturas de la tierra en las cuencas del caño Aguaverde para los periodos del 2002 al 2020	33
Tabla 4-6. Coberturas de la tierra en las cuencas directas al río Meta para los periodos del 2002 al 2020	34
Tabla 4-7. Líneas del tiempo de las coberturas de las cuencas	35
Tabla 5-1. Periodos analizados	56
Tabla 5-2. Información general de las imágenes satelitales	58
Tabla 5-3. Tabla comparativa de imágenes Satelitales	60
Tabla 5-4. Dinámicas identificadas del río Meta	68
Tabla 6-1. Resumen derechos de petición de solicitud de información	71
Tabla 6-2. Resumen reuniones de avance del estudio y solicitud información	72
Tabla 6-3. Información de la Alcaldía de Villanueva empleada en el desarrollo del estudio	74
Tabla 6-4. Información de la Alcaldía de Tauramena empleada en el desarrollo del estudio	75
Tabla 6-5. Información de la Gobernación de Casanare empleada en el desarrollo del estudio	77
Tabla 6-6. Información del IDEAM empleada en el desarrollo del estudio	80
Tabla 6-7. Seguimiento nivel en Barranca de Upía.	92
Tabla 6-8. Seguimiento vía los Gemelos – Guaco	94
Tabla 6-9. Seguimiento Acceso Guaco	96
Tabla 6-10. Seguimiento Jacana Central	97
Tabla 6-11. Seguimiento portería y vía de acceso a las plataformas Jacana	99
Tabla 6-12. Seguimiento plataforma y vía de acceso a Jacana Sur	101
Tabla 6-13. Comportamiento dentro del bloque	111

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Figuras

Figura 3-1. Metodología general del proyecto.....	13
Figura 3-2. Cuencas modeladas en TOPMODEL.....	15
Figura 3-3. Metodología modelación hidrológica	16
Figura 3-4. Cuencas pivote	18
Figura 3-5. Metodología de la modelación hidráulica	20
Figura 4-1. Localización del bloque Llanos 34.....	22
Figura 4-2. Drenajes en el bloque Llanos 34	23
Figura 4-3. Cauces de entrada en el bloque Llanos 34.....	24
Figura 4-4. Cuencas asociadas al bloque de Explotación Llanos 34, Escala 1:750,000	26
Figura 4-5. Cuencas asociadas al bloque de Explotación Llanos 34, Escala 1:1,250,000	27
Figura 4-6. Subcuencas del río Túa, Escala 1:750,000.....	28
Figura 4-7. Conceptualización de las dinámicas de la cuenca del río Túa, Escala 1:500,000.....	29
Figura 4-8. Coberturas de la tierra en las cuencas del estudio del año 2020	31
Figura 4-9. Shared Socioeconomic Pathways.....	38
Figura 4-10. Proyección simplificada del aumento de temperatura global durante el siglo XXI bajo diferentes familias de escenarios socioeconómicos compartidos.....	39
Figura 4-11. Distribuciones de probabilidad (%) de la fracción del territorio continental de China que experimenta diferentes porcentajes de cambio en la precipitación media anual (a), la precipitación media en el trimestre JJA (junio–agosto) (b), la precipitación máxima diaria anuales (Rx1day) (c) y el número de días con precipitación superior a 20 mm (R20mm) (d), bajo los escenarios climáticos SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5.	40
Figura 5-1. Subcuencas de los cauces dentro del bloque Llanos 34	42
Figura 5-2. Cuerpos lenticos dentro del bloque de explotación Llanos 34	43
Figura 5-3. Conceptualización de los cauces del bloque Llanos 34.....	44
Figura 5-4. Canales antrópicos en el área de estudio	46
Figura 5-5. Coberturas de la tierra en el área de estudio del año 2020	47
Figura 5-6. Infraestructura vial en el área de estudio	48
Figura 5-7. Cuencas de modelación hidráulica	50
Figura 5-8. esquema metodológico para el análisis de imágenes satelitales	53
Figura 5-9. Polígono de referencias análisis en el río Meta	54
Figura 5-10. Localización de la estación CABUYARO [35107030]	55
Figura 5-11. Curva de excedencia de caudales medios diarios en la estación CABUYAROO [35107030]	56
Figura 6-1. Registro fotográfico de las reuniones para la toma de testimonios realizadas.	83
Figura 6-2. Mapas parlantes resultados de entrevistas.	85
Figura 6-3. Ejemplo de formato para entrevistas.	86
Figura 6-4. Testimonios de la comunidad – Eventos de inundación.....	87
Figura 6-5. Principales vías afectadas.	89
Figura 6-6. Reporte semanal de alerta (07-07-2025 al 14-07-2025).....	90

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Figura 6-7. Comunicado situación de desbordamiento del río Upía – Activación del sistema municipal de gestión del riesgo de desastre..... 92

Figura 6-8. Puente sobre el caño Aguaverde. 104

Figura 6-9. Desbordamiento del caño Aguaverde 105

Figura 6-10. Nivel del río Túa en a la población de Caribayona 106

Figura 6-11. Mancha de inundación del 3 de julio del 2024 107

Figura 6-12. Mancha de inundación del 15 de julio del 2025 108

Figura 6-13. Flujo de origen del evento en cuenca del río Upía 109

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

1. Introducción

El presente documento corresponde a la conceptualización del sistema hidrológico en el marco del Estudio Hidrológico y modelación hidráulica del Bloque de Explotación Llanos 34, elaborado en cumplimiento a lo establecido en el artículo primero de la Resolución 1089 del 13 de junio de 2024, resuelta por la Resolución 2330 del 23 de octubre de 2024, emitidas por la ANLA.

En este documento se consolidan los conceptos generales asociados a la información hidrometeorológica, información geoespacial recopilada a partir de las diferentes instituciones oficiales y bases de datos disponibles y la información recolectada de los habitantes del área de estudio. Asimismo, se describen de manera detallada las metodologías empleadas en los distintos procedimientos técnicos requeridos para el análisis hidrológico e hidráulico.

Finalmente, se incluye una caracterización de los eventos de inundación más recientes en el área de estudio, haciendo énfasis en las modificaciones observadas en la dinámica de los desbordamientos y en las condiciones de inundación en el territorio.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

2. Fuentes de información

Las fuentes de información representan la descripción del origen de los datos utilizados en el proyecto. Estas pueden clasificarse en primarias y secundarias, dependiendo de su procedencia y grado de procesamiento. Los datos provenientes de estas fuentes pueden ser utilizados de forma directa en los estudios realizados o, en algunos casos, pueden requerir la aplicación de procesos de transformación y estandarización antes de su integración en las distintas fases de análisis. Esto garantiza la coherencia, calidad y compatibilidad de la información dentro del proyecto.

A continuación, se presenta una tabla con el detalle de los conjuntos de datos utilizados, incluyendo su nombre, fuente de origen, descripción y el uso previsto en el desarrollo de los estudios.

Tabla 2-1. Fuentes de información empleada en el desarrollo del estudio

Conjunto de datos	Fuente	Descripción	Uso
Imágenes satelitales.	- Colecciones de Landsat - Colecciones de Sentinel	Las imágenes Sentinel y Landsat son productos de teledetección utilizados para el monitoreo ambiental y análisis de cambios en la superficie terrestre. Sentinel, del programa Copernicus (ESA), ofrece imágenes de alta resolución para estudios de vegetación, agua y suelo. Landsat, operado por NASA y USGS, proporciona una serie histórica desde 1972, permitiendo el análisis de cambios a largo plazo, en el periodo comprendido entre 1980 – 2025 (ver Tabla 5-2)	En este estudio, las imágenes satelitales serán utilizadas como insumo principal para el análisis de coberturas del suelo, con un enfoque específico en la identificación de cuerpos de agua y su dinámica temporal. Mediante el procesamiento y análisis de las bandas espectrales disponibles en los sensores satelitales, se evaluará la presencia y permanencia del agua en la zona de estudio. Esta información permitirá caracterizar patrones de dinámica hídrica.
Coberturas del suelo.	IDEAM, 2021	La Cobertura de la Tierra - Período 2020 a escala 1:100.000 se elaboró mediante la interpretación de imágenes Landsat 8 del año 2020 para el territorio continental, siguiendo la Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, IGAC & Cormagdalena, 2008). Se definió un "límite ambiental" basado en el Marco Geoestadístico Nacional (MGN) y se establecieron superficies mínimas de 5 ha para territorios artificializados y 25 ha para demás coberturas, garantizando la precisión y estandarización de la información cartográfica.	Se utilizará como insumo principal para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua permanentes dentro del área de estudio. A través de la reclasificación de las coberturas del suelo, se garantizará una diferenciación precisa entre cuerpos de agua lóticos y lénticos, permitiendo una caracterización detallada de la dinámica hídrica en la región.
Series hidrológicas.	IDEAM	Las series hidrológicas del IDEAM incluyen precipitación, temperaturas, niveles y caudal, fundamentales para estudios hidrológicos e hidráulicos en modelación. Dependiendo de la especificidad requerida, se podrán utilizar otras series. Cada una posee características como longitud y porcentaje de datos vacíos, que se detallarán en su presentación.	A partir del análisis de las series de tiempo, se evaluará la información disponible para caracterizar los modelos hidrológico e hidráulico, reconstruir los eventos a modelar y analizar el flujo base, permitiendo una mejor comprensión de la dinámica hídrica del área de estudio.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Conjunto de datos	Fuente	Descripción	Uso
Pronósticos CMIP6	ECMWF, MOHC, GFDL, NCAR, MPI-M, CNRM, MRI, BCC, CCCma, CSIRO, INM y IITM.	Los modelos CMIP6 son herramientas climáticas avanzadas desarrolladas por instituciones globales para simular el sistema climático terrestre y proyectar escenarios futuros. Incorporan componentes atmosféricos, oceánicos, terrestres y de hielo marino, facilitando el análisis del cambio climático a diversas escalas. Su información es fundamental para los informes del IPCC y estudios sobre variabilidad climática, eventos extremos y calentamiento global.	Los resultados obtenidos serán utilizados para evaluar los cambios proyectados en los patrones de precipitación futura, permitiendo analizar tendencias, variabilidad y posibles impactos asociados al cambio climático.
Vías (municipales, departamentales y privadas)	IGAC	Las vías corresponden a la localización de carreteras departamentales o municipales que pueden modificar la dinámica hídrica del territorio.	Las vías representan un insumo fundamental para la evaluación de las inundaciones en el terreno, ya que su infraestructura influye directamente en la dinámica del flujo superficial. Los cambios en las manchas de inundación están determinados en gran medida por la distribución de las estructuras hidráulicas reguladoras, ubicadas en las vías, las cuales pueden modificar el almacenamiento y drenaje, afectando la propagación y permanencia del agua en el área de estudio.
Cartografía Geopark.	Geopark	El insumo incluye la infraestructura vial del proyecto, proporcionando información sobre la localización y características de las vías que pueden influir en la dinámica hídrica. Asimismo, contiene la zonificación hidrográfica del proyecto, permitiendo la identificación de unidades de drenaje y la relación entre la red vial y los cuerpos de agua. Toda esta información se encuentra a escala 1:10 000, y es tomada de la GDB radicada en los ICA's a la ANLA.	Se usará para la identificación de las estructuras asociadas al proyecto con el propósito de evaluar los cambios generados en la dinámica del hídrica.
Modelo Digital de Elevación. Colombia. SRTM 30 Metros. Año 2011	IGAC, 2011	Representación tridimensional de la topografía terrestre basada en datos obtenidos por la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Este modelo proporciona información detallada sobre la elevación del terreno con una resolución espacial de 30 metros.	Se emplea en el estudio hidrológico en la determinación de cuencas y en la identificación de los diferentes factores requeridos para la modelación hidrológica.
Eventos de inundación.	Información primaria	Se tomarán en cuenta diferentes fuentes de información en las cuales se describan eventos de inundación pasados y sus diferentes características. Esto incluye testimonios de la comunidad y la información suministrada por las diferentes entidades gubernamentales. El detalle de esta información se presenta en el numeral 6.1 y en los Anexos	Esta información será utilizada para la identificación del dominio de modelación y la revisión de los resultados a la luz de los eventos sucedidos.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Conjunto de datos	Fuente	Descripción	Uso
		A3_EventosHistoricos y A4_EventosRecientes.	

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

3. Metodología general

En el presente capítulo se describirán los procesos empleados para la evaluación de las dinámicas fluviales del bloque de Explotación Llanos 34, frente a los diferentes eventos de inundación. El desarrollo de la metodología se sintetizará a lo largo de los informes del capítulo 02. Conceptualización del sistema, capítulo 03 Análisis hidro climatológico y capítulo 04 Análisis hidráulico que hacen parte del Estudio Hidrológico y modelación hidráulica del Bloque de Explotación Llanos 34. En la Figura 3-1 se muestra la metodología general que se implementó para dar cumplimiento a lo requerido por la Autoridad Ambiental en la Resolución 1089 del 13 de junio de 2024, resuelta por la Resolución 2330 del 23 de octubre de 2024

La metodología comprende los procesos orientados a la obtención de las cotas de inundación, áreas inundadas y velocidades de flujo para el entendimiento de la dinámica hídrica del bloque de explotación Llanos 34 con y sin la infraestructura del proyecto. De manera central, los procedimientos principales corresponden al análisis hidro climatológico y al análisis hidráulico.

En este sentido, el presente informe se estructura en dos partes: en la primera se desarrolla el análisis hidro climatológico, cuyos resultados son insumo fundamental para la posterior ejecución del análisis hidráulico.

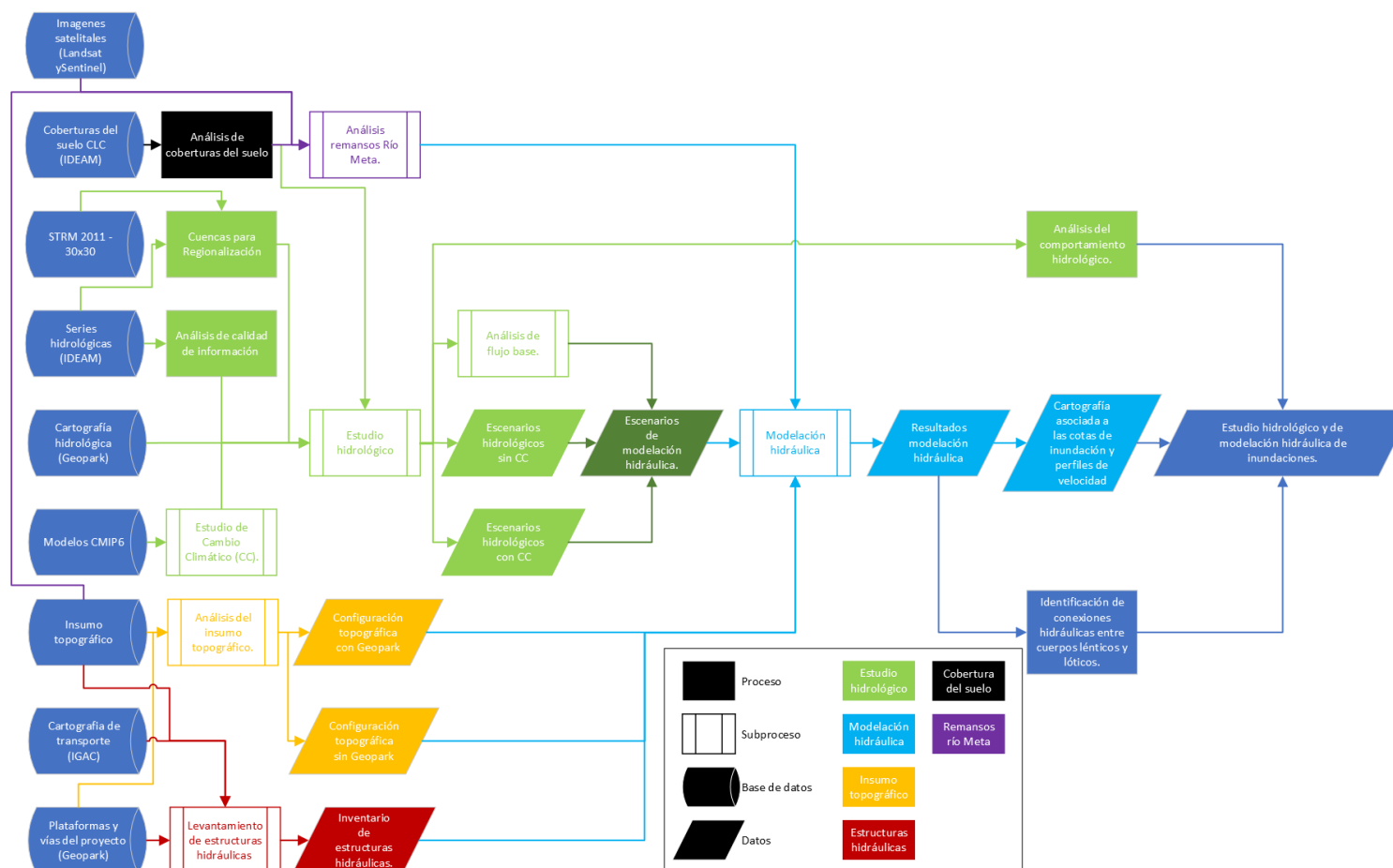


Figura 3-1. Metodología general del proyecto

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

3.1. Modelación hidrológica

Un modelo hidrológico es una herramienta matemática utilizada para simular el comportamiento del agua en una cuenca, permitiendo analizar cómo las características físicas del territorio influyen en la transformación de la precipitación en escorrentía. En el presente estudio, el objetivo principal del modelo es estimar los caudales máximos generados por eventos de precipitación intensa, con el fin de determinar las crecientes que ingresan al Bloque de Explotación Llanos 34.

En el presente capítulo se presentan las particularidades del modelo, como los métodos de modelación empleados y el uso de un proceso de regionalización utilizado en este estudio.

3.1.1. Método de modelación

Con el objetivo de generar los caudales asociados a los escenarios requeridos para la modelación hidráulica, se seleccionó el modelo hidrológico TOPMODEL para las cuencas de los cauces del río Túa y el caño Aguaverde, dado que este modelo permite una representación adecuada de los procesos hidrológicos presentes en dichas cuencas. Por otro lado, para la cuenca del río Upía se optó por realizar un tránsito de caudales, considerando el nivel de instrumentación disponible en la zona. Finalmente, para las cuencas de los caños Buenaventura, La Palmita, Orocuecito y Guadualito, se aplicó la modelación hidráulica de escorrentía directamente en el modelo hidráulico.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

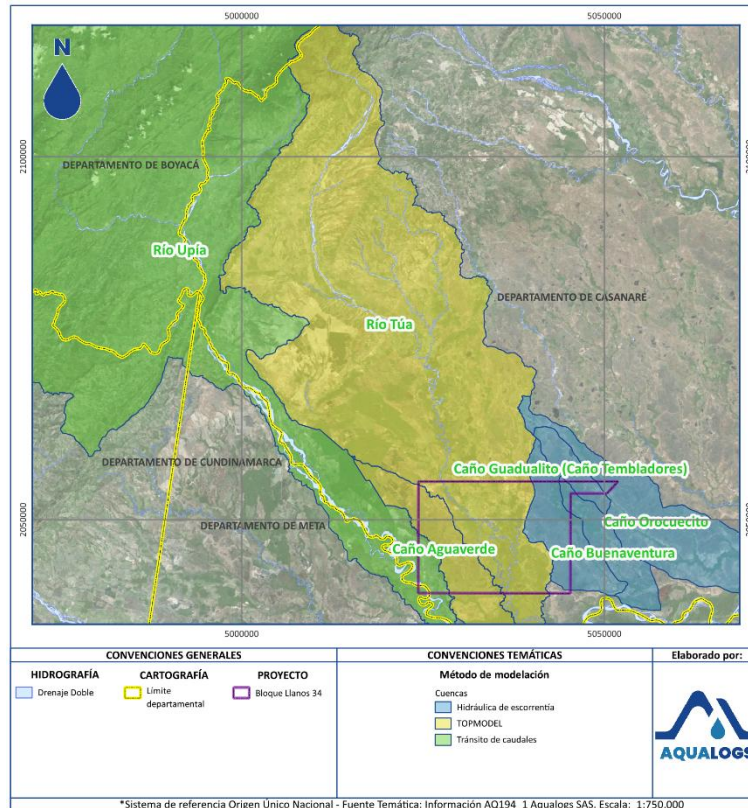


Figura 3-2. Cuencas modeladas en TOPMODEL

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

TOPMODEL fue seleccionado como herramienta para la modelación hidrológica debido a su capacidad para representar de manera adecuada procesos clave como la escorrentía superficial por saturación, el flujo subsuperficial, la evapotranspiración y ciertos componentes del flujo subterráneo. Su enfoque conceptual, basado en la topografía, permite una representación coherente de la distribución espacial de la humedad del suelo y su influencia en la generación de caudal.

El proceso de calibración y validación se realizó mediante la regionalización de cuencas hidrológicamente semejantes como son las cuencas del río Cabuyarito, el río Cusiana y el río Charte, debido a la ausencia de información observacional en el área de estudio. No obstante, se llevaron a cabo dos ejercicios de calibración: uno a escala diaria y otro a escala horaria, con el fin de evaluar adecuadamente el comportamiento del flujo base y asegurar una respuesta hidrológica precisa frente a las tormentas de diseño utilizadas en el análisis.

Con lo anterior, la metodología propuesta para la modelación hidrológica se presenta en la Figura 3-3.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

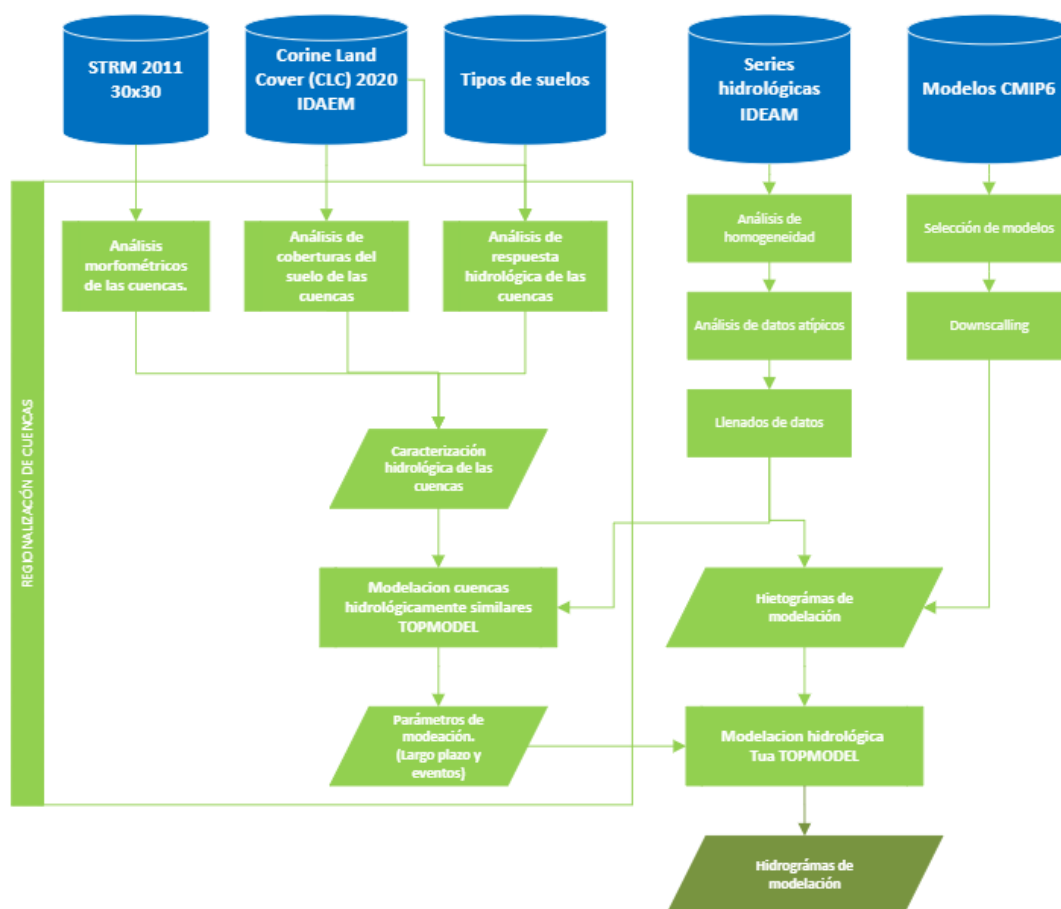


Figura 3-3. Metodología modelación hidrológica

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

3.1.2. Regionalización de cuencas

La calibración de un modelo hidrológico constituye un proceso esencial orientado al ajuste de sus parámetros, con el fin de garantizar que las simulaciones reproduzcan de manera representativa el comportamiento hidrológico observado. Este procedimiento se desarrolló a través de la modificación iterativa de los parámetros del modelo y la comparación de los resultados simulados con datos observacionales, generando un ciclo de mejora continua hasta alcanzar el cumplimiento de una función objetivo previamente definida, la cual puede estar basada en indicadores estadísticos de desempeño.

En el caso de las cuencas del río Túa y del caño Aguaverde, no se dispone de registros observacionales de caudales o niveles que permitan validar directamente el modelo hidrológico. Por tal motivo, se ha optado por la aplicación de un proceso de regionalización, el cual consiste en desarrollar modelos hidrológicos sobre cuencas hidrológicamente similares que cuenten con

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

información suficiente para su calibración. Posteriormente, los parámetros ajustados en estas cuencas de referencia son transferidos a los modelos correspondientes a las cuencas en estudio, lo que permite obtener estimaciones confiables y representativas del comportamiento hidrológico local.

Para este proceso, se han seleccionado tres cuencas pivote:

- Cuenca del río Cabuyarito, ubicada entre los departamentos de Meta y Cundinamarca. Seleccionada por su similitud y cercanía.
- Cuenca del río Cusiana, situada entre los departamentos de Casanare y Boyacá. Seleccionada por su similitud y la disponibilidad de datos de caudal a escala horaria.
- Cuenca del río Charte, ubicada entre los departamentos de Boyacá y Casanare

Este enfoque permite aumentar la fiabilidad de los resultados en contextos con ausencia de datos directos, asegurando que las estimaciones hidrológicas sean lo más precisas posible. Lo anterior resulta especialmente relevante considerando que el objetivo es identificar adecuadamente tanto el flujo base como la respuesta hidrológica ante eventos de tormenta.

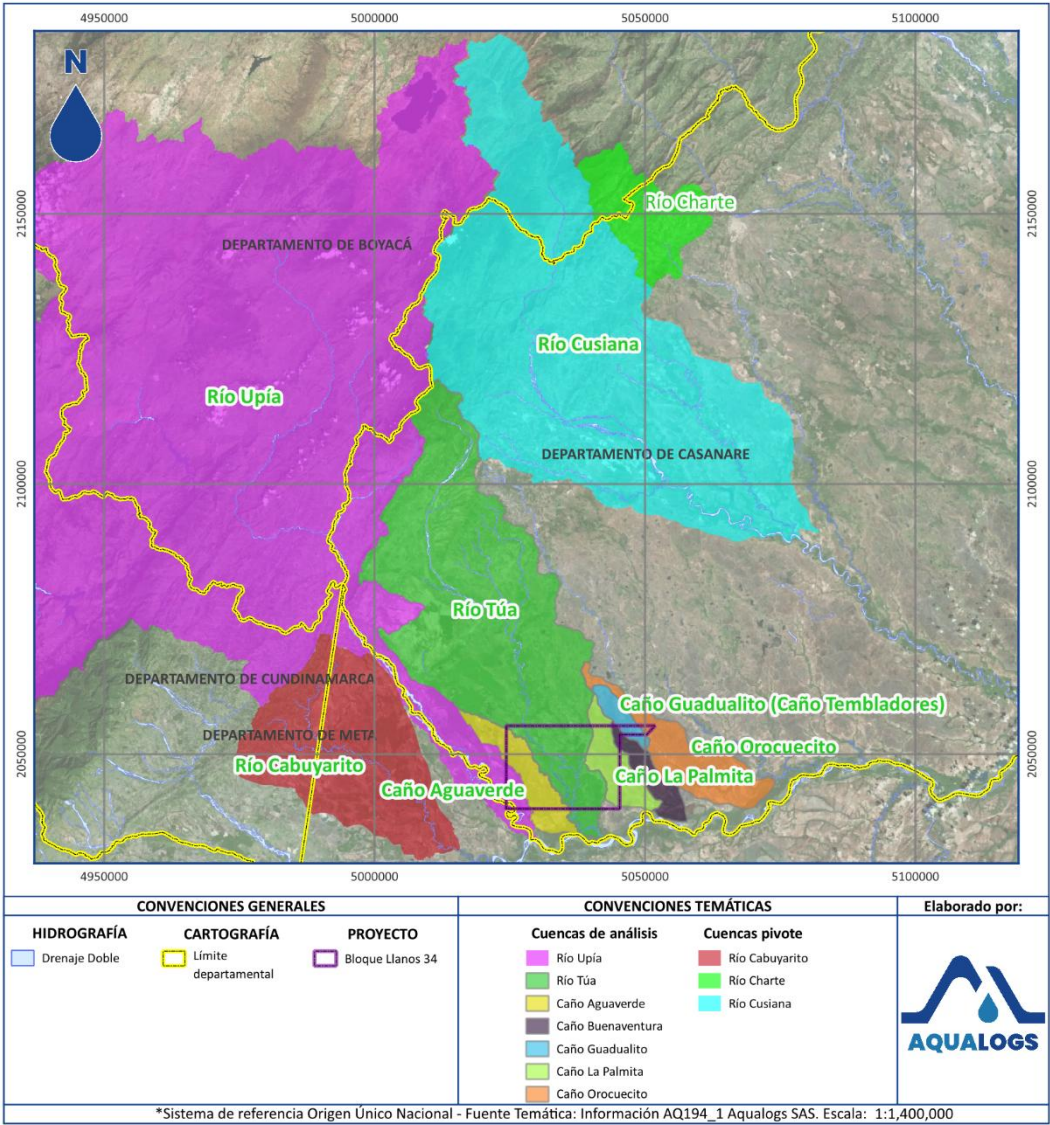


Figura 3-4. Cuencas pivote
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

3.2. Modelo hidráulico

La modelación hidráulica es un proceso mediante el cual se simula el comportamiento y desplazamiento del agua sobre una superficie, utilizando los principios de la mecánica de fluidos e incorporando las características físicas del terreno, tales como la topografía, el uso del suelo y la rugosidad hidráulica. Esta herramienta permite analizar la dinámica del flujo en diferentes escenarios.

A continuación, se describe la metodología general empleada para la modelación hidráulica, en concordancia con los lineamientos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (Vargas & Giraldo, 2018).

El proceso inicia con la definición del área de estudio y la recopilación de información base, incluyendo datos topográficos, climatológicos, hidrológicos y de uso del suelo. Posteriormente, se construye una malla computacional que represente con precisión el dominio hidráulico, definiendo una resolución adecuada según la complejidad morfológica del terreno y la presencia de infraestructuras relevantes. Con esta malla, se establecen las condiciones de frontera de entrada y salida, incorporando caudales, niveles de agua o precipitaciones según la información disponible. Una vez configurado el modelo, se procede a su evaluación, contrastando los resultados obtenidos con la evidencia empírica de eventos de inundación. Finalmente, se realizan simulaciones bajo distintos escenarios hidrológicos. De esta manera, se obtienen los resultados correspondientes a las manchas de inundación generadas para el área de estudio. En Figura 3-5 se presenta la metodología descrita.

Dadas las particularidades del área de estudio, la metodología propuesta para la modelación hidráulica incorpora una serie de tareas complementarias orientadas a mejorar la representatividad y precisión de los resultados.

En primera instancia, se plantea la construcción de un modelo preliminar de carácter general, cuyo objetivo es identificar el comportamiento hidrodinámico a gran escala y evaluar la factibilidad de generar submodelos específicos en zonas de interés. Al igual que la modelación de los diferentes submodelos identificados en el área de estudio.

Asimismo, se contempla la recolección de testimonios de habitantes de la región como herramienta de verificación cuantitativa de los resultados obtenidos, especialmente ante la limitada disponibilidad de información instrumental.

Adicionalmente, se integran insumos clave para la ejecución del modelo, tales como la topografía detallada del terreno y los caudales derivados del modelo hidrológico.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso de posprocesamiento de los resultados, con el fin de obtener productos cartográficos e indicadores que permitan una visualización clara y técnicamente sólida de las zonas asociadas a eventos de inundación

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

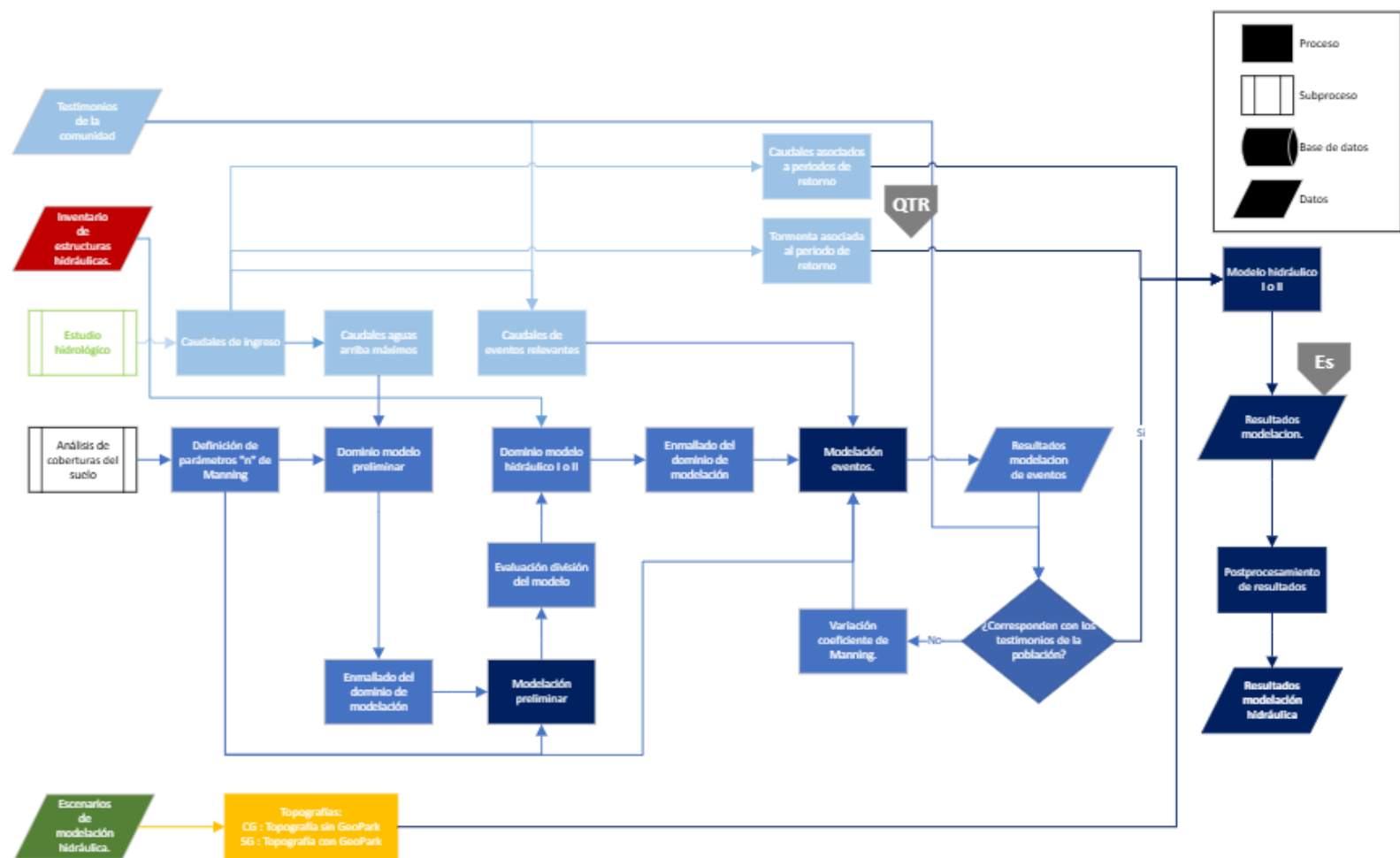


Figura 3-5. Metodología de la modelación hidráulica

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

4. Conceptualización hidrológica

Un estudio hidrológico, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), es un análisis técnico-científico que permite caracterizar y cuantificar los procesos hidrológicos en una cuenca o zona de interés. Este tipo de estudio se fundamenta en la recopilación, procesamiento y modelación de datos climáticos e hidrológicos, con el propósito de evaluar la variabilidad de los caudales y otros aspectos asociados a los recursos hídricos. En este contexto, el presente capítulo expone la conceptualización adoptada para la adecuada ejecución del estudio hidrológico, conforme a lo desarrollado en el informe técnico correspondiente.

4.1. Localización

El objetivo principal de este estudio hidrológico es la generación de caudales asociados a eventos extremos, con el fin de evaluar la capacidad de almacenamiento y la extensión de las manchas de inundación derivadas de estos eventos a partir de la modelación hidráulica. Este análisis es esencial para comprender la dinámica hídrica del área de estudio y su influencia en la infraestructura.

El estudio se enfoca en el bloque de Explotación Llanos 34, operado por GeoPark en el marco del contrato E&P con la ANH y bajo las actividades autorizadas en la Licencia Ambiental; donde se realizó la caracterización hidrológica detallada. Dentro de este bloque, el río Túa es el principal cuerpo de agua, ya que atraviesa una parte significativa del área de estudio, lo que lo convierte en un factor determinante en la evaluación hidrológica.

El bloque mencionado se encuentra en jurisdicción de Villanueva y Tauramena, en el departamento de Casanare, Colombia, específicamente al sur de ambos municipios, cerca del límite entre los departamentos de Casanare y Meta. Los ríos Upía y Meta actúan como fronteras naturales entre estas dos regiones. En la siguiente figura se presenta la ubicación del bloque a escala nacional, departamental, municipal y local, incluyendo la localización de las plataformas asociadas y la red hidrográfica del área.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

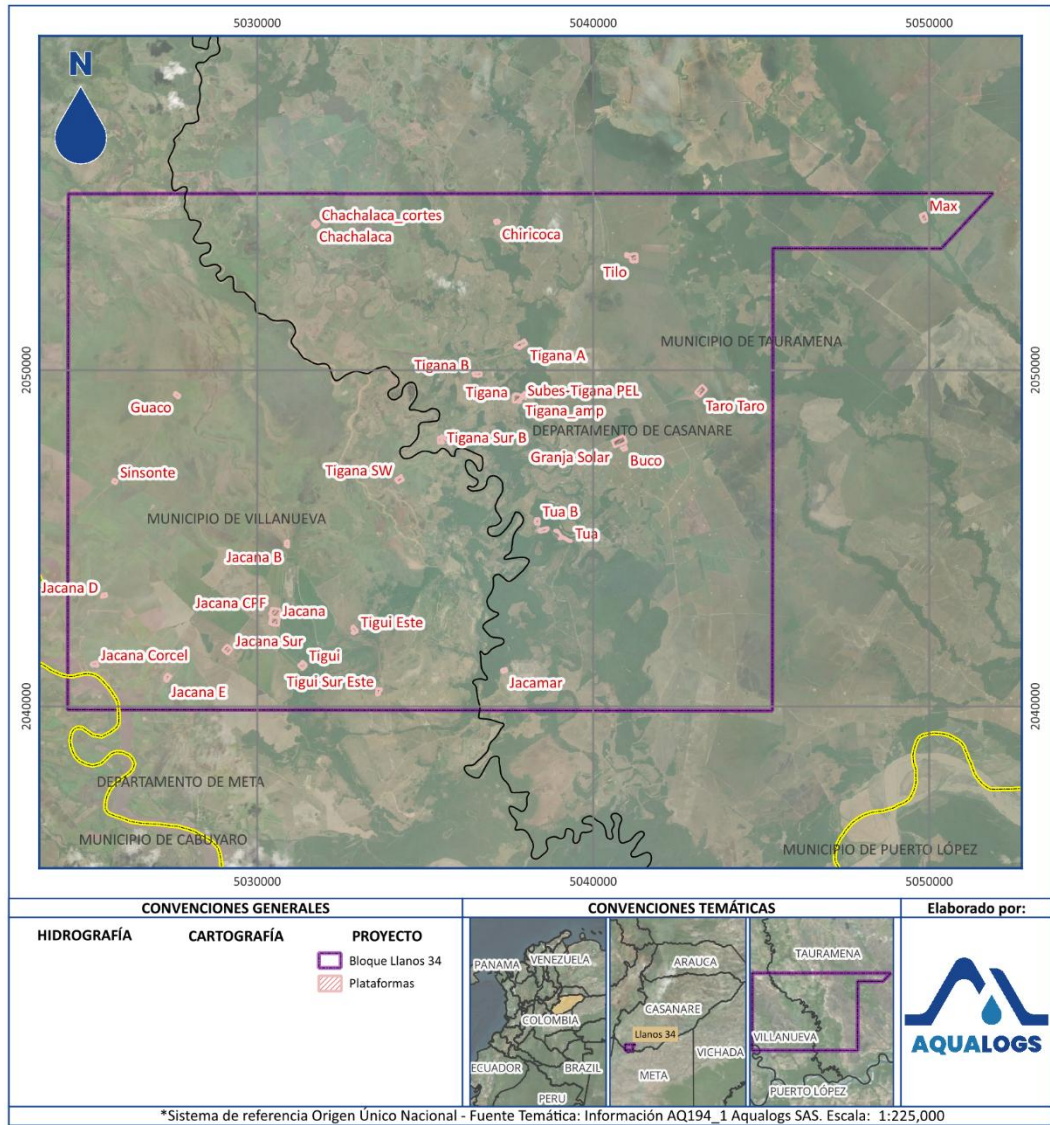


Figura 4-1. Localización del bloque Llanos 34

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

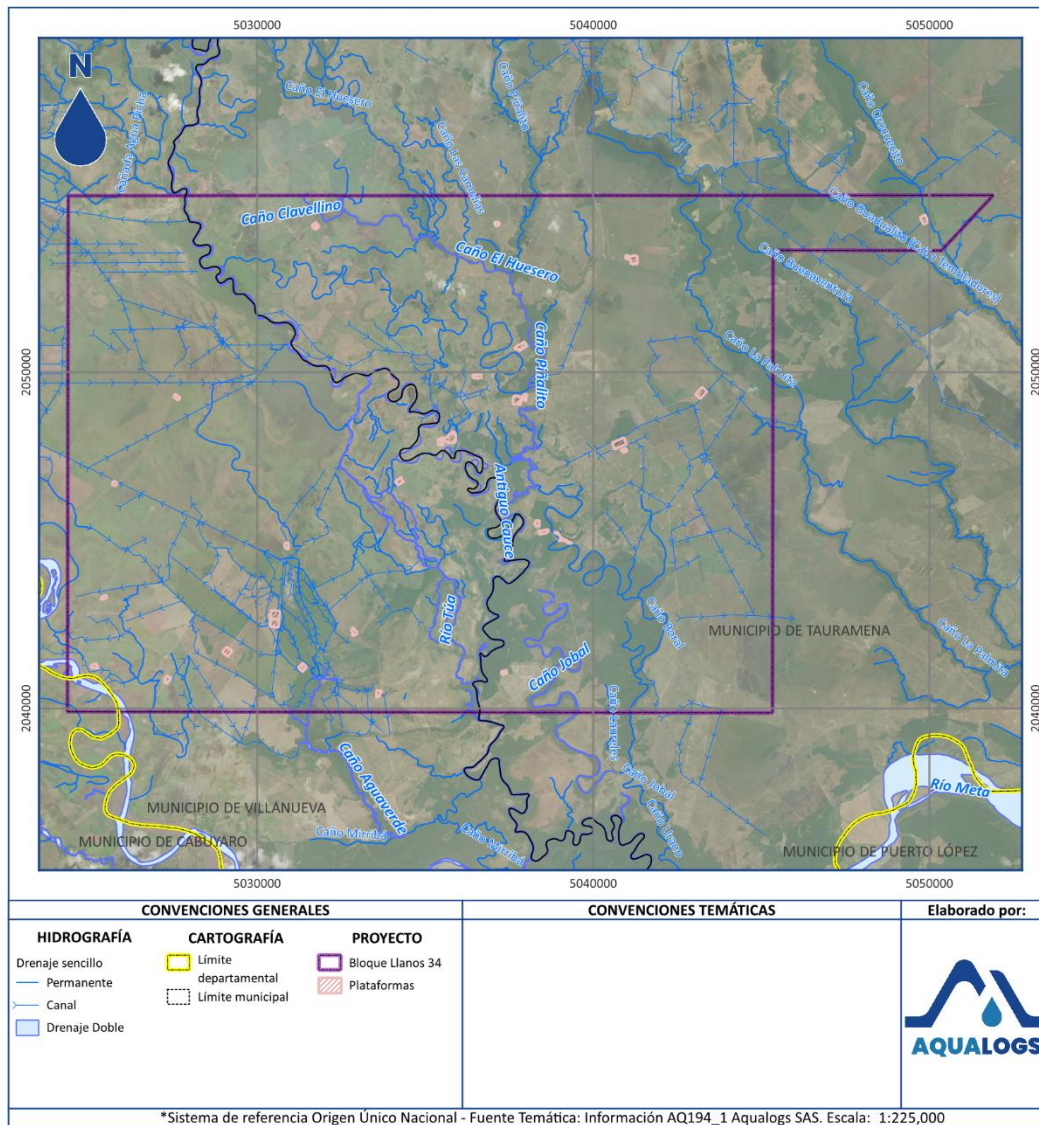


Figura 4-2. Drenajes en el bloque Llanos 34

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

El río Upía, aunque solo toca una parte del bloque, también será considerado en el análisis debido a su posible influencia en la dinámica hídrica del sector. Por otro lado, el río Meta, aunque no se encuentra dentro del bloque de estudio, será tomado en cuenta debido a la presencia de sus llanuras de inundación, las cuales pueden afectar indirectamente la dinámica fluvial del área evaluada.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

4.2. Red hídrica del modelo hidrológico

El primer paso para determinar la entrada de agua al Bloque de Explotación Llanos 34 es identificar los cuerpos de loticos también denominados cauces que ingresan en él. En la Figura 4-3 se pueden localizar dichos cauces.

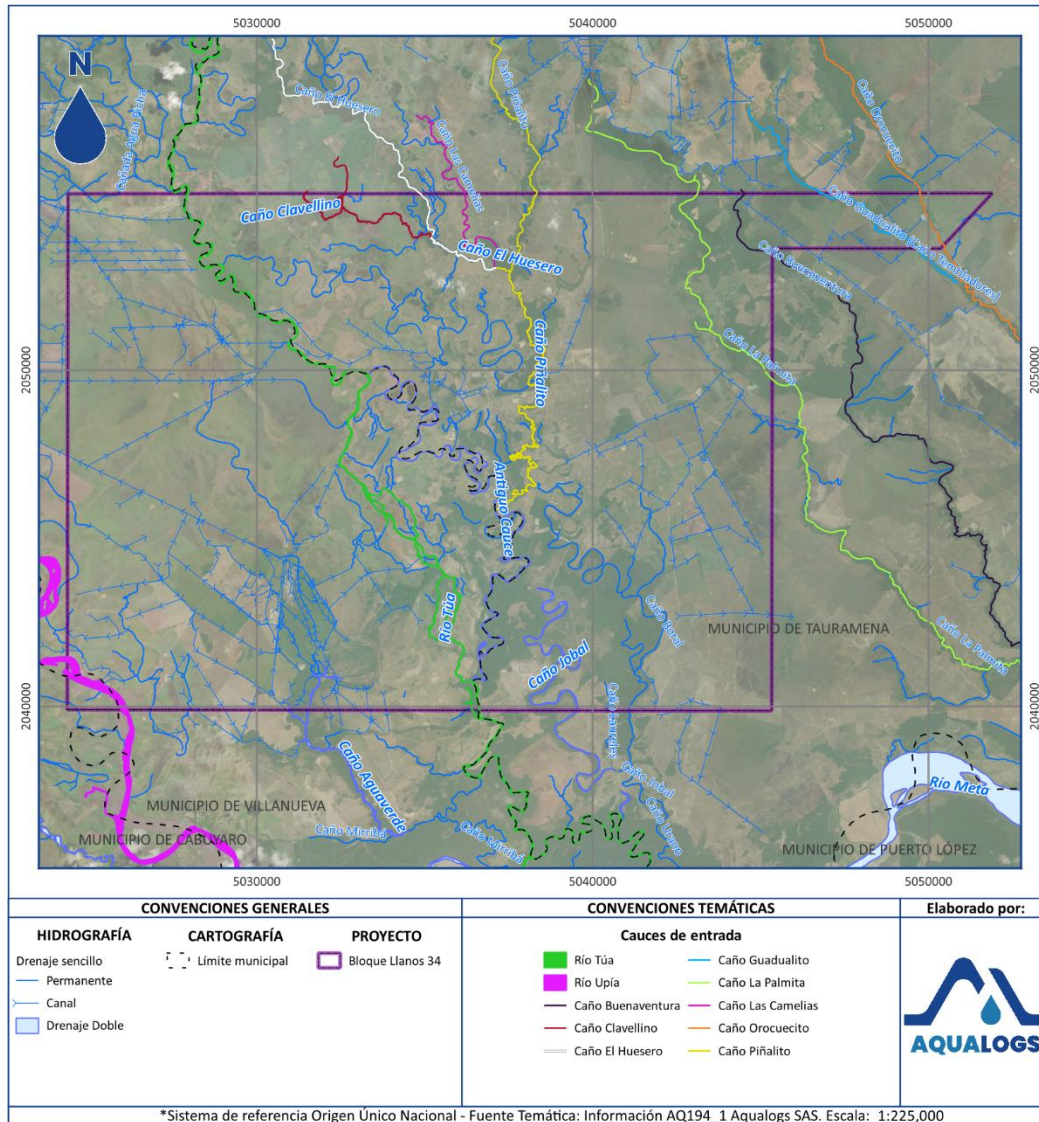


Figura 4-3. Cauces de entrada en el bloque Llanos 34

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Como se mencionó en el capítulo 4.1, los cauces de entrada principales para el área de estudio son el río Túa y el río Upía, en un segundo plano se encuentran los caños, Clavellino, el Huesero, las Camelias, Piñalito, la Palmita, Buenaventura, Guadualito y el Orocuecito, que son cuerpos de agua que ingresan al área de estudio.

Estas entradas están asociadas en su mayoría a afluentes de la cuenca del río Túa, siendo que el Bloque de explotación Llanos 34 se encuentra contenido en siete cuencas. Las cuencas son las asociadas al río Túa, al río Upía y el río Meta. Además de los caños Aguaverde, Palmita, Buenaventura y Orocuecito. De igual forma se encuentra mayoritariamente dentro de la cuenca del río Túa, la cual abarca los municipios de Villanueva, Tauramena, Monterrey y Sabanalarga.

Asimismo, el área de estudio comprende una sección de la cuenca del río Upía, cuya dinámica hídrica puede influir significativamente en el comportamiento de inundaciones del bloque y áreas aledañas. Esta cuenca abarca diversos municipios pertenecientes a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Casanare y Meta.

En la Figura 4-4 y en la Figura 4-5 se presentan la localización de las cuencas asociadas al bloque de Explotación Llanos 34.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

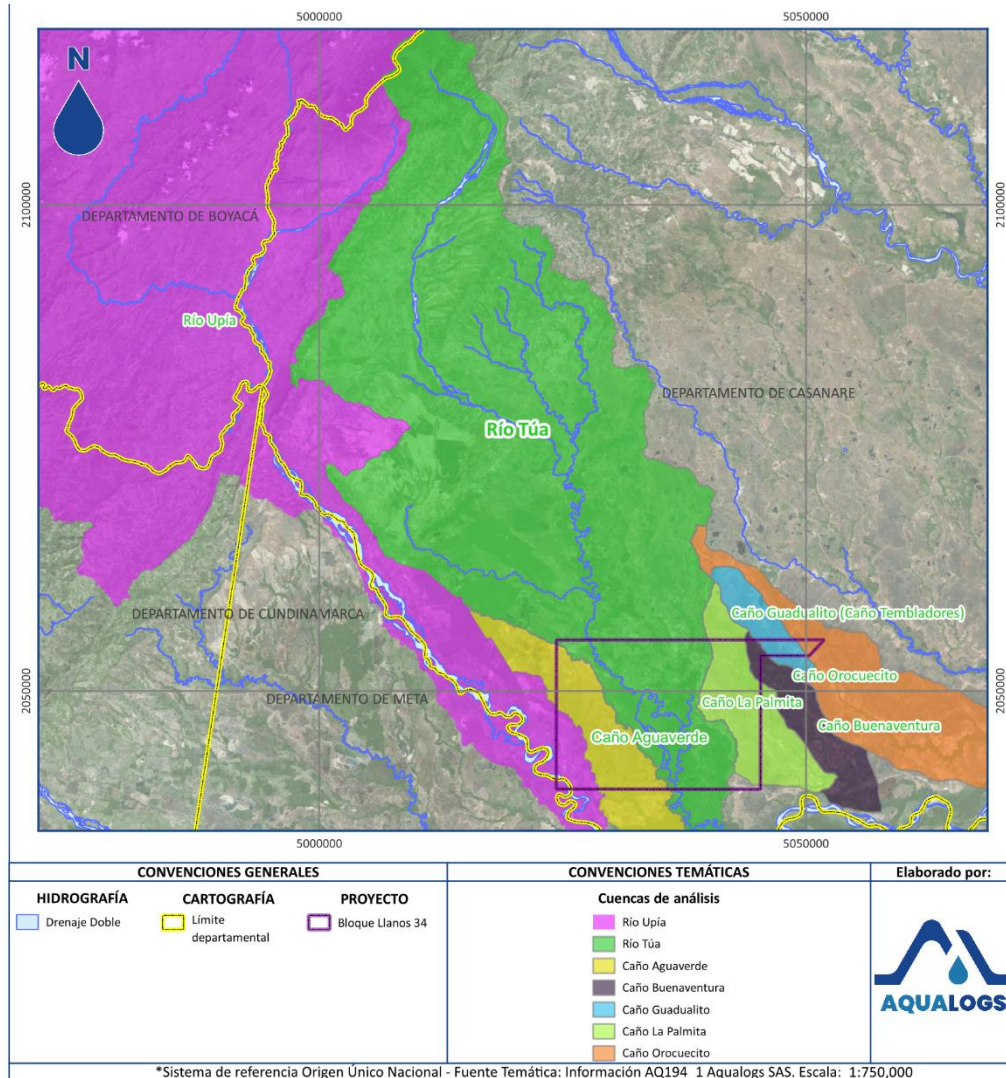


Figura 4-4. Cuencas asociadas al bloque de Explotación Llanos 34, Escala 1:750,000

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

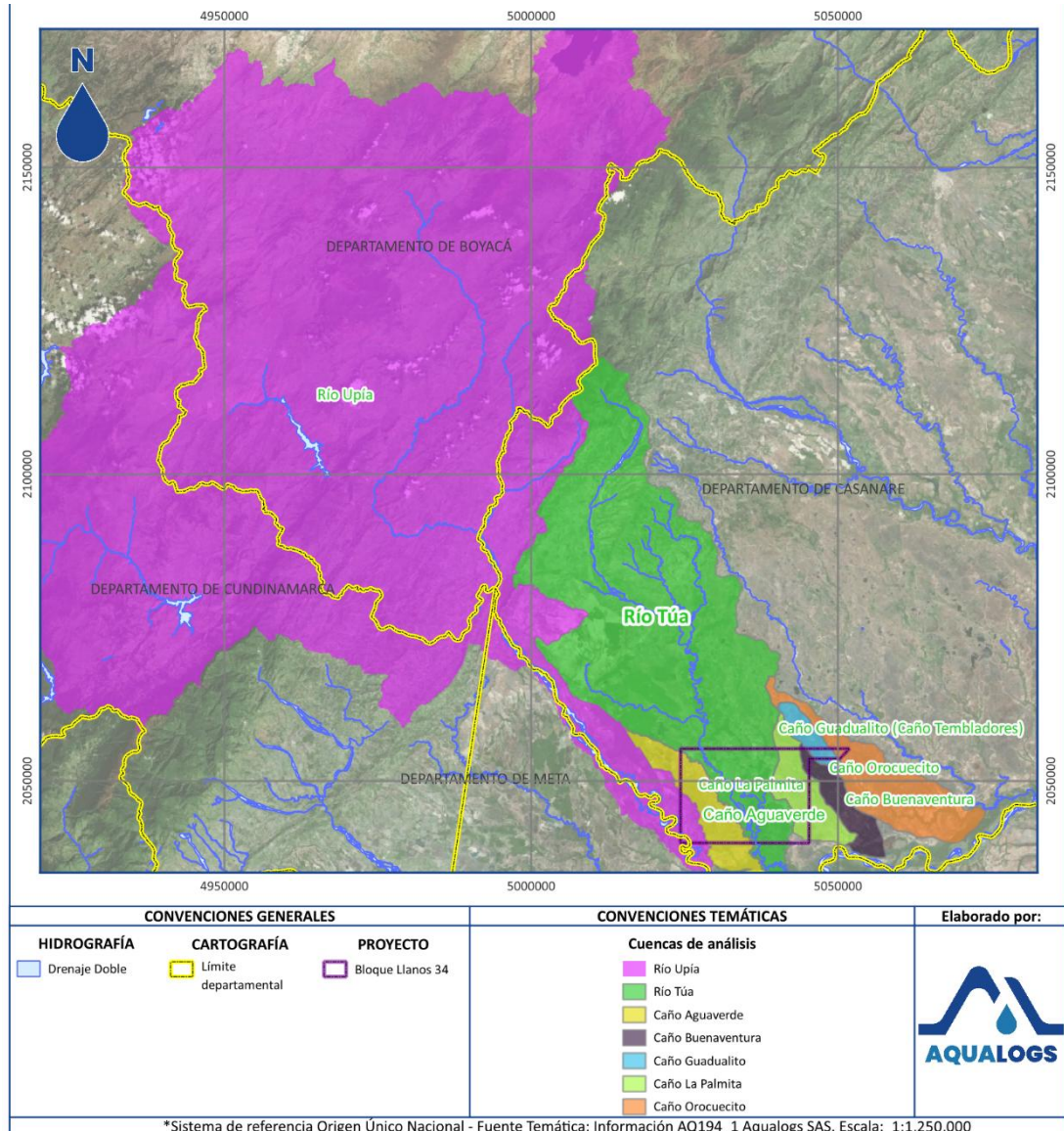


Figura 4-5. Cuencas asociadas al bloque de Explotación Llanos 34, Escala 1:1,250,000

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Al analizar en mayor detalle la cuenca del río Túa, se identifica que está conformada por el drenaje directo del cauce principal y por 22 subcuencas tributarias. Entre estas, destacan los ríos Guafal y Hoyos, así como los caños Flor Amarillo y Nuya, debido a que presentan las mayores áreas de aporte dentro del sistema hidrográfico.

Por otro lado, el caño Piñalito se caracteriza por recibir una alta densidad de drenajes convergentes y por su alta relevancias en la dinámica fluvial dentro del bloque de Explotación Llanos 34.

En las siguientes figuras se ilustran las subcuencas asociadas al río Túa, junto con una conceptualización de las conexiones hidrológicas entre los drenajes que las conforman.

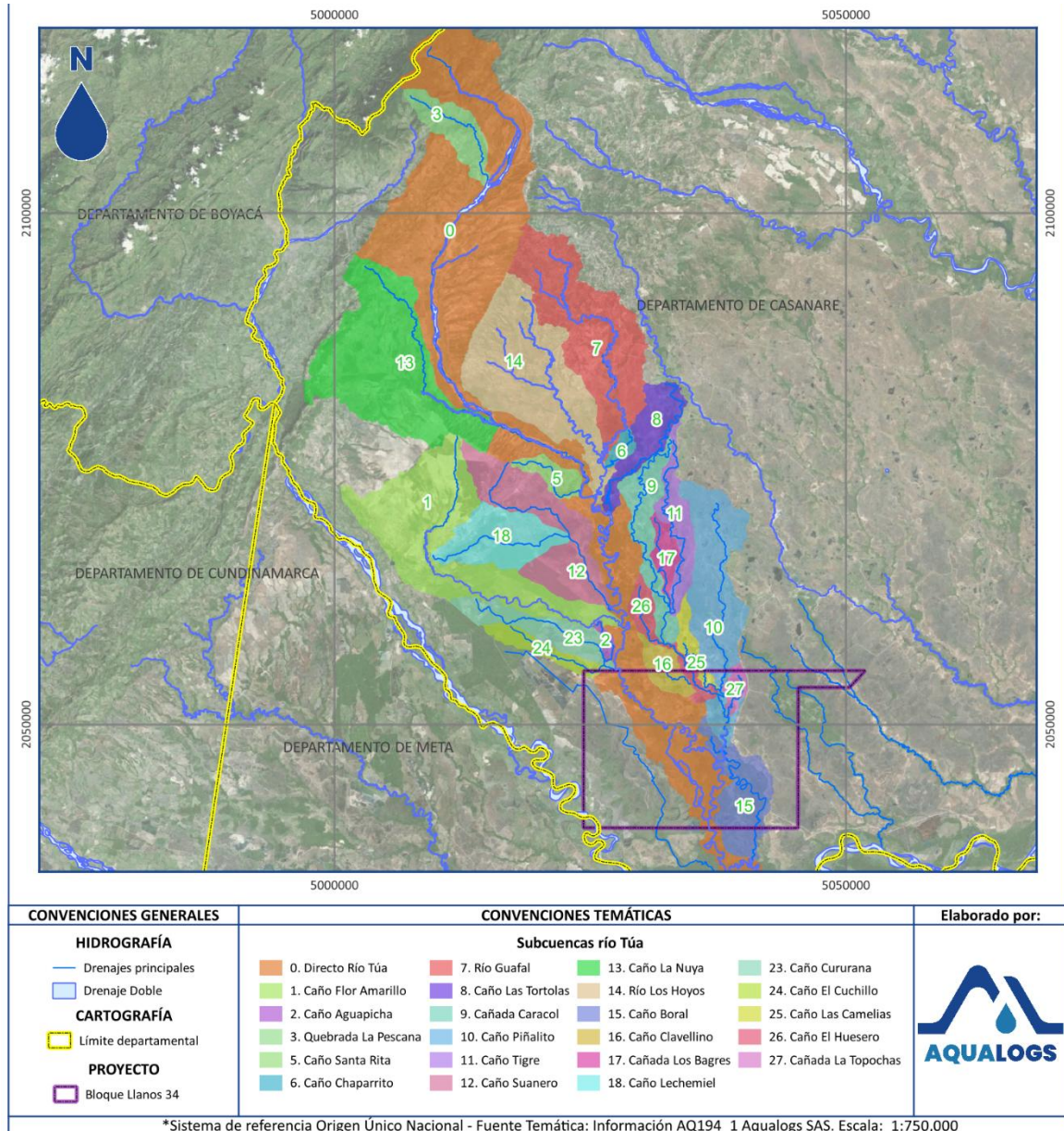


Figura 4-6. Subcuencas del río Túa, Escala 1:750,000

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

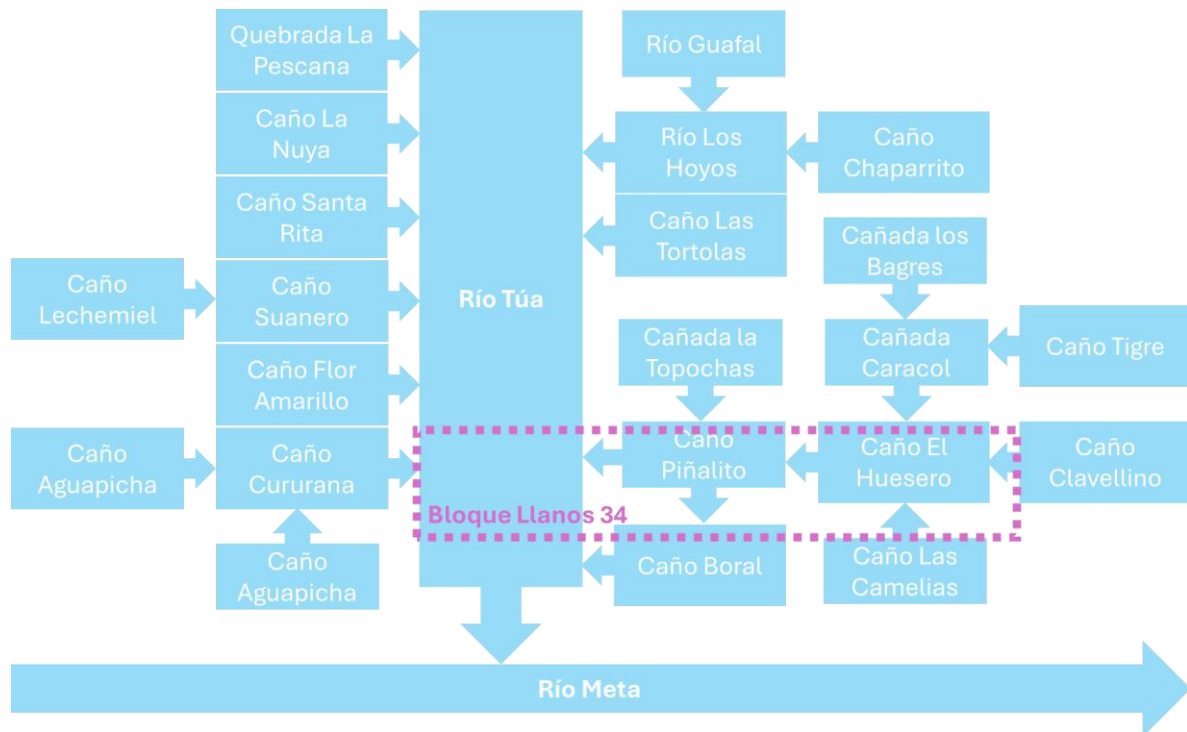


Figura 4-7. Conceptualización de las dinámicas de la cuenca del río Túa, Escala 1:500,000

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

4.3. Dinámicas fluviales

Las dinámicas fluviales representan el conjunto de procesos físicos que regulan el comportamiento de los ríos y cuerpos de agua dentro de una cuenca hidrográfica. En el área de estudio, estas dinámicas están dominadas por tres ríos principales: el río Túa, el río Upía y el río Meta.

El río Túa, el menor entre ellos nace en el costado oriental de la Cordillera Oriental de Colombia y fluye hacia las llanuras del Casanare, donde finalmente desemboca en el río Meta. A lo largo de su recorrido, recibe aportes hídricos de varios caños y de los ríos Los Hoyos y Guafal.

Similar al río Túa, el río Upía desemboca en el río Meta, en las llanuras próximas al límite entre los departamentos de Meta y Casanare. Su origen se encuentra en la Laguna de Tota, en el departamento de Boyacá, dentro de la Cordillera Oriental. A medida que avanza, recibe afluentes de múltiples cauces distribuidos en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Casanare.

Aunque el río Meta no atraviesa directamente el bloque de explotación se encuentra a una distancia aproximada de 4.5 km. Este río nace en la Cordillera Oriental, en el Páramo de Sumapaz, y fluye hacia el río Orinoco, en la frontera entre Colombia y Venezuela, dentro del departamento de Vichada.

Finalmente, las dinámicas fluviales de la zona también están influenciadas por las subcuencas de los caños que drenan directamente al río Meta, mencionadas previamente en el capítulo 4.2. Estas subcuencas corresponden a zonas de llanura con pendientes bajas, caracterizadas por un drenaje lento y una alta capacidad de acumulación hídrica.

La dinámica fluvial del área de estudio está fuertemente influenciada por la cuenca baja del río Túa y por las subcuencas asociadas al río Meta. Estas corresponden a cuencas de llanura con pendientes suaves, lo que genera un sistema de drenaje lento y favorece una alta variabilidad en la morfología de los cauces. Como resultado, se espera un comportamiento hidrológico caracterizado por escorrentía lenta, elevado almacenamiento superficial y una mayor capacidad de retención de agua en el sistema fluvial.

4.3.1. Factores de influencia

La forma de la respuesta hidrológica puede verse modificada por diversos factores, los cuales inciden en la magnitud y el tiempo de respuesta del caudal generado frente a un evento de precipitación. Entre las principales alteraciones se encuentran los cambios en los picos de caudal con respecto a la cantidad de precipitación, la variación en el tiempo de concentración (el tiempo necesario para que el agua desde los límites más extremos de la cuenca llegue hasta la salida de esta (INVIAS, 2009)), el grado de atenuación del caudal máximo, y el tiempo requerido para el drenaje total del evento. Estas modificaciones en la hidrografía pueden atribuirse principalmente a dos factores: los cambios en la cobertura del suelo y las variaciones en el régimen de precipitación. En este contexto, el presente capítulo se enfoca en el análisis detallado tanto de las coberturas del suelo como de las series temporales de

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

precipitación, con el fin de evaluar su influencia sobre la forma y características de las hidrografas resultantes.

4.3.1.1. Coberturas del suelo

La cobertura de la tierra desempeña un papel determinante en las dinámicas fluviales, al influir directamente en los procesos de interceptación, infiltración, evaporación y generación de escorrentía superficial.

A continuación, se presenta la composición de coberturas de la tierra en las principales cuencas objeto de estudio: cuenca del río Túa, cuenca del caño Aguaverde y un conjunto de cuencas agrupadas bajo la denominación “cuencas directas al río Meta”, que comprende los caños Buenaventura, Orocuécito y La Palmita. La figura siguiente muestra la distribución de cobertura de tierra del mapa Cobertura de la Tierra 100K Periodo 2020 desarrollado por el IDEAM, clasificadas según el nivel 1 de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

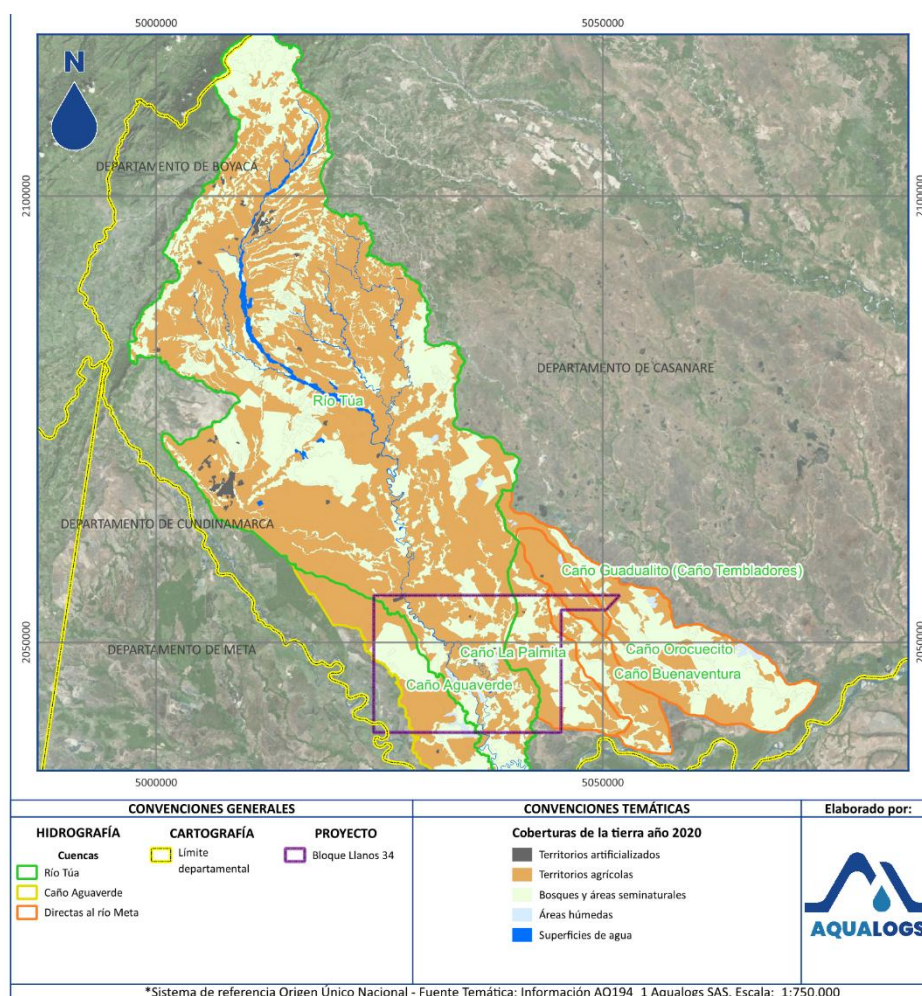


Figura 4-8. Coberturas de la tierra en las cuencas del estudio del año 2020

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Como se evidencia, existe una amplia predominancia de Territorio agrícola seguido por Bosques y áreas seminaturales.

Más allá de presentar el estado actual de las coberturas en el área de las cuencas, resulta fundamental evidenciar los cambios que estas han experimentado a lo largo del tiempo. Para tal fin, se hace uso de los mapas de cobertura de la tierra generados por el IDEAM correspondientes a los periodos 2018, 2010–2012, 2005–2009 y 2000–2002. Las siguientes tablas resumen el porcentaje del área de cuenca clasificada según el nivel 1 de la metodología CORINE Land Cover, agrupando las coberturas en seis categorías principales: Territorios artificializados, Territorios agrícolas, Bosques y áreas seminaturales, Áreas húmedas y Superficies de agua.

Tabla 4-1. Porcentaje de cobertura de la tierra en la cuenca del río Túa para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	% de área en cuenca en el año				
		2002	2009	2012	2018	2020
1	Territorios artificializados	0%	0%	0%	1%	1%
2	Territorios agrícolas	55%	66%	66%	58%	61%
3	Bosques y áreas seminaturales	42%	31%	31%	38%	36%
4	Áreas húmedas	1%	1%	1%	0%	0%
5	Superficies de agua	2%	1%	1%	2%	2%

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Tabla 4-2. Porcentaje de cobertura de la tierra en la cuenca del caño Aguaverde para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	% de área en cuenca en el año				
		2002	2009	2012	2018	2020
1	Territorios artificializados	0%	0%	0%	0%	0%
2	Territorios agrícolas	39%	55%	50%	61%	63%
3	Bosques y áreas seminaturales	59%	41%	46%	37%	35%
4	Áreas húmedas	1%	4%	4%	2%	2%
5	Superficies de agua	1%	1%	1%	0%	0%

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Tabla 4-3. Porcentaje de cobertura de la tierra en las cuencas directas al río Meta para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	% de área en cuenca en el año				
		2002	2009	2012	2018	2020
1	Territorios artificializados	0%	0%	0%	0%	0%
2	Territorios agrícolas	15%	16%	17%	44%	51%
3	Bosques y áreas seminaturales	85%	84%	82%	55%	48%
4	Áreas húmedas	0%	0%	0%	1%	1%
5	Superficies de agua	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Adicionalmente, se presenta el desglose detallado de las áreas ocupadas por cada tipo de cobertura conforme al nivel 3 de la metodología CORINE adaptada para Colombia. Esta clasificación más específica permite identificar tendencias de ocupación del suelo,

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

transformaciones del paisaje y posibles implicaciones sobre los procesos hidrológicos considerados en la modelación.

Tabla 4-4. Coberturas de la tierra en la cuenca del río Túa para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	Área en el año (Km ²)				
		2002	2009	2012	2018	2020
111	Tejido urbano continuo	0.90	1.10	3.03	5.25	5.25
112	Tejido urbano discontinuo	3.72	3.56	2.77	4.32	4.49
121	Zonas industriales o comerciales	0.01	0.01	0.01	2.00	1.97
124	Aeropuertos	0.08	0.08	0.08	0.34	0.34
131	Zonas de extracción minera	1.22	0.17	0.61	0.25	0.36
211	Otros cultivos transitorios				2.28	0.36
212	Cereales	11.19	17.38	14.75	23.53	68.97
223	Cultivos permanentes arbóreos	64.00	68.63	83.27	117.91	123.53
231	Pastos limpios	445.19	568.17	566.01	439.75	484.35
232	Pastos arbolados	1.58	2.47	2.09	16.92	16.92
233	Pastos enmalezados	111.99	165.26	162.05	88.44	59.31
241	Mosaico de cultivos					1.48
242	Mosaico de pastos y cultivos	93.70	69.69	68.36	101.67	87.42
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	91.26	80.95	80.95	37.01	34.61
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	76.77	107.66	106.97	125.79	113.63
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales				1.36	2.22
311	Bosque denso	190.49	164.71	161.20	122.68	120.49
312	Bosque abierto				9.15	9.09
313	Bosque fragmentado	26.55	25.08	29.00	20.92	20.92
314	Bosque de galería y ripario	65.91	64.78	64.78	105.78	105.50
315	Plantación forestal	22.11	22.56	22.56	33.73	43.33
321	Herbazal	263.58	136.82	136.00	220.10	170.61
323	Vegetación secundaria o en transición	119.37	95.93	93.59	116.31	119.40
331	Zonas arenosas naturales	0.54				
333	Tierras desnudas y degradadas	0.34			0.59	0.91
334	Zonas quemadas	6.87	3.36			
411	Zonas Pantanosas	16.42	18.32	18.32	4.19	4.75
511	Ríos (50 m)	24.63	22.69	22.99	38.37	38.11
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2.04	1.08	1.08		
514	Cuerpos de agua artificiales				1.80	2.12

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Tabla 4-5. Coberturas de la tierra en las cuencas del caño Aguaverde para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	Área en el año (Km ²)				
		2002	2009	2012	2018	2020
121	Zonas industriales o comerciales				0.11	0.11
212	Cereales	19.30	45.00	38.65	39.44	43.62
223	Cultivos permanentes arbóreos	4.63	4.63	4.63	11.75	11.75
231	Pastos limpios	20.14	19.82	19.82	23.36	22.82
232	Pastos arbolados				1.55	1.55
233	Pastos enmalezados	9.17	5.74	5.74	2.95	2.95
242	Mosaico de pastos y cultivos				0.35	0.08
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.01			0.11	0.11
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	0.16	0.77	0.77	5.44	5.44
311	Bosque denso	10.50	9.51	9.51	8.58	8.57
314	Bosque de galería y ripario	2.66	2.59	2.75	4.33	4.33
321	Herbazal	68.47	44.69	50.86	36.18	32.81
323	Vegetación secundaria o en transición	0.67	0.44	0.44	2.72	2.72
411	Zonas Pantanosas	0.99	5.33	5.33	2.27	2.27

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Nomenclatura	Cobertura	Área en el año (Km ²)				
		2002	2009	2012	2018	2020
511	Ríos (50 m)	0.04	0.06	0.06	0.09	0.10
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1.49	0.66	0.67		

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Tabla 4-6. Coberturas de la tierra en las cuencas directas al río Meta para los periodos del 2002 al 2020

Nomenclatura	Cobertura	Área en el año (Km ²)				
		2002	2009	2012	2018	2020
121	Zonas industriales o comerciales				0.33	0.33
211	Otros cultivos transitorios				3.45	1.54
212	Cereales	0.26			24.89	43.73
223	Cultivos permanentes arbóreos			7.77	27.48	28.45
231	Pastos limpios	70.07	67.53	67.53	117.94	129.90
232	Pastos arbolados	1.68	1.68	1.68		
233	Pastos enmalezados				1.59	0.31
242	Mosaico de pastos y cultivos				18.30	22.30
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales				1.69	1.69
244	Mosaico de pastos con espacios naturales		5.54	5.54	10.58	13.17
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales				0.32	0.32
311	Bosque denso	42.50	42.70	42.70	33.86	33.81
314	Bosque de galería y ripario	29.68	29.91	29.91	35.86	34.96
315	Plantación forestal				1.32	1.57
321	Herbazal	313.55	323.77	316.00	187.08	150.81
323	Vegetación secundaria o en transición	8.87	0.16	0.16	3.35	4.52
331	Zonas arenosas naturales	0.36	0.00	0.00		
333	Tierras desnudas y degradadas	0.71				
334	Zonas quemadas	3.66				
411	Zonas Pantanosas				4.09	4.65
511	Ríos (50 m)	0.00			0.02	0.02
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0.78	0.83	0.83		0.07

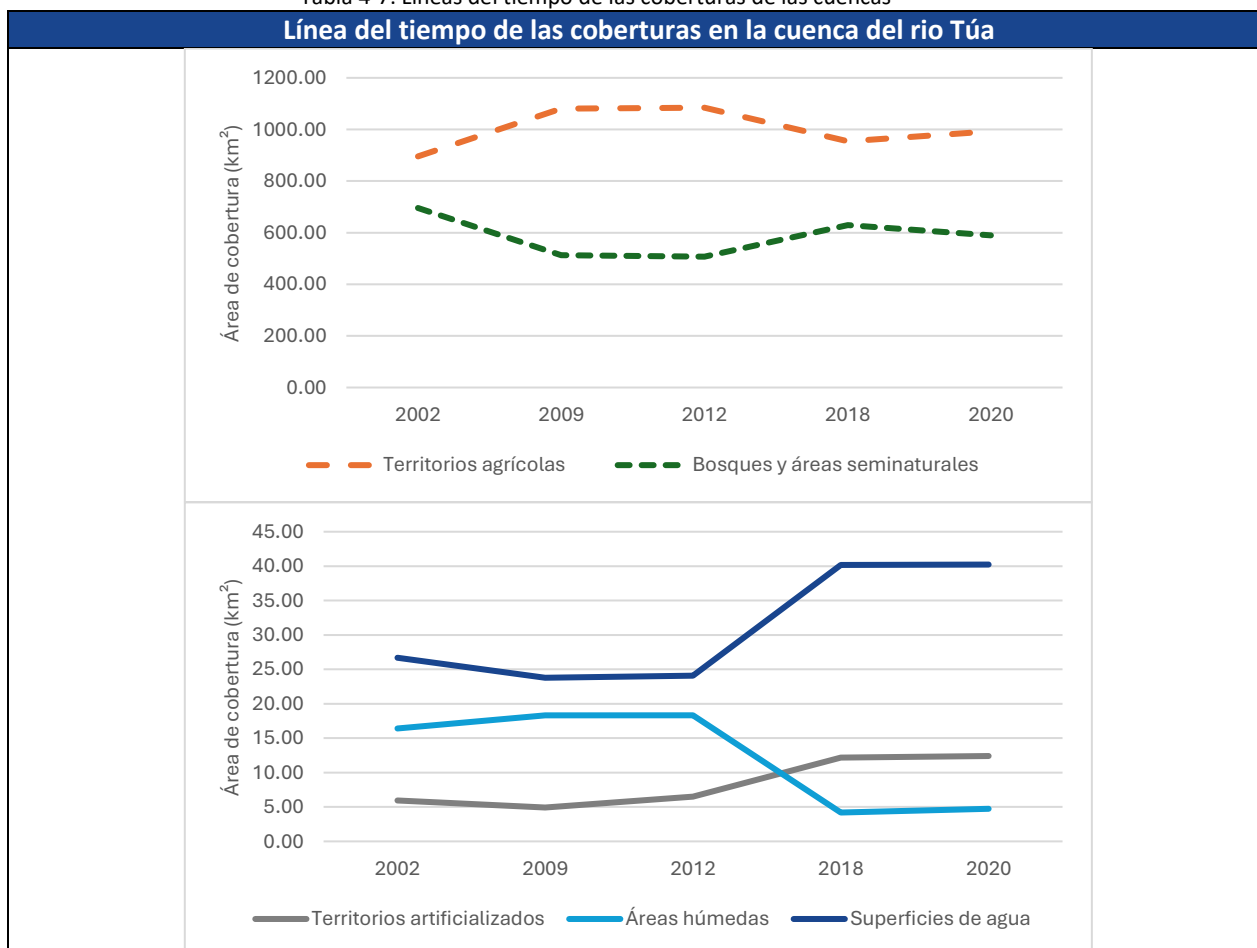
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

A partir de la información presentada, se observa una marcada diversidad en las coberturas de uso del suelo en las tres cuencas analizadas, con predominancia de Territorios agrícolas y Bosques y áreas seminaturales. En la cuenca del río Túa destacan los pastos limpios como clase dominante, con áreas que oscilan entre 445 km² y 568 km², mientras que el bosque denso muestra una reducción significativa de 190 km² en 2002 a 120 km² en 2020. Este comportamiento se repite en la cuenca de Caño Agua Verde y en las cuencas directas al río Meta, donde el bosque denso disminuye de 10.5 a 8.6 km² y de 42.5 a 33.8 km² respectivamente. En estos dos últimos casos, se resalta además la pérdida de herbazales, que pasan de 68 a 33 km² en Agua Verde y de 313 a 150 km² en las cuencas directas, lo cual se relaciona con un aumento en coberturas de pastos y cultivos, aunque en proporciones menores. Estas transformaciones reflejan una tendencia hacia la intensificación agropecuaria y la sustitución de coberturas naturales, con posibles implicaciones sobre los procesos hidrológicos modelados.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

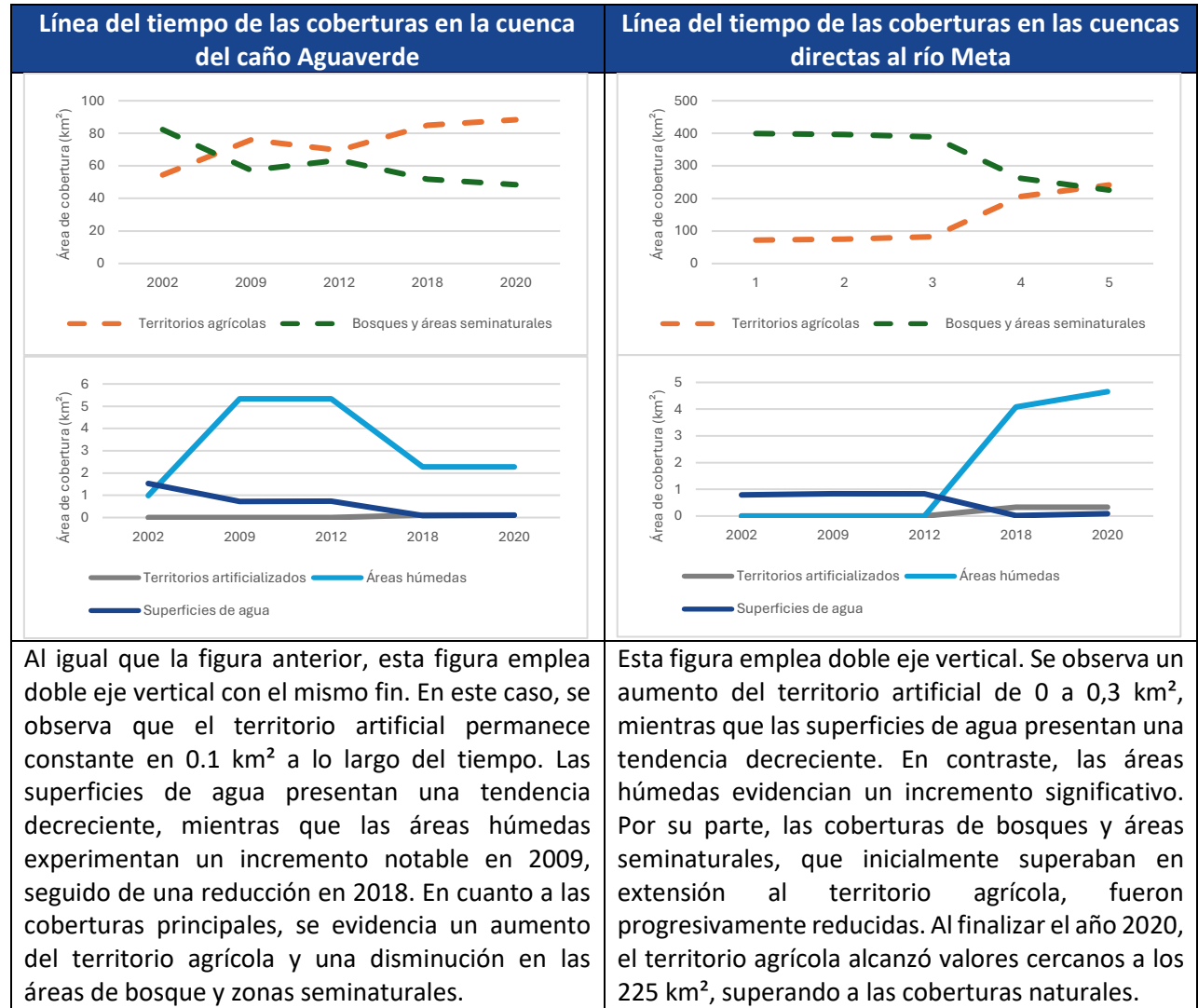
En la siguiente tabla se incluyen gráficos de líneas que ilustran dicha evolución para cada cuenca, con base en las clasificaciones de nivel 1 de cobertura terrestre según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Tabla 4-7. Líneas del tiempo de las coberturas de las cuencas



La línea de tiempo presentada en la figura utiliza dos ejes verticales, las coberturas de Territorios agrícolas y Bosques y áreas seminaturales están representadas por el eje de la derecha mientras la otras por el de la izquierda esto debido a la diferencia de magnitud de las áreas de las coberturas. Por otro lado, se observa un incremento en las superficies de Territorios artificializados y Superficies de agua, acompañado de una disminución progresiva en las áreas húmedas; lo anterior podría deberse a que previo al 2018 el IDEAM no represento la totalidad del caño Nuya, río los Hoyos y río Guafal como superficies de agua, junto a la aparición de un nuevo brazo del río Túa. Los Territorios agrícolas, que ocupan cerca de dos tercios del área total de la cuenca, han mostrado una reducción con respecto a los periodos 2009 y 2012; sin embargo, su extensión supera la observada en 2002. Las coberturas de Bosque y áreas seminaturales presentan una tendencia opuesta, reflejando una pérdida inicial seguida de una recuperación posterior.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

A lo largo de los periodos analizados, las coberturas predominantes en las tres cuencas han sido los territorios agrícolas y los bosques y áreas seminaturales. Se observa una relación inversa entre ambas coberturas, en la cual el aumento en la extensión de una conlleva la reducción de la otra. Esta dinámica ha derivado en un incremento progresivo del territorio agrícola y una disminución de las áreas de bosque y vegetación seminatural.

Desde el punto de vista hidrológico, uno de los principales efectos de las coberturas sobre la escorrentía es la generación de condiciones de impermeabilidad. Si bien los territorios artificiales constituyen la cobertura con mayor capacidad de impermeabilización, las áreas agrícolas también presentan niveles superiores en comparación con las coberturas boscosas. Como resultado del cambio en la cobertura de los últimos años, se identifica un aumento en la impermeabilidad del

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

suelo, lo cual ha favorecido mayores caudales en los cuerpos de agua y una reducción en la capacidad de retención hídrica del sistema.

4.3.1.2. Cambio climático

El cambio climático se ha consolidado como un factor clave en la transformación de los procesos hidrológicos a escala de cuenca, al modificar los patrones tradicionales de precipitación, temperatura, evapotranspiración y humedad del suelo. Estas alteraciones inciden directamente en la generación de escorrentía, el comportamiento de los caudales, la recarga de acuíferos y la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como crecientes o sequías prolongadas.

Aunque estos cambios pueden originarse en procesos naturales, desde el siglo XIX han cobrado relevancia significativa los factores antropogénicos, generados por la actividad humana, que han alterado la composición de la atmósfera, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero derivados de la quema de combustibles fósiles. Estos gases contribuyen al fenómeno del calentamiento global, acelerando el cambio climático.

Para estimar el impacto potencial del cambio climático sobre la dinámica hidrológica, se recurre al uso de escenarios climáticos derivados de proyecciones globales y regionales, integrados a través de modelos de circulación general (GCM) y modelos climáticos regionales (RCM). Estos se estructuran mediante Vías Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs), diseñado para explorar posibles futuros de la humanidad durante el siglo XXI.

Las SSP son cinco narrativas globales (SSP1 a SSP5) constituyen un marco conceptual desarrollado para explorar posibles futuros socioeconómicos ante el cambio climático. Así, SSP1 describe un mundo sostenible y cooperativo; SSP2 sigue una trayectoria intermedia similar a las tendencias actuales; SSP3 plantea un escenario fragmentado, con baja cooperación y alta vulnerabilidad; SSP4 representa un futuro altamente desigual; mientras que SSP5 proyecta un desarrollo intensivo basado en combustibles fósiles (O'Neill et al., 2017; IPCC, 2021).

En la Figura 4-9, estas trayectorias se distribuyen según el grado de dificultad para mitigar y/o adaptarse al cambio climático. Por ejemplo, SSP1 aparece en el cuadrante de bajos desafíos tanto para la mitigación como para la adaptación, lo que refleja un contexto global favorable para la acción climática; en contraste, SSP3 se sitúa donde ambos desafíos son altos, simbolizando un mundo menos cooperativo y con mayores obstáculos para responder al cambio climático.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

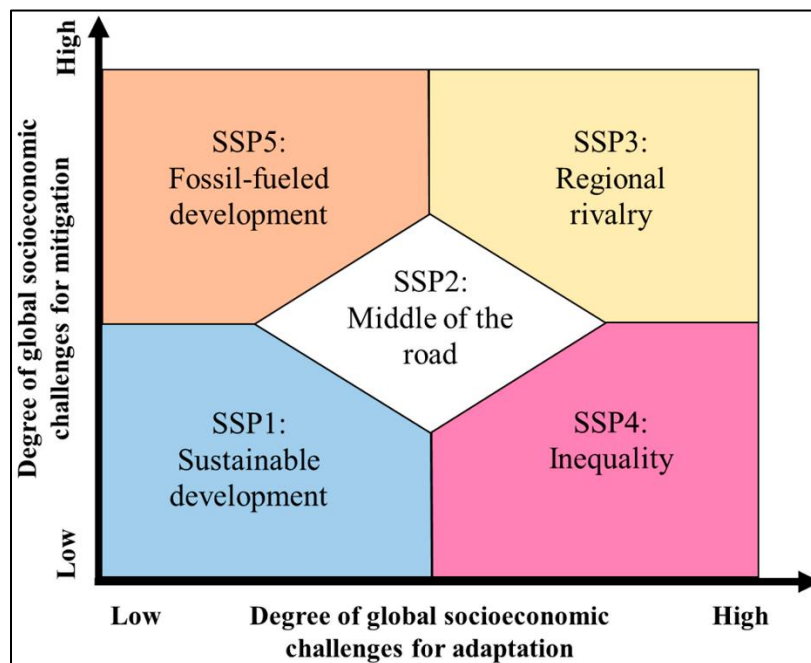


Figura 4-9. Shared Socioeconomic Pathways

Fuente. Sellers & Ebi (2018)

Las SSP no dictan directamente niveles de emisiones ni calentamiento, por lo que se combinan con supuestos de forzamiento radiativo, entendido como el desequilibrio energético en el sistema terrestre causado por los gases de efecto invernadero, expresado en W/m^2 (IPCC, 2021). En términos simples, valores más altos de forzamiento indican un mayor calentamiento proyectado para finales de siglo, lo que implica cambios más intensos en variables hidrometeorológicas relevantes a escala de cuenca.

La combinación entre una narrativa SSP y un nivel específico de forzamiento radiativo da lugar a escenarios tales como SSP1-2.6, SSP2-4.5 o SSP5-8.5, donde el primer número identifica la trayectoria socioeconómica y el segundo representa el forzamiento radiativo estimado hacia el año 2100. Por ejemplo, SSP1-2.6 refleja un futuro sostenible asociado a emisiones reducidas y bajo calentamiento (2.6 W/m^2), mientras que SSP5-8.5 describe un escenario de desarrollo intensivo basado en combustibles fósiles, con altas emisiones y un incremento energético cercano a 8.5 W/m^2 hacia finales de siglo (IPCC, 2021).

Si bien es posible imaginar combinaciones extremas (por ejemplo, un mundo fragmentado como SSP3 asociado a un forzamiento radiativo cercano a 8.5 W/m^2), dicha configuración no forma parte del conjunto principal de escenarios utilizados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) porque la trayectoria de emisiones requerida para alcanzar un forzamiento tan alto se considera más coherente con contextos de fuerte crecimiento económico y uso intensivo de combustibles fósiles, como los descritos en SSP5 (IPCC, 2021). En este sentido, aunque SSP3 representa el peor escenario desde la perspectiva socioeconómica, el escenario climático de mayor calentamiento es SSP5-8.5, donde el desarrollo intensivo basado en

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

combustibles fósiles mantiene las emisiones en niveles muy altos durante el siglo XXI (IPCC, 2021). En la **Figura 4-10** se ilustran las trayectorias de estos escenarios relevantes para la comunidad científica internacional.

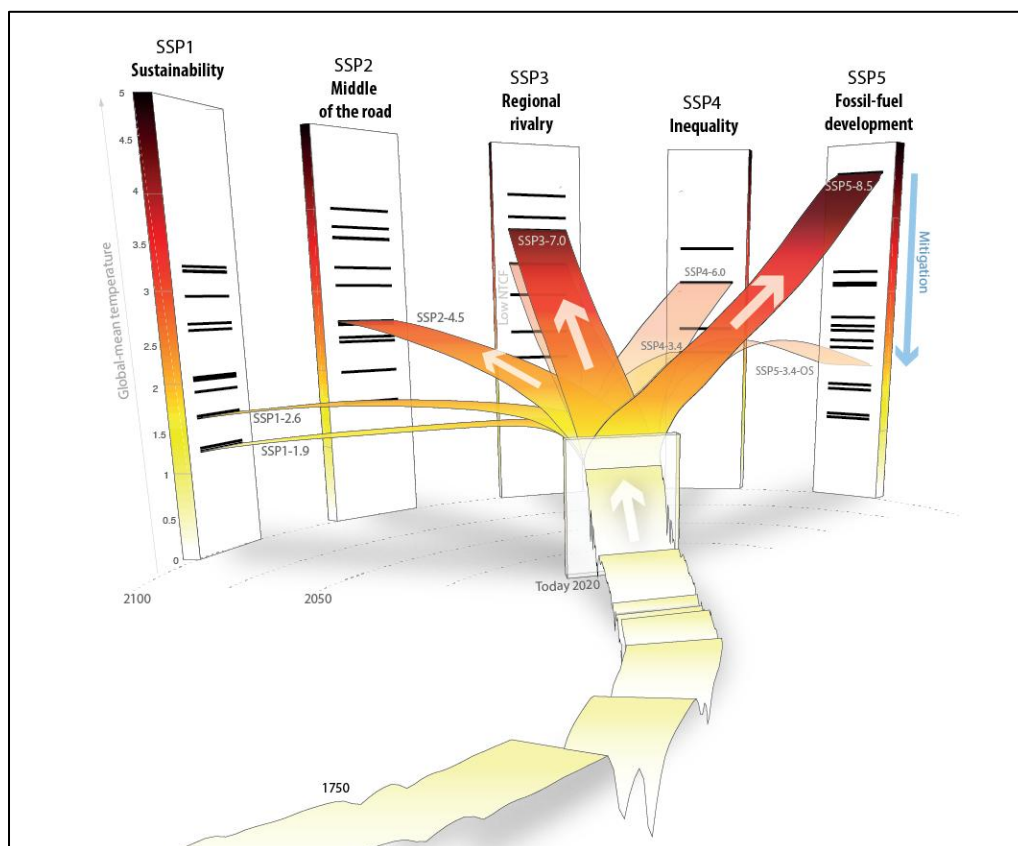


Figura 4-10. Proyección simplificada del aumento de temperatura global durante el siglo XXI bajo diferentes familias de escenarios socioeconómicos compartidos.

Fuente. Meinshausen et al. (2020)

En la práctica, los estudios hidrológicos suelen emplear tres escenarios estandarizados (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) que representan configuraciones de bajo, intermedio y alto calentamiento. Esta selección permite capturar un rango amplio de posibles condiciones futuras al evaluar impactos en la magnitud de la precipitación extrema, el comportamiento de caudales pico durante eventos de crecida o la disponibilidad hídrica en épocas secas. Por ejemplo, proyecciones bajo SSP5-8.5 sugieren un incremento en la intensidad de eventos máximos de precipitación, lo que podría traducirse en mayores riesgos de inundación en cuencas vulnerables (IPCC, 2021). A modo de ejemplo, la **Figura 4-11** muestra los contrastes entre escenarios mediante distribuciones de los cambios proyectados en distintas métricas de precipitación (tanto medias como extremas).

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

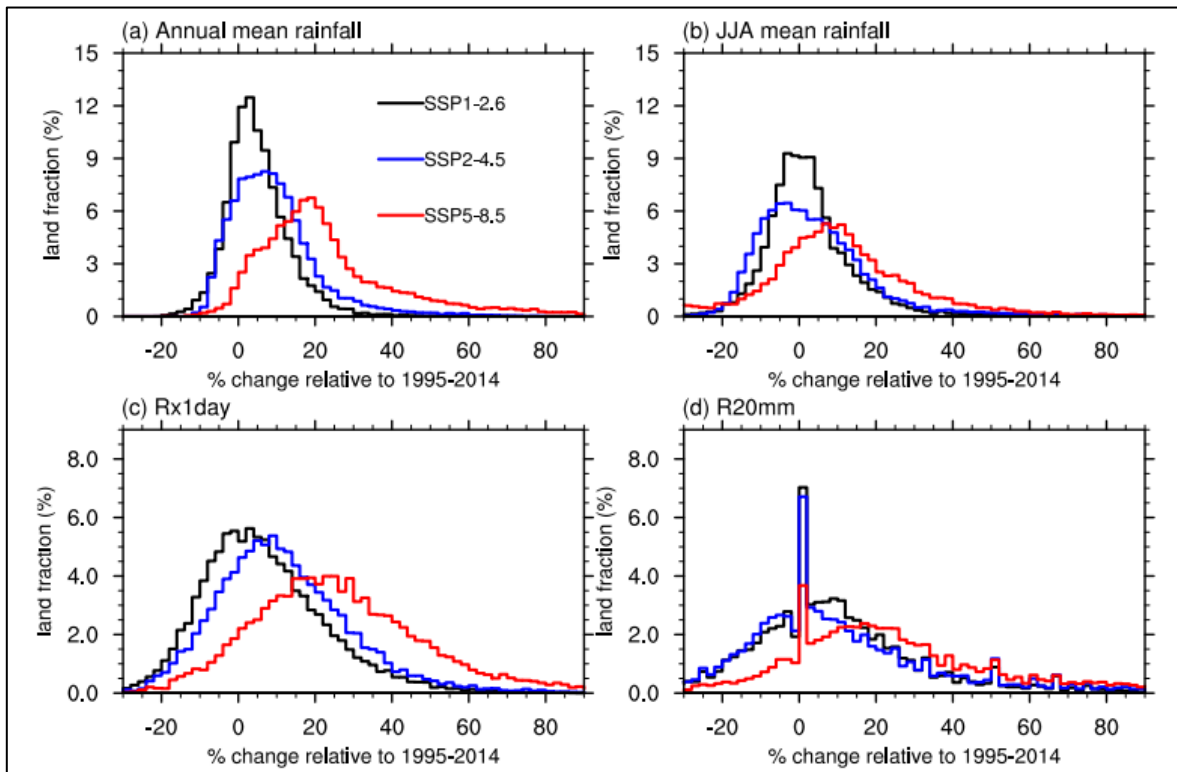


Figura 4-11. Distribuciones de probabilidad (%) de la fracción del territorio continental de China que experimenta diferentes porcentajes de cambio en la precipitación media anual (a), la precipitación media en el trimestre JJA (junio–agosto) (b), la precipitación máxima diaria anuales (Rx1day) (c) y el número de días con precipitación superior a 20 mm (R20mm) (d), bajo los escenarios climáticos SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Fuente. Zou (2022)

En el presente estudio se adoptan estos tres escenarios, pues constituyen una base coherente para explorar la respuesta hidrológica de la cuenca frente a diversas trayectorias socioeconómicas y climáticas. En SSP1-2.6, asociado a un futuro de bajas emisiones y fuerte mitigación, se espera que los cambios en precipitación extrema, escorrentía y caudales máximos sean moderados o manejables. En SSP2-4.5 (considerado un escenario intermedio o de continuidad) los efectos sobre la hidrología se prevén más notorios, con aumentos apreciables en la intensidad de eventos extremos. En contraste, SSP5-8.5 (altas emisiones y fuerte calentamiento) proyecta la mayor intensificación del ciclo hidrológico, con precipitaciones extremas más severas, escorrentías rápidas y caudales pico elevados, lo que incrementa sustancialmente el riesgo de inundaciones (Nazarenko et al., 2025; Núñez-Mejía et al., 2023). La adopción de estos tres escenarios evaluados, recurrente en la literatura, garantiza representar la incertidumbre climática y socioeconómica más relevante para el análisis hidrológico de cuenca.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

5. Conceptualización hidráulica

En el presente capítulo se describen las características del área de estudio que pueden influir en la modelación hidráulica del área. Estas características son fundamentales para la definición y evaluación de los dominios de modelación, la resolución espacial de la malla y otros parámetros relevantes del modelo. El capítulo incluye la localización de los cuerpos de agua lénticos dentro del área de estudio correspondiente al del Bloque de explotación Llanos 34, junto con la descripción de red hidráulica local (cuerpos loticos) y el análisis de las modificaciones antrópicas identificadas en la región.

5.1. Análisis hidráulico del área de estudio

La modelación hidráulica para el análisis de inundaciones se desarrollará en el área correspondiente al Bloque de Explotación Llanos 34. Las principales características hidráulicas de esta zona están definidas tanto por los cursos de agua que la atraviesan como por los cuerpos lenticos localizados en el área de estudio.

De los cuerpos lóticos se destacan el río Tua como el cauce principal, y el río Upía, que cruza únicamente una porción reducida del bloque. Adicionalmente, se identifican varios cuerpos lóticos secundarios cuyas cuencas hidrológicas, al menos parcialmente, se encuentran dentro del área de estudio. Entre estos se incluyen el caño Aguaverde, caño Clavelino, caño Huesero, caño Las Camelias, caño Topochas, caño Palmarita, caño Buenaventura, caño Guadualito y caño Orocuesito, como se ve en Figura 5-1. Desembocando estos ríos y caños al sur en el río Meta.

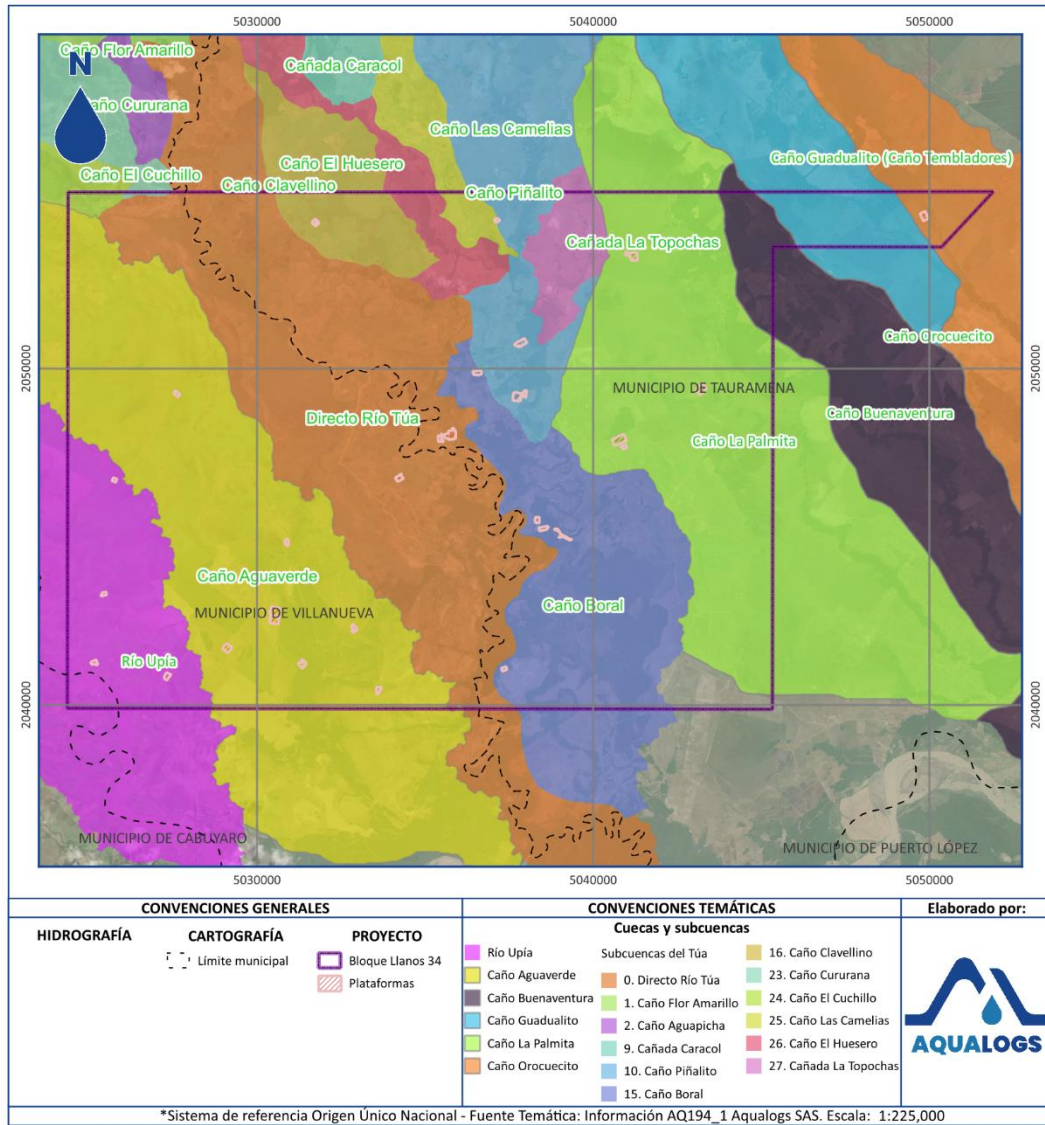


Figura 5-1. Subcuencas de los cauces dentro del bloque Llanos 34
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Entre los cuerpos lénticos presentes en el área de estudio se destacan las lagunas, pantanos, jagüeyes y madre viejas, los cuales se encuentran distribuidos de manera dispersa a lo largo de la zona. Los principales pantanos se ubican en el sector sur del Bloque de Explotación Llanos 34, específicamente entre las cuencas del caño Aguaverde y del río Túa. Las madre viejas, por su parte, se localizan predominantemente en las riberas del río Túa, asociadas a sus procesos de desbordamiento y dinámica fluvial. Los cuerpos lénticos se observan en Figura 5-2.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

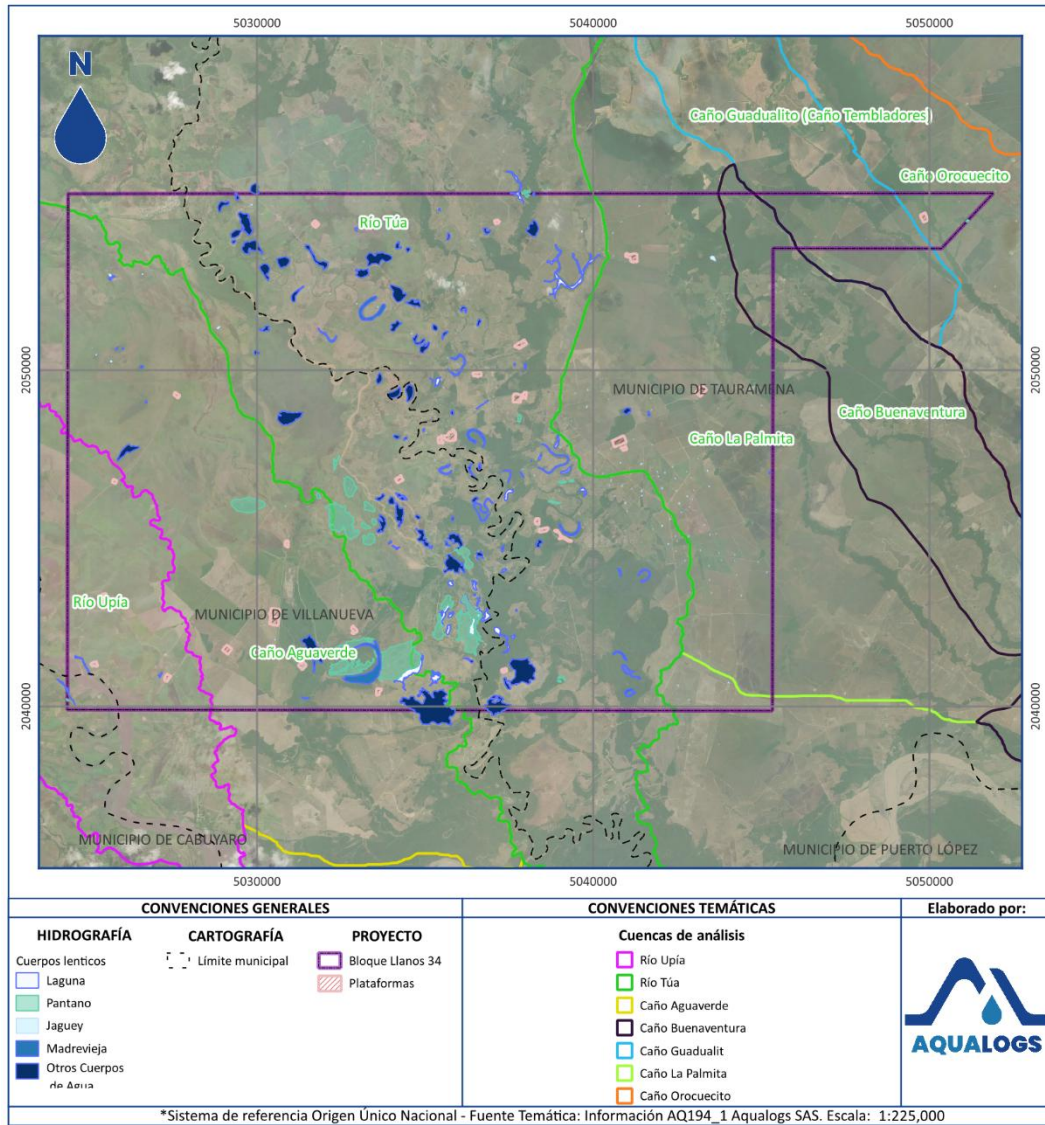


Figura 5-2. Cuerpos lenticos dentro del bloque de explotación Llanos 34

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

5.2. Dinámica hídrica regional

La dinámica hídrica regional se define por las distintas interconexiones existentes entre los caños y ríos, las cuales pueden ser de carácter permanente o temporal. La identificación de estas conexiones es de vital importancia, ya que pueden modificar significativamente los caudales que circulan a través de los cauces, afectando la distribución del flujo y, por ende, la precisión en los procesos de modelación hidráulica y sus resultados.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Estas conexiones se generan como resultado de condiciones climatológicas e hidrológicas particulares del sitio, por lo que la delimitación convencional de cuencas hidrográficas no siempre permite identificar dichas interconexiones. Ejemplos representativos de estos fenómenos incluyen los desbordamientos de los ríos y las intervenciones antrópicas asociadas a la gestión del recurso hídrico por parte de las comunidades locales dentro del área de estudio.

En el área correspondiente al Bloque de Explotación Llanos 34, las principales interconexiones hídricas se presentan entre el río Tua y los caños adyacentes a su cauce, así como entre el río Upía y el caño Aguaverde. Estas interacciones se deben principalmente a eventos de desbordamiento, específicamente del río Upía hacia el caño Aguaverde, y del río Tua hacia los caños Clavelino, Huesero, Piñalito y Boral, generando flujos laterales que alteran la dinámica hidrológica local. Estas interconexiones se muestran en la Figura 5-3.

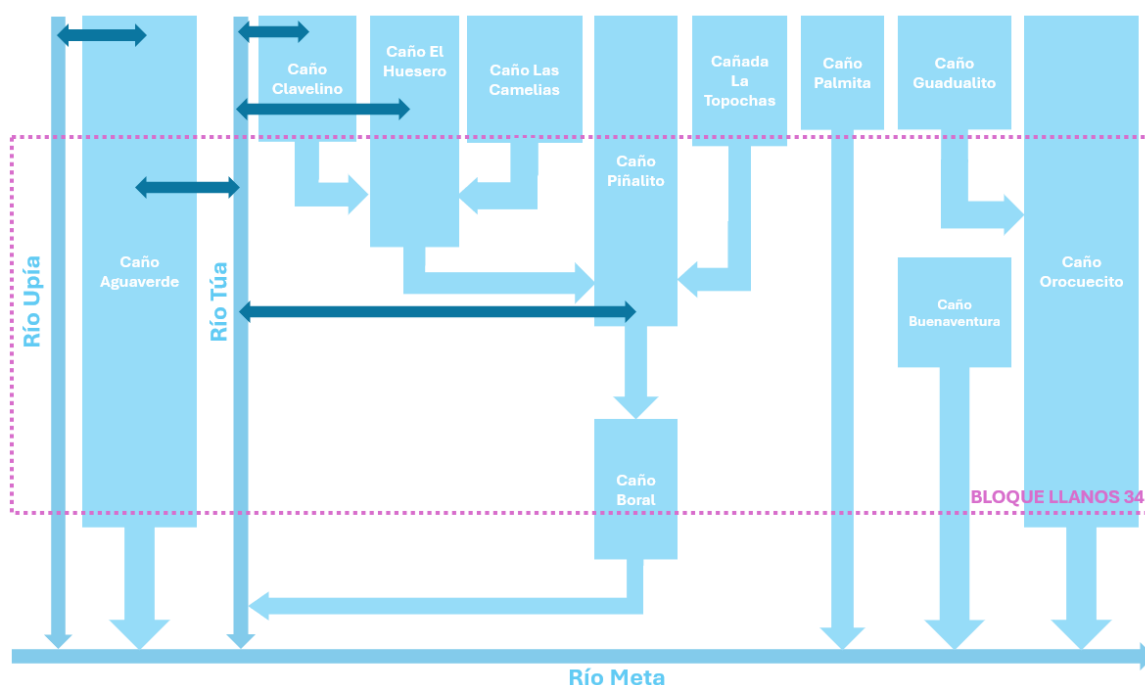


Figura 5-3. Conceptualización de los cauces del bloque Llanos 34

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

No obstante, estas conexiones pueden presentar variaciones a lo largo del tiempo como resultado de modificaciones morfológicas en los cauces, eventos climatológicos extremos (como precipitaciones intensas o prolongadas), o intervenciones en la infraestructura hidráulica que afectan la gestión del recurso hídrico. Estos factores pueden generar nuevas interconexiones o alterar las existentes, influyendo directamente en la dinámica hídrica del área de estudio.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

5.2.1. Dinámica hídrica del río Meta

5.3. Factores locales relevantes

Además de la identificación e interconexión entre los distintos cuerpos de agua presentes en el área de estudio, es fundamental considerar otros factores que inciden en los resultados de una modelación hidráulica orientada al análisis de inundaciones. Entre estos, los de mayor relevancia corresponden a las alteraciones antrópicas, que en el caso específico incluyen la presencia de canales artificiales, diversas infraestructuras que modifican el flujo natural del agua, así como los distintos usos del suelo. En este contexto, se parte de la descripción de las distintas modificaciones antrópicas que deben ser consideradas en el proceso de modelación hidráulica del área de estudio. Posteriormente, se analizan los ajustes requeridos en el modelo para incorporar adecuadamente estas características.

5.3.1. Modificaciones antrópicas

Diversas acciones antrópicas realizadas dentro del área de estudio pueden inducir modificaciones en la dinámica hídrica local. Estas alteraciones pueden ser de carácter temporal o permanente, y su impacto puede manifestarse tanto en las proximidades del punto de intervención como en zonas más alejadas. Dichas modificaciones comprenden desde intervenciones menores, como la obstrucción de un cauce por la caída de un árbol, hasta construcciones más significativas, como obras ribereñas. En el área de estudio se identificaron tres factores antrópicos principales que potencialmente afectan la dinámica de inundación: (i) la construcción de obras para el manejo del agua superficial, (ii) los cambios en los usos del suelo, y (iii) la construcción de vías de tránsito que podrían variar los patrones naturales de escurrimiento.

Las infraestructuras utilizadas en el manejo del agua superficial en el área de estudio corresponden fundamentalmente a canales artificiales construidos con el propósito de conducir agua desde caños y ríos hacia zonas de cultivo. La microcuenca del caño Aguaverde presenta el mayor grado de intervención de este tipo, funcionando como sistema de abastecimiento y drenaje en conexión con el río Upía. En la parte alta de esta microcuenca se concentra una elevada densidad de canales, los cuales son recolectados y regulados por un canal transversal que limita su extensión aguas abajo. En el resto del territorio, los canales cumplen una función de interconexión hidráulica entre la cuenca del río Upía, el caño Aguaverde y la cuenca del río Túa, alterando la dirección y magnitud de los flujos superficiales en la zona (Ver Figura 5-4).

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

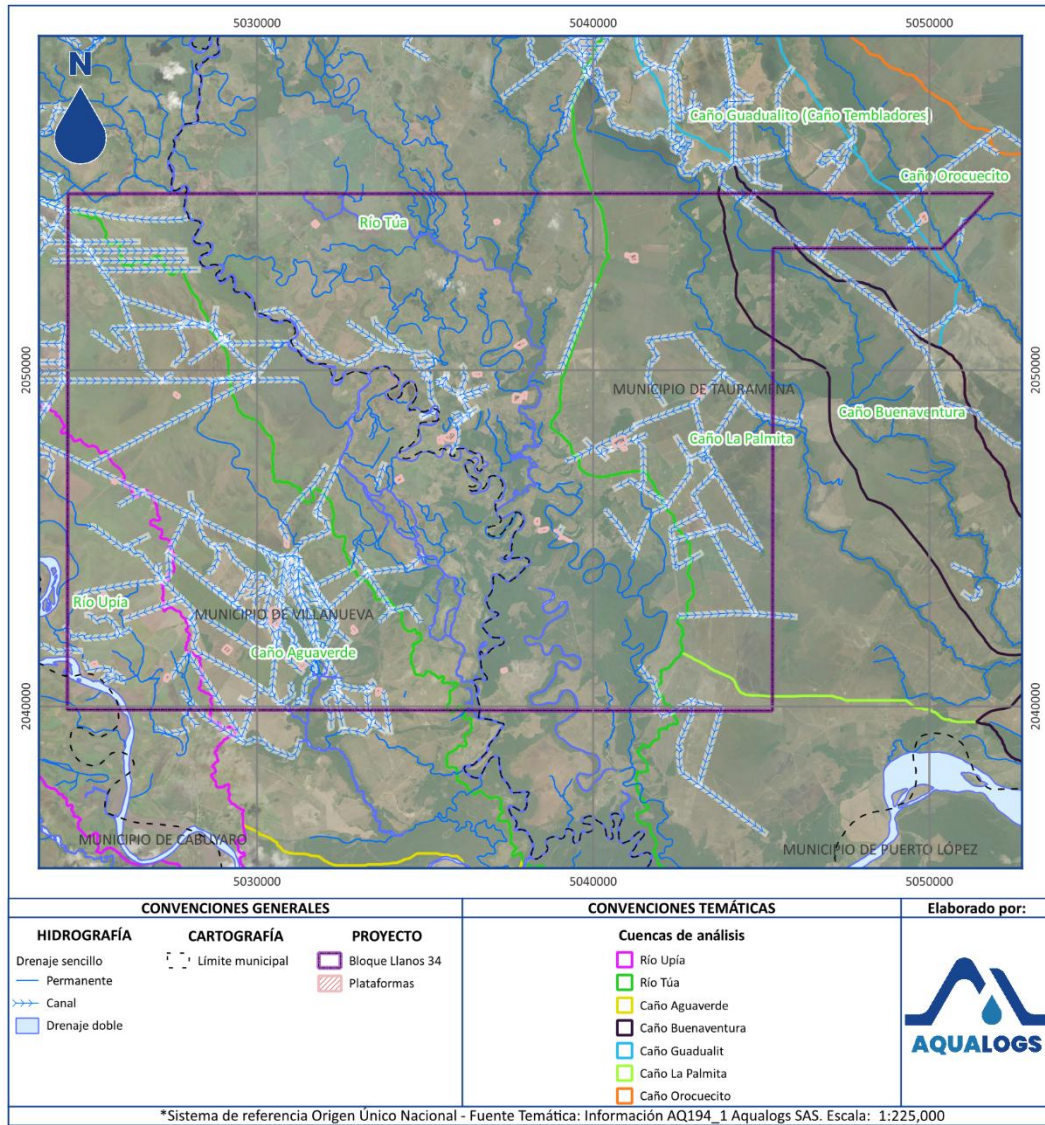


Figura 5-4. Canales antrópicos en el área de estudio

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Este tipo de comportamiento generalmente no es considerado en los análisis hidrológicos convencionales, los cuales suelen centrarse en los procesos de escorrentía superficial y generación de caudales. No obstante, en el contexto de los análisis hidráulicos, donde se evalúan las condiciones de flujo y la influencia de la infraestructura sobre la hidrodinámica del área, estas interconexiones y modificaciones pueden representar un factor crítico. Su adecuada incorporación permite una representación más realista del sistema, especialmente en escenarios de inundación o gestión del recurso hídrico.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Los usos del suelo en el área de estudio representan un factor clave en la modelación hidráulica, ya que influyen directamente en propiedades como la capacidad de infiltración, la rugosidad superficial y la resistencia al flujo. Estos parámetros determinan la facilidad o dificultad con la que el agua se desplaza sobre la superficie, afectando la dinámica del escurrimiento y los patrones de inundación. Con lo cual, la revisión de las coberturas es de gran importancia (Ver Figura 5-5).

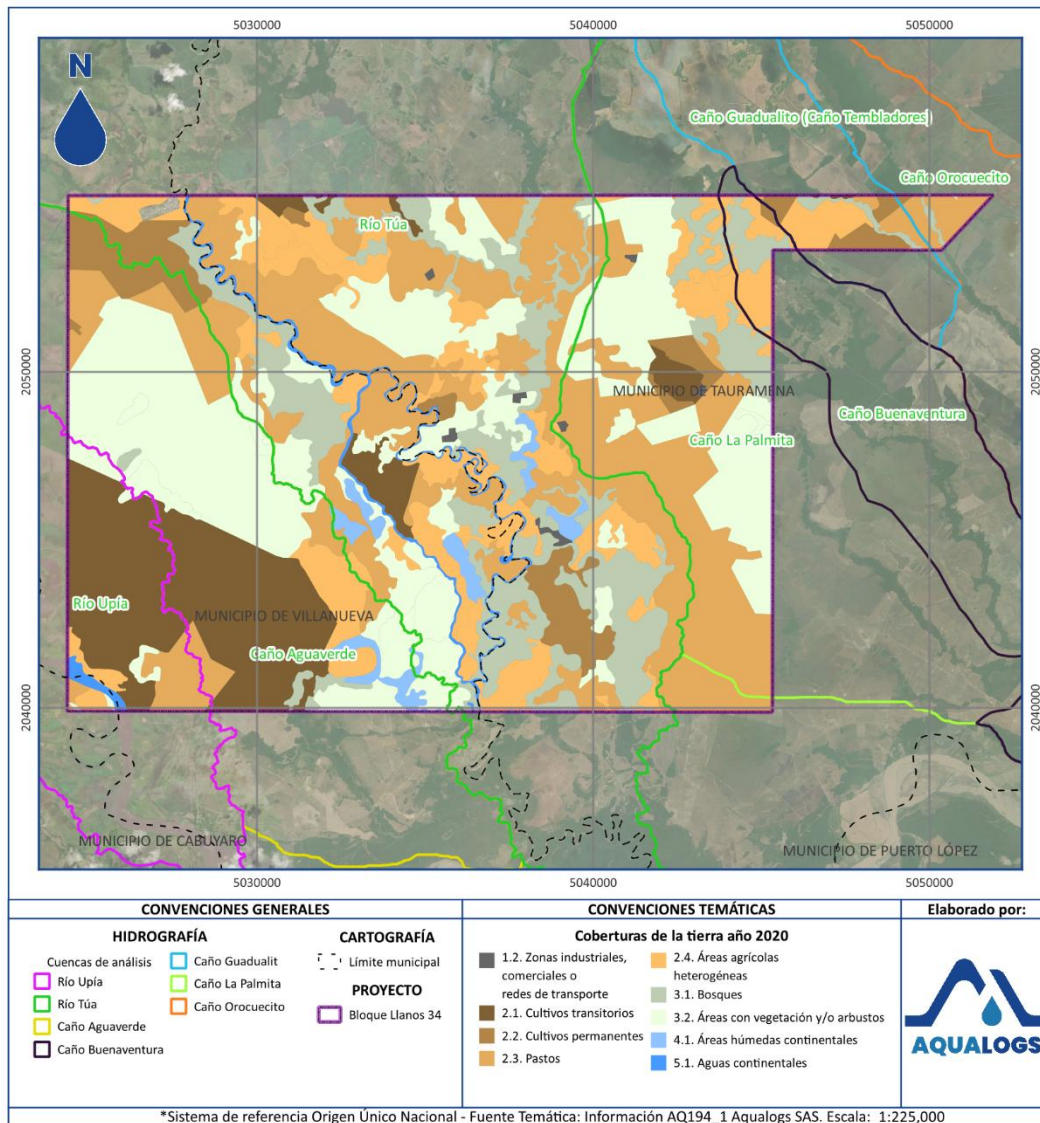


Figura 5-5. Coberturas de la tierra en el área de estudio del año 2020

Fuente. IDEAM CorineLand Cover Nivel 2 (2024)

En la Figura 5-5 se identifica que el área de estudio presenta predominantemente cuatro tipos de uso del suelo: (i) zonas industriales, (ii) áreas destinadas a actividades agropecuarias, incluyendo agricultura y ganadería, (iii) coberturas vegetales clasificadas como zonas arbóreas, y (iv) superficies

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

ocupadas por cuerpos de agua. Esta clasificación es relevante para la caracterización hidráulica, ya que cada tipo de cobertura presenta condiciones distintas en las variables previamente nombradas.

Finalmente, la última modificación antrópica considerada corresponde a las diversas infraestructuras que pueden alterar el comportamiento hidrológico del área de estudio. En particular, las vías de transporte representan los elementos estructurales con mayor influencia sobre la hidrodinámica del sector, dado que las obras de drenaje asociadas a estas modifican la dirección, magnitud y continuidad de los flujos superficiales. Estas intervenciones pueden generar cambios significativos en los patrones de escurrimiento y, por tanto, deben ser incorporadas de manera explícita en la modelación hidráulica. En Figura 5-6 se muestran las vías que pueden tener estructuras que podrían influir en la dinámica de inundaciones.

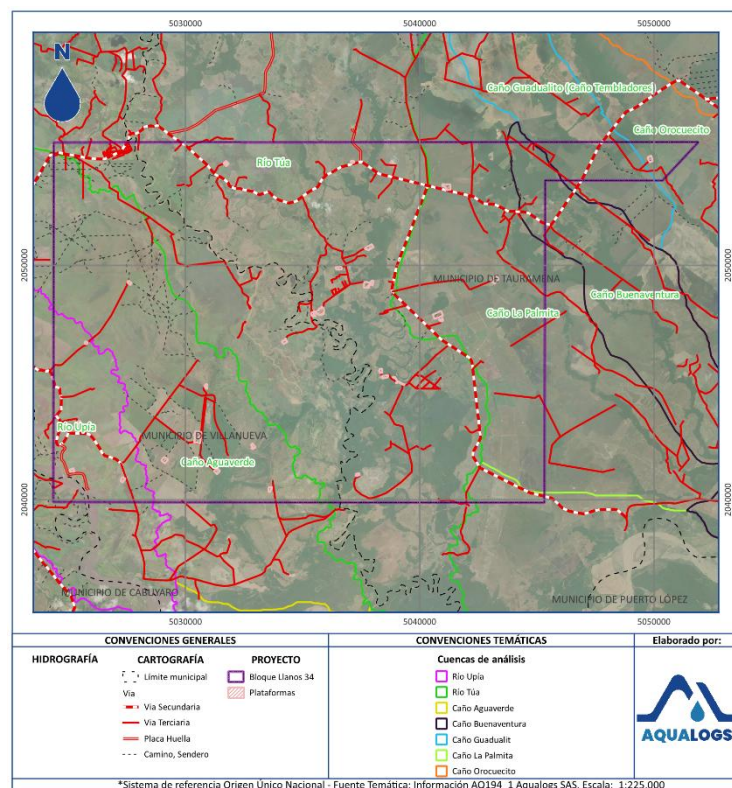


Figura 5-6. Infraestructura vial en el área de estudio

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

A lo largo de estas vías se encuentran estructuras hidráulicas como puentes, alcantarillas, pontones y quebrapatas, cuyo objetivo principal es permitir el paso vehicular o peatonal minimizando la alteración de los flujos de agua superficiales. Estas estructuras serán descritas detalladamente en el documento técnico de modelación hidráulica, junto con las características geométricas e hidráulicas que se considerarán para su representación dentro del modelo, con el fin de evaluar adecuadamente su influencia en la dinámica del flujo.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Ahora bien, es importante resaltar que, si bien las obras lineales -como vías de acceso, diques y la infraestructura puntual como plataformas petroleras- pueden influir localmente la conectividad del flujo al crear barreras o zonas de acumulación aguas arriba (Kastridis, 2020), en cuencas de pendiente casi nula estos efectos suelen ser secundarios frente a la dominancia del control topográfico natural sobre la generación de escorrentía (Appels et al., 2016). La microtopografía natural -depresiones y pequeños surcos- actúa como almacén temporal de agua, aumentando el almacenamiento superficial efectivo y modulando la forma del hidrograma, sin intervención humana. Estudios en llanuras demuestran que, aún sin infraestructura, la combinación de gradiente muy suave y heterogeneidad del terreno superficial es suficiente para generar inundaciones recurrentes tras episodios de precipitación prolongada (Wohl et al., 2025).

En consecuencia, la caracterización de la escorrentía en zonas planas requiere modelos que integren la distribución espacial de la pendiente y la microtopografía, así como los procesos de infiltración y almacenamiento superficial, para diferenciar procesos inherentes a la geomorfología de aquellos inducidos por obras civiles. Esto sienta las bases para evaluar de forma precisa si los fenómenos de inundación observados corresponden principalmente a la topografía natural o si, por el contrario, las infraestructuras han alterado de manera significativa el régimen hidrológico de la zona.

5.3.2. Consideraciones de la modelación

En el proceso de modelación hidráulica, dos características fundamentales que pueden verse afectadas por las condiciones propias del área de estudio y las modificaciones antrópicas son: (i) la delimitación del dominio del modelo y (ii) el grado de refinamiento de la malla computacional. Estos aspectos influyen directamente en la precisión y estabilidad del modelo. Adicionalmente, resulta esencial definir de manera rigurosa la metodología de evaluación del modelo, la cual permitirá verificar su capacidad para representar adecuadamente la dinámica hidrodinámica del sistema bajo estudio.

Las fronteras del modelo hidráulico corresponden a los límites a través de los cuales se produce la entrada o salida de flujo de agua distinta a la aportada por precipitación directa en el área de estudio, es decir, asociada a condiciones hidrológicas externas como caudales provenientes de cuencas tributarias o descargas hacia cauces receptores. Por lo tanto, cada cuenca que aporte flujo al dominio modelado debe contar con una condición de frontera de entrada debidamente definida. No obstante, debido a la extensión de algunas cuencas ubicadas dentro del área de estudio, se considera necesario modelarlas en su totalidad mediante modelación hidráulica, con el fin de capturar de manera precisa la generación y el transporte del flujo. Este es el caso de las cuencas del caño La Palmita, caño Buenaventura, caño Guadualito y caño Orocuecito. Estas cuencas se muestran en Figura 5-7.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

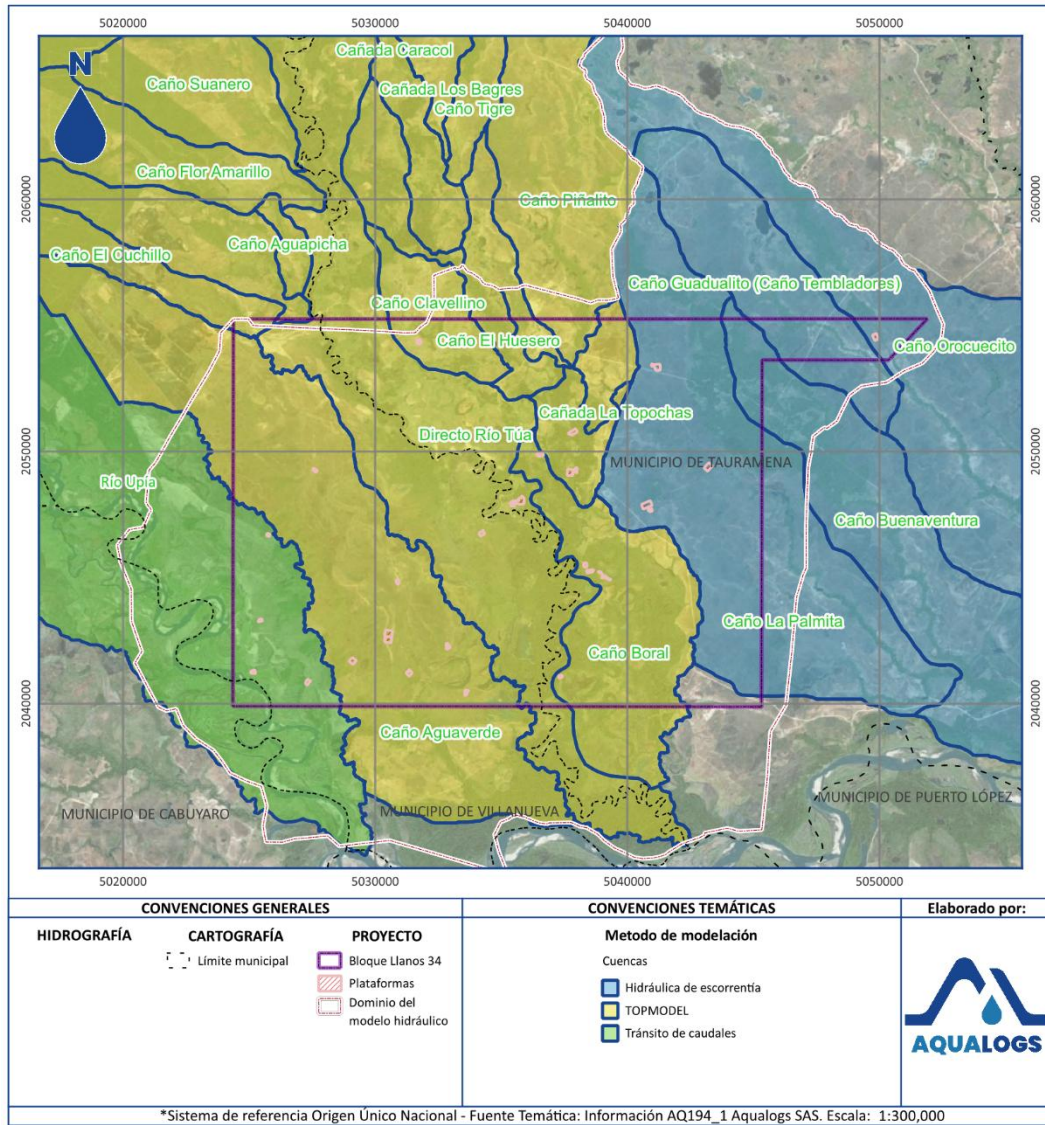


Figura 5-7. Cuencas de modelación hidráulica
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Sin embargo, es importante señalar que, aunque dichas cuencas serán representadas mediante modelación hidráulica, esta no abarcará la totalidad de su extensión. La modelación se limitará a los tramos alto y medio de las cuencas, comprendidos hasta el límite definido por el área de influencia del Bloque de Explotación Llanos 34. Esta delimitación responde a criterios de relevancia hidrodinámica y a la necesidad de optimizar los recursos computacionales sin comprometer la precisión del análisis en la zona de interés.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Las cuencas del río Upía, río Túa y el caño Aguaverde no fueron modeladas hidráulicamente para la optimización de recurso computacional a causa de su extensión. Por esta razón, el desarrollo de las fronteras hidráulicas en torno a sus entradas se abordó con un enfoque distinto. La cuenca del caño Aguaverde presenta un alto grado de intervención debido a la presencia de múltiples canales artificiales. No obstante, dado que existe un canal de recolección localizado en el límite de la cuenca, cuya función es concentrar y encauzar los flujos provenientes de los canales secundarios, se definirá dicho canal como un límite del dominio del modelo. Para su adecuada representación, se considerará la ubicación y distribución de los puntos de recolección a lo largo del mismo. En cuanto a la cuenca del río Túa, se procuró generar un espacio de desarrollo de crecientes en las subcuencas de Piñalito, El Hueso y Camelias, ubicadas fuera del bloque de explotación; no obstante, por limitaciones del insumo topográfico, no fue posible aplicar el mismo tratamiento a la cuenca directa del Túa, caño Clavellino ni a otras subcuencas menores y por lo tanto el dominio del se definió partir del límite del insumo topográfico. Finalmente, el río Upía el dominio del modelo se incorporó siguiendo la forma de su cuenca en el extremo oeste del modelo.

En cuanto a la densidad del mallado, se consideraron tres aspectos principales para su definición: (i) la localización de las vías terrestres, (ii) la ubicación de los cauces principales que drenan el área, y (iii) la necesidad de capturar con mayor resolución las dinámicas hidráulicas en zonas críticas. Por otro lado, para la delimitación de la frontera de salida del modelo, se incluyó el río Meta dentro del dominio de simulación. No obstante, su representación es parcial debido a las limitaciones asociadas a la disponibilidad de información topográfica y datos hidrológicos en dicho sector.

En cuanto a la inclusión de los usos del suelo en la modelación, estos fueron incorporados mediante la asignación de valores diferenciados del coeficiente de rugosidad de Manning. Este parámetro permitirá representar las condiciones de fricción asociadas a cada tipo de cobertura del terreno, influyendo directamente en la estimación de la resistencia al flujo superficial dentro del modelo hidráulico.

Finalmente, para la validación del modelo se tuvo en cuenta los eventos de inundación ocurridos históricamente y recordados por la población local, dada la limitada disponibilidad de registros instrumentales y documentación oficial. Estos eventos fueron contrastados con los reportes disponibles emitidos por las entidades nacionales competentes, con el fin de evaluar la coherencia espacial y temporal de los resultados del modelo frente a las evidencias observadas.

5.4. Análisis de remansos en el río Meta

Para comprender el comportamiento hidrodinámico en el área de estudio, es fundamental destacar el papel que desempeña el río Meta como frontera hidráulica de los cuerpos de agua que atraviesan el bloque. Tanto el río Upía como el río Túa, junto con otros afluentes directos, se ven regulados aguas abajo por el río Meta. En este sentido, el Meta actúa como límite de control para estos cuerpos de agua, lo que hace imprescindible identificar los efectos que este cauce principal ejerce

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

sobre las áreas de interés. El análisis de remansos permitirá identificar las condiciones de acumulación en los cuerpos de agua del bloque.

El estudio se desarrolló mediante el análisis de imágenes satelitales provenientes de dos programas internacionales de observación terrestre: Landsat, iniciativa conjunta del USGS y NASA, y Copernicus, liderado por la Comisión Europea en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA). Las imágenes fueron obtenidas desde el repositorio público de Earth Engine Data Catalog.

Se utilizaron dos tipos de imágenes satelitales complementarias:

- Imágenes ópticas: de las misiones Landsat 4–9 y Sentinel-2, permiten calcular el índice NDWI, que resalta cuerpos de agua y suelos saturados de humedad lo que permite identificar rastro de manchas de inundación. mediante la combinación de las bandas verde e infrarrojo cercano (Google, 2025)
- Imágenes SAR (radar de apertura sintética): de la misión Sentinel-1, permiten detectar agua superficial incluso con nubosidad, gracias a la baja retrodispersión que generan las superficies lisas como el agua (Kreiser, Killough, & Rizvi, 2020)

La selección de imágenes relevantes se realizó mediante dos enfoques metodológicos:

1. Selección por series de caudal: se identificaron fechas clave asociadas a eventos hidrológicos significativos (crecidas, remansos, estiajes) a partir de los registros históricos de caudal en la estación hidrométrica de CABUYARO [35107030], ubicada sobre el río Metica en las coordenadas 5023293.74 Este y 2030940.83 Norte (MGANA-SIRGAS_CTM12).

5.4.1. Metodología

A continuación, se presenta el esquema metodológico empleado para el análisis de imágenes satelitales. El proceso partió del filtrado preliminar de las colecciones Landsat y Sentinel, priorizando aquellas escenas tomadas sobre el área de estudio cuya cobertura de nube fuera inferior al 80%, con el fin de garantizar una visualización adecuada y confiable.

Posteriormente, se identificaron fechas hidrológicamente relevantes a partir de las series de caudal registradas en las estaciones del río Meta, lo que permitió seleccionar imágenes correspondientes a esos eventos como base para el análisis final.

Con las imágenes filtradas, se realizaron los respectivos análisis espectrales y radar, utilizando bandas ópticas y SAR para resaltar la mancha de inundación en cada fecha. Finalmente, se elaboró una tabla comparativa que resume las condiciones observadas en cada escena seleccionada.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

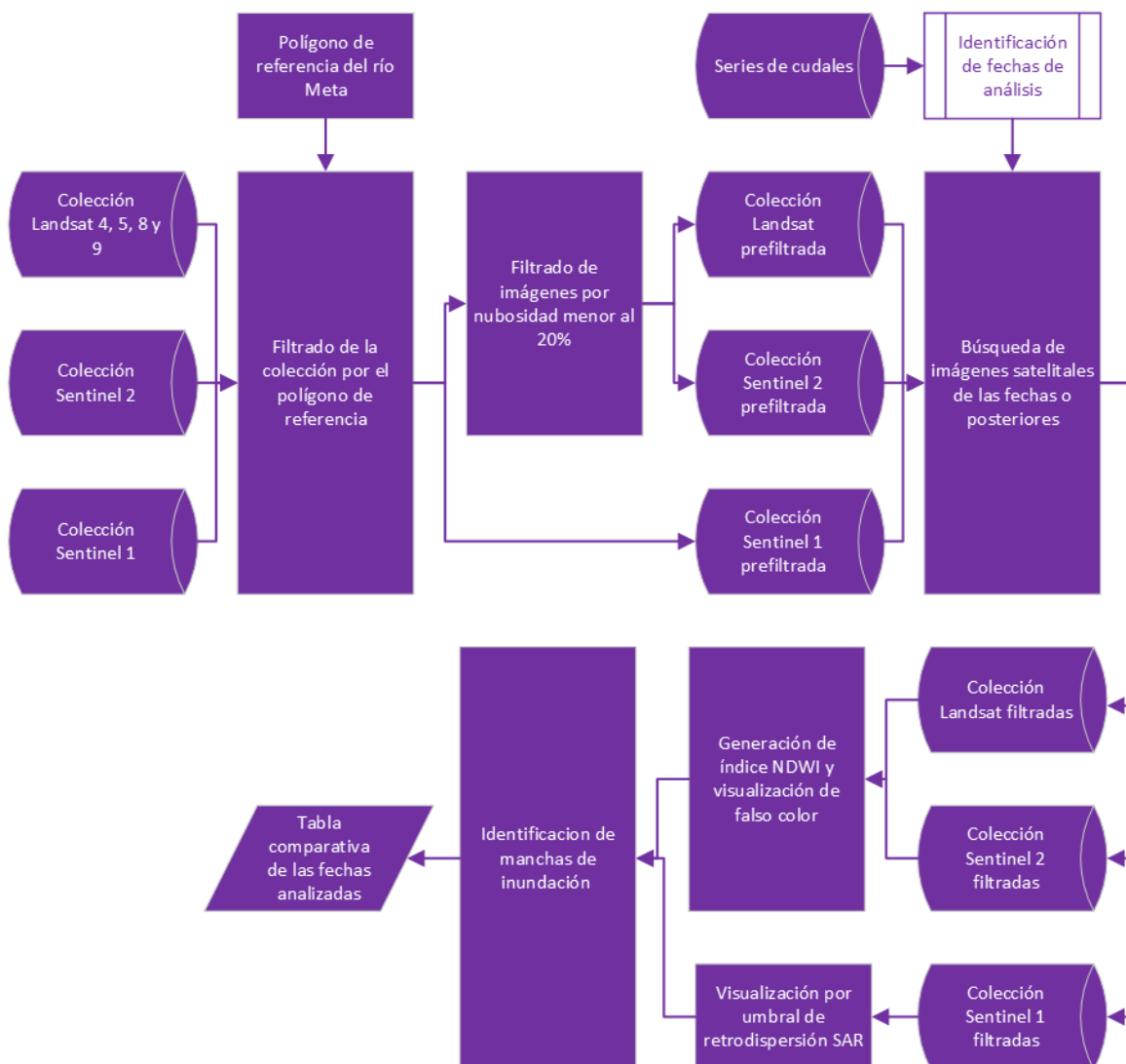


Figura 5-8. esquema metodológico para el análisis de imágenes satelitales

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

5.4.1.1. Filtrado preliminar

El primer proceso desarrollado consistió en el filtrado espacial de imágenes satelitales, restringido a un polígono de referencia ubicado sobre el cauce del río Meta, específicamente en el tramo comprendido entre la embocadura del río Guatiquía y un punto situado 9 kilómetros aguas abajo de la desembocadura del río Túa, dentro del mismo cuerpo hídrico. Este recorte espacial permitió limitar las colecciones a escenas relevantes para el área de estudio, optimizando la eficiencia del análisis posterior

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

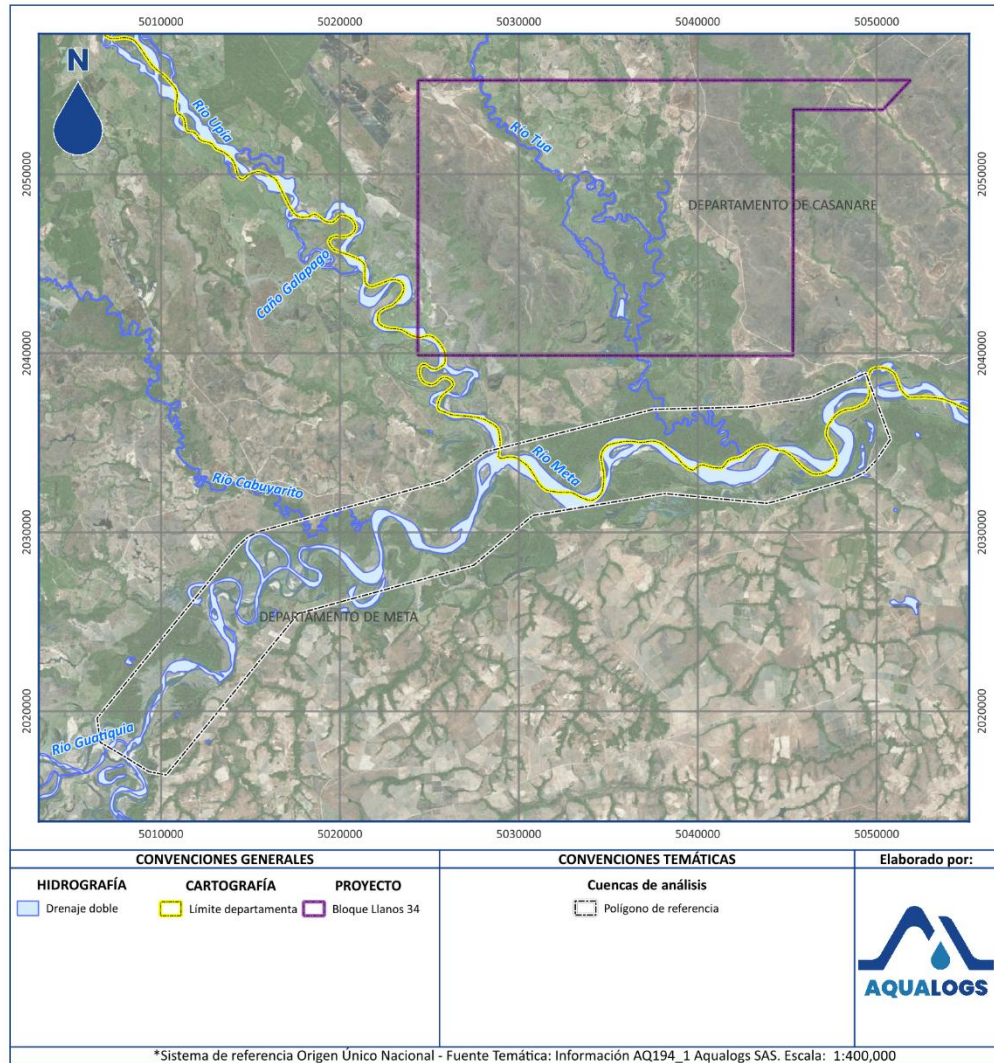


Figura 5-9. Polígono de referencias análisis en el río Meta

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

El siguiente proceso consistió en el filtrado por cobertura nubosa, aplicado exclusivamente a las imágenes ópticas provenientes de las colecciones Landsat 4, 5, 8 y 9, así como de Sentinel-2. Este filtro permitió seleccionar únicamente aquellas escenas cuya nubosidad fuera inferior al 80%, con el fin de garantizar una adecuada visualización de la superficie terrestre.

Este criterio no se aplicó a las imágenes SAR de Sentinel-1, ya que la tecnología de radar de apertura sintética (SAR) posee la capacidad de penetrar la cobertura nubosa, evitando los efectos de refracción y dispersión atmosférica que afectan a los sensores ópticos.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

5.4.1.2. Identificación de fechas de análisis

Para la selección de fechas de análisis se utilizó la serie de caudales medios diarios registrada en la estación limnimétrica CABUYARO [35107030] del IDEAM, ubicada en el departamento del Meta, como se muestra en la siguiente figura. Esto debido a que ser la estación limnimétrica más completa ubicada sobre el río Metas en el tramo cercano al bloque de explotación. En contraste la estación PICA LA [35117020] tiene registros hasta el año 1990 año en el que fue suspendió la estación.

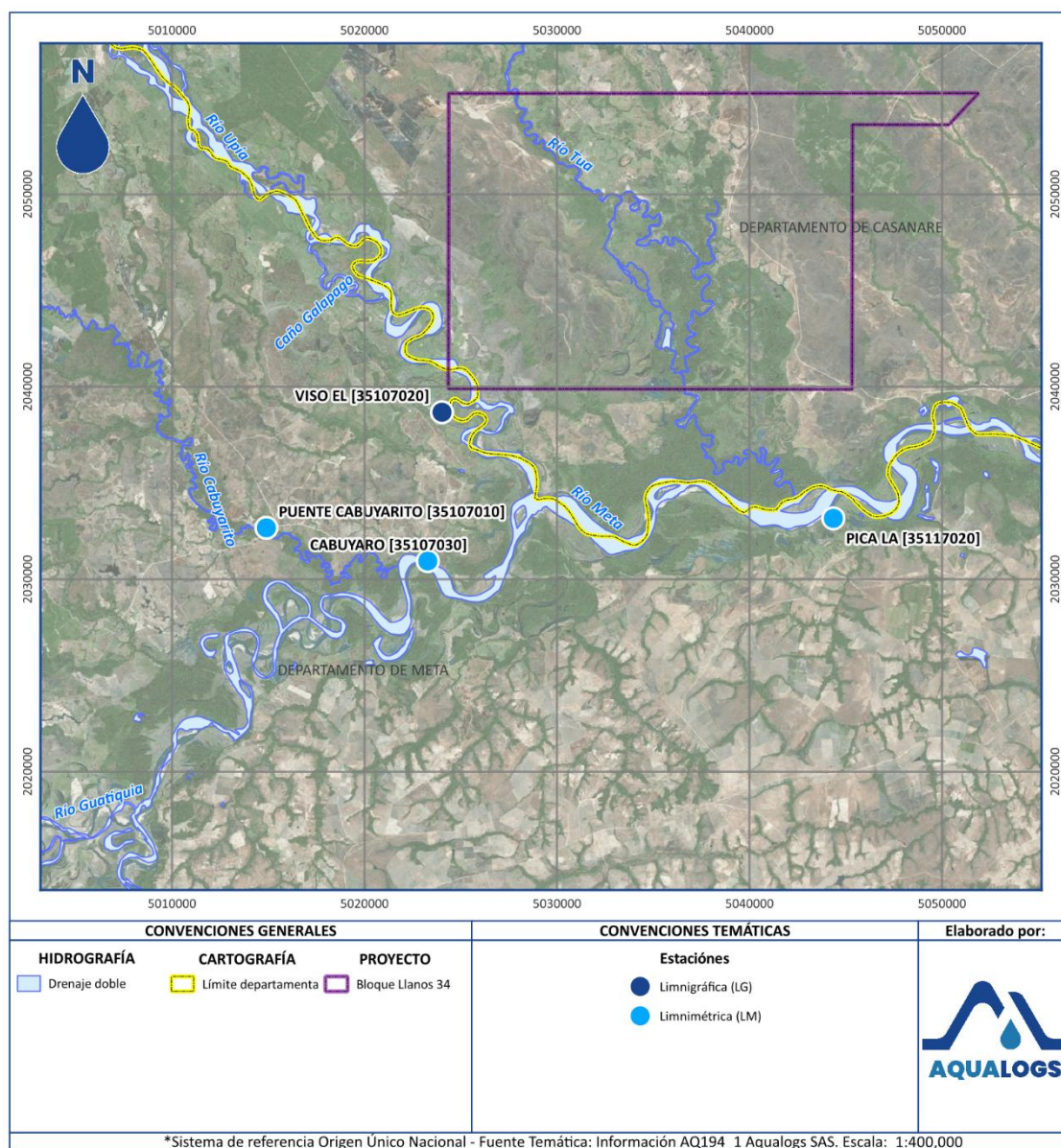


Figura 5-10. Localización de la estación CABUYARO [35107030]

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Se optó por los caudales medios diarios debido a su resolución temporal diaria y a la amplitud histórica del registro, que inicia en 1976, en contraste con los caudales máximos diarios, cuyo registro disponible comienza en 2016.

El periodo de análisis seleccionado abarca desde 1980 hasta 2025, lo que permite una caracterización robusta de eventos extremos. Con esta información, se estimó la curva de excedencia de caudales, identificando el valor correspondiente al percentil 5%, equivalente a un caudal de 1925 m³/s, utilizado como umbral para la detección de eventos de inundación.

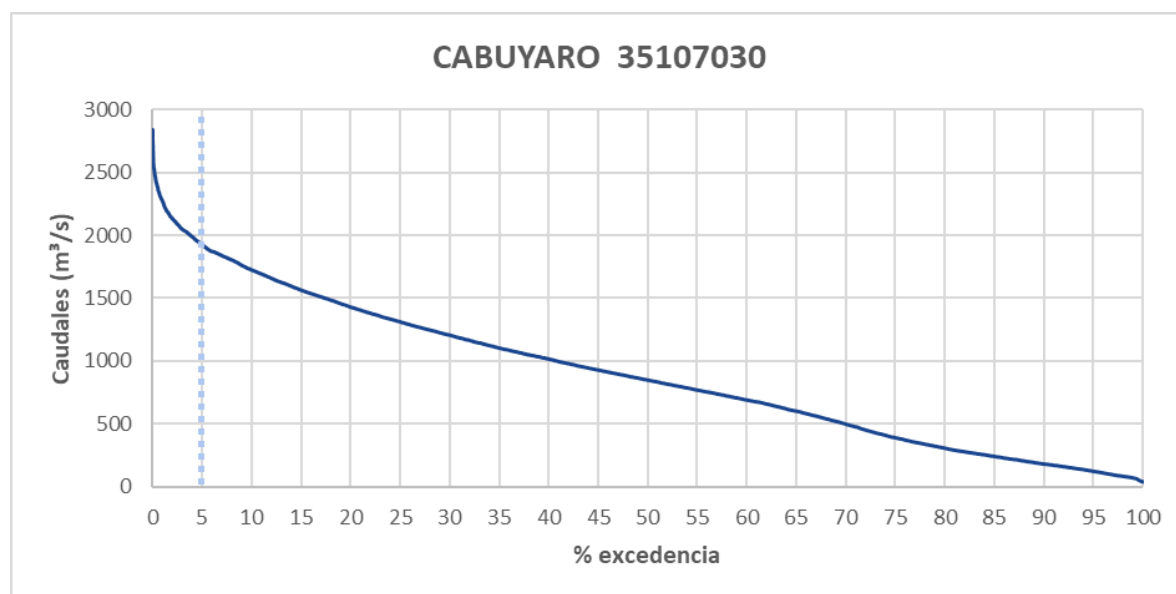


Figura 5-11. Curva de excedencia de caudales medios diarios en la estación CABUYAROO [35107030]

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Como resultado del análisis, se identificaron 788 fechas asociadas a eventos de interés, las cuales fueron agrupadas en 141 periodos con una duración máxima de 15 días cada uno. Esta agrupación permite caracterizar eventos de inundación de forma continua, evitando la fragmentación de picos cercanos en el tiempo.

En las siguientes tablas se presentan los periodos identificados, junto con los caudales promedio y caudales máximos registrados en cada uno, según la estación limnimétrica CABUYARO [35107030].

Tabla 5-1. Periodos analizados

Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo	Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo	Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo
04/06/80 - 19/06/80	2289	2840	14/05/99 - 16/05/99	1987	2021	19/08/16 - 21/08/16	2244	2351
30/06/80 - 30/06/80	1929	1929	24/06/99 - 26/06/99	2164	2217	02/09/16 - 03/09/16	2024	2056
08/10/80 - 10/10/80	2198	2240	04/10/99 - 08/10/99	2303	2524	07/05/17 - 17/05/17	2012	2267

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo	Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo	Periodo analizado	Caudal promedio	Caudal máximo
03/08/83 - 08/08/83	2026	2087	12/05/00 - 27/05/00	2082	2212	08/06/17 - 17/06/17	1965	2193
03/05/84 - 04/05/84	2035	2078	28/05/00 - 02/06/00	2011	2100	03/05/18 - 11/05/18	2056	2222
07/06/84 - 09/06/84	2052	2185	13/05/02 - 27/05/02	2119	2362	24/05/18 - 30/05/18	2183	2300
15/06/84 - 23/06/84	1977	2219	30/05/02 - 14/06/02	2393	2692	05/06/18 - 20/06/18	2206	2532
29/06/84 - 02/07/84	2257	2395	15/06/02 - 15/06/02	2006	2006	14/07/18 - 28/07/18	1870	2117
03/06/85 - 08/06/85	2343	2530	23/06/02 - 03/07/02	1869	2043	06/08/18 - 06/08/18	1983	1983
22/06/85 - 22/06/85	2006	2006	12/07/02 - 14/07/02	1972	2032	15/08/18 - 15/08/18	1926	1926
11/08/85 - 11/08/85	1948	1948	21/05/03 - 22/05/03	1988	2005	07/10/18 - 12/10/18	1733	2093
07/09/85 - 07/09/85	1926	1926	28/06/03 - 02/07/03	2016	2047	14/05/19 - 19/05/19	2115	2231
25/06/86 - 10/07/86	2096	2329	14/07/03 - 14/07/03	1932	1932	07/06/19 - 15/06/19	2031	2195
11/07/86 - 11/07/86	1956	1956	19/09/03 - 20/09/03	2111	2150	21/06/19 - 04/07/19	1945	2213
24/07/86 - 26/07/86	2016	2063	05/05/04 - 20/05/04	2007	2319	20/07/19 - 22/07/19	1995	2067
14/06/89 - 15/06/89	1988	2022	21/05/04 - 23/05/04	2019	2125	15/08/19 - 15/08/19	1988	1988
02/06/90 - 04/06/90	2035	2134	02/06/04 - 17/06/04	2227	2474	21/05/20 - 21/05/20	1970	1970
14/06/90 - 22/06/90	2081	2321	18/06/04 - 18/06/04	2393	2393	05/06/20 - 07/06/20	1978	2043
19/05/91 - 21/05/91	1943	1961	19/06/04 - 04/07/04	2066	2301	18/06/20 - 23/06/20	1869	1985
28/06/91 - 13/07/91	2149	2336	05/07/04 - 08/07/04	2193	2252	29/06/20 - 10/07/20	1769	1941
14/07/91 - 15/07/91	2059	2134	24/05/05 - 27/05/05	2181	2301	26/07/20 - 02/08/20	2022	2172
25/07/91 - 26/07/91	2030	2040	08/06/05 - 12/06/05	2031	2113	13/04/21 - 13/04/21	1980	1980
03/05/93 - 05/05/93	2053	2127	08/05/06 - 13/05/06	2210	2480	30/04/21 - 14/05/21	2211	2557
29/05/93 - 30/05/93	2059	2098	04/06/06 - 18/06/06	1924	2198	15/05/21 - 20/05/21	2149	2286
15/06/93 - 19/06/93	2098	2292	24/10/06 - 27/10/06	2105	2262	28/05/21 - 28/05/21	2021	2021
25/07/93 - 28/07/93	2089	2206	17/11/06 - 17/11/06	1932	1932	13/06/21 - 17/06/21	2017	2105
11/08/93 - 16/08/93	2257	2451	25/06/07 - 03/07/07	2299	2505	21/06/21 - 02/07/21	1867	2182
07/05/94 - 20/05/94	2164	2386	26/05/08 - 06/06/08	1979	2198	22/07/21 - 26/07/21	2325	2531
04/06/94 - 11/06/94	2167	2314	18/06/08 - 18/06/08	1938	1938	18/08/21 - 22/08/21	2014	2055
03/07/94 - 03/07/94	1947	1947	28/06/08 - 04/07/08	2159	2405	01/05/22 - 16/05/22	1968	2202
11/07/94 - 23/07/94	2140	2415	14/06/09 - 15/06/09	2005	2035	17/05/22 - 01/06/22	2273	2725
07/08/94 - 08/08/94	2026	2048	09/07/09 - 12/07/09	2014	2083	28/05/22 - 02/06/22	2103	2189
15/10/94 - 15/10/94	1932	1932	17/04/10 - 22/04/10	2036	2150	08/06/22 - 13/06/22	1772	2019
30/05/95 - 31/05/95	1951	1969	05/06/10 - 13/06/10	1961	2059	25/06/22 - 27/06/22	2069	2075
20/06/95 - 25/06/95	2143	2341	28/07/10 - 30/07/10	2051	2137	09/07/22 - 15/07/22	2225	2350
14/05/96 - 22/05/96	2230	2665	29/05/11 - 31/05/11	2087	2162	03/08/22 - 15/08/22	1925	2287
24/06/96 - 02/07/96	1779	1953	02/05/12 - 03/05/12	1965	1992	03/11/22 - 04/11/22	1958	1971
22/07/96 - 23/07/96	2030	2048	16/07/12 - 17/07/12	2020	2047	27/05/23 - 02/06/23	1869	2058
28/05/97 - 03/06/97	2159	2384	31/07/12 - 03/08/12	2000	2107	16/06/23 - 16/06/23	1955	1955
02/07/97 - 17/07/97	2035	2320	12/05/13 - 12/05/13	1944	1944	19/07/23 - 22/07/23	2056	2141
18/07/97 - 18/07/97	2027	2027	07/11/13 - 07/11/13	1926	1926	17/05/24 - 01/06/24	2164	2468
30/05/98 - 06/06/98	2093	2173	18/06/14 - 27/06/14	1970	2156	02/06/24 - 07/06/24	2015	2277
16/06/98 - 30/06/98	2040	2341	14/06/15 - 17/06/15	2190	2283	04/05/25 - 19/05/25	2351	2539
05/07/98 - 14/07/98	2030	2146	23/06/15 - 30/06/15	2225	2356	20/05/25 - 04/06/25	2264	2670
20/07/98 - 28/07/98	2055	2108	24/04/16 - 30/04/16	1818	1982	06/06/25 - 17/06/25	2312	2574
10/04/99 - 16/04/99	2132	2436	28/05/16 - 01/06/16	2121	2254	02/07/25 - 15/07/25	1868	2340
28/04/99 - 07/05/99	2030	2206	07/07/16 - 10/07/16	2184	2344	04/08/25 - 04/08/25	1946	1946

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

5.4.1.3. Búsqueda de imágenes satelitales

A partir de los 141 periodos de análisis identificados, se seleccionó la imagen más cercana a la fecha de inicio de cada periodo, dentro de la misma fecha o 15 días posteriores. Este proceso se aplicó sobre las tres colecciones satelitales utilizadas: Landsat, Sentinel-2 y Sentinel-1.

Es importante resaltar que cada colección está limitada por el periodo de operación de sus respectivas misiones:

1. Landsat: disponible en Colombia desde 1984, con continuidad en las misiones Landsat 4, 5, 7, 8 y 9.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

2. Sentinel-2: disponible desde 2015, con imágenes multiespectrales de media resolución.
3. Sentinel-1: disponible desde 2014, con imágenes SAR, útiles para análisis en condiciones de nubosidad.

Adicionalmente, se omitieron las imágenes provenientes de la misión Landsat 7, debido a una falla en el sensor ETM+ ocurrida en 2003, que genera bandas incompletas y afecta significativamente la calidad de la información.

En total se identificaron 55 imágenes satelitales adecuadas para el análisis, distribuidas de la siguiente manera:

- 10 imágenes de las colecciones Landsat
- 8 imágenes de la colección Sentinel-2
- 37 imágenes de la colección Sentinel-1

Estas imágenes fueron seleccionadas por su proximidad temporal a los eventos definidos, su cobertura espacial sobre el área de interés y la calidad de los datos disponibles. En la siguiente tabla se presenta información general de las imágenes seleccionadas, incluyendo la misión, fecha de adquisición, tipo de sensor y resolución espacial.

Tabla 5-2. Información general de las imágenes satelitales

ID	Colección	Misión	Fecha
'LANDSAT/LT05/C02/T1_L2/LT05_007057_19990525'	Landsat	LT05	25/05/1999
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20160507'	Landsat	LC08	7/05/2016
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20160827'	Landsat	LC08	27/08/2016
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20160912'	Landsat	LC08	12/09/2016
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20170611'	Landsat	LC08	11/06/2017
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20210419'	Landsat	LC08	19/04/2021
'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_007057_20210521'	Landsat	LC08	21/05/2021
'LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_007057_20230604'	Landsat	LC09	4/06/2023
'LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_007057_20230620'	Landsat	LC09	20/06/2023
'LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_007057_20250508'	Landsat	LC09	8/05/2025
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20200609T151709_20200609T151945_T18N9Y'	Sentinel	S2	9/06/2020
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20200629T151709_20200629T152119_T18N9Y'	Sentinel	S2	29/06/2020
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20200729T151709_20200729T151927_T18N9Y'	Sentinel	S2	29/07/2020
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210624T151709_20210624T151704_T18N9Y'	Sentinel	S2	24/06/2021
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210818T151711_20210818T152108_T18N9Y'	Sentinel	S2	18/08/2021
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20220709T151709_20220709T151708_T18N9Y'	Sentinel	S2	9/07/2022
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20250521T151941_20250521T151935_T18N9Y'	Sentinel	S2	21/05/2025
'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20250608T151741_20250608T151740_T18N9Y'	Sentinel	S2	8/06/2025
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20170609T103357_20170609T103422_005972_00A7B2_794B'	Sentinel	S1	9/06/2017
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20180511T103401_20180511T103426_010872_013E39_F3E2'	Sentinel	S1	11/05/2018
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20180604T103403_20180604T103428_011222_01498F_E273'	Sentinel	S1	4/06/2018
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20180616T103404_20180616T103429_011397_014EE8_C8B9'	Sentinel	S1	16/06/2018
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20190518T103408_20190518T103433_016297_01EAC2_749D'	Sentinel	S1	18/05/2019
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20190611T103410_20190611T103435_016647_01F54F_D69A'	Sentinel	S1	11/06/2019
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20190623T103410_20190623T103435_016822_01FA7E_5E61'	Sentinel	S1	23/06/2019
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20190729T103412_20190729T103437_017347_0209F3_42BD'	Sentinel	S1	29/07/2019
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20190822T103414_20190822T103439_017697_0214B8_2B79'	Sentinel	S1	22/08/2019
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20200524T103415_20200524T103440_021722_0293AD_DA9A'	Sentinel	S1	24/05/2020
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20200605T103416_20200605T103441_021897_0298EC_3EF6'	Sentinel	S1	5/06/2020
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20200629T103417_20200629T103442_022247_02A392_7940'	Sentinel	S1	29/06/2020
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20200804T103419_20200804T103444_022772_02B381_E075'	Sentinel	S1	4/08/2020
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210413T103419_20210413T103444_026447_03284A_B177'	Sentinel	S1	13/04/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210507T103420_20210507T103445_026797_03337F_0366'	Sentinel	S1	7/05/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210519T103421_20210519T103446_026972_0338F2_5EFF'	Sentinel	S1	19/05/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210531T103421_20210531T103446_027147_033E26_789C'	Sentinel	S1	31/05/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210624T103423_20210624T103448_027497_034857_C732'	Sentinel	S1	24/06/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210730T103425_20210730T103450_028022_0357C7_AE5C'	Sentinel	S1	30/07/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20210823T103426_20210823T103451_028372_0362A8_B14D'	Sentinel	S1	23/08/2021
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220508T103512_20220508T103537_043118_05263F_6BCC'	Sentinel	S1	8/05/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220520T103513_20220520T103538_043293_0528BD_BEB8'	Sentinel	S1	20/05/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220613T103515_20220613T103540_043643_0535EC_172B'	Sentinel	S1	13/06/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220625T103516_20220625T103541_043818_053B30_B05D'	Sentinel	S1	25/06/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220719T103517_20220719T103542_044168_0545A2_C0FD'	Sentinel	S1	19/07/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20220812T103519_20220812T103544_044518_05500F_7E74'	Sentinel	S1	12/08/2022

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

ID	Colección	Misión	Fecha
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20221104T103520_20221104T103545_045743_057897_2D8E'	Sentinel	S1	4/11/2022
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20230527T103519_20230527T103544_048718_050BF8_7F0C'	Sentinel	S1	27/05/2023
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20230620T103520_20230620T103545_049068_05E691_3ABF'	Sentinel	S1	20/06/2023
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20230726T103523_20230726T103548_049593_05F6A6_5277'	Sentinel	S1	26/07/2023
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20240521T103522_20240521T103547_053968_068F79_E187'	Sentinel	S1	21/05/2024
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20240602T103522_20240602T103547_054143_06958B_5607'	Sentinel	S1	2/06/2024
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20250504T103515_20250504T103540_059043_0752E6_82E3'	Sentinel	S1	4/05/2025
'COPERNICUS/S1_GRD/S1C_IW_GRDH_1SDV_20250522T103403_20250522T103428_002442_0051C1_D247'	Sentinel	S1	22/05/2025
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20250609T103514_20250609T103539_059568_076540_3E62'	Sentinel	S1	9/06/2025
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20250703T103513_20250703T103538_059918_077162_D993'	Sentinel	S1	45841
'COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1SDV_20250808T103511_20250808T103536_060443_078396_99EB'	Sentinel	S1	8/08/2025

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

5.4.1.4. Procesado de las imágenes

Para comprender el procesamiento de las imágenes satelitales, es necesario entender que estas están compuestas por bandas espectrales, que representan diferentes rangos del espectro electromagnético. Cada banda captura información específica sobre la superficie terrestre, como reflectancia en el infrarrojo cercano, visible, térmico o microondas, dependiendo del tipo de sensor y misión satelital (Google Earth Engine, 2025).

Como se mencionó previamente, el presente análisis incluye imágenes ópticas provenientes de las misiones Landsat y Sentinel-2, así como imágenes de radar de apertura sintética (SAR) de la misión Sentinel-1. Debido a las diferencias en la naturaleza de los sensores, se aplicaron dos procesos de tratamiento diferenciados para las bandas de cada tipo.

Para las imágenes ópticas, se optó por la generación de composiciones en falso color, consiste en la combinación de bandas espectrales específicas.

- En el caso de las imágenes Landsat, se utilizaron las bandas SWIR (infrarrojo de onda corta), NIR (infrarrojo cercano) y rojo visible.
- Para las imágenes Sentinel-2, se emplearon las bandas rojo, verde y azul (RGB), generando una visualización más cercana al espectro visible.

Este tipo de visualización facilita la identificación de patrones espaciales y temporales en el paisaje, y es ampliamente utilizado en estudios de cobertura terrestre, monitoreo ambiental y análisis multitemporal (Google, 2025). Además, se estimó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), que permite identificar cuerpos de agua superficiales mediante la siguiente expresión:

Ecuación 5-1. Estimación del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Donde NSWI corresponde al índice de agua de diferencia normalizada, Green a los valores de la banda verde visible y NIR a los valores de la banda de infrarrojos cercanos.

Fuente. McFeeters (1996)

Para la interpretación de este índice utilizó una paleta de azules y naranjas donde:

- Azul indica alto NDWI, asociado a superficies con agua.
- Naranja representa bajo NDWI, vinculado a zonas secas o sin humedad.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

En el caso de las imágenes SAR, se trabajó con la banda VV (Vertical transmitida – Vertical recibida), que registra la retrodispersión de la señal en dirección vertical. Esta banda es sensible a la rugosidad superficial, humedad del suelo y presencia de agua, y es ampliamente utilizada en estudios de inundación y dinámica hídrica (NASA WASARD, 2020).

Se optó por un análisis basado en el umbral de retrodispersión, utilizando una paleta similar a la empleada en el NDWI:

- Colores naranjas indican alta retrodispersión (valores mayores a -15 dB), asociada a superficies rugosas, vegetación densa o estructuras urbanas.
- Colores azules representan baja retrodispersión (valores menores a -20 dB), típicamente asociada a superficies de agua lisa, como ríos, lagunas o zonas inundadas.

Esta visualización permite identificar áreas potencialmente inundadas con alta precisión, incluso en condiciones de nubosidad o ausencia de luz (Google Earth Engine, 2025).

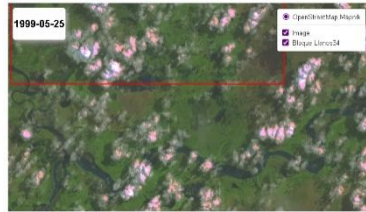
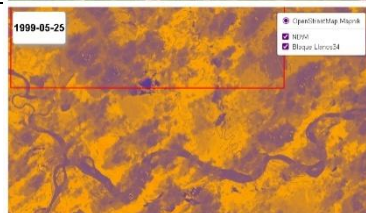
5.4.2. Tabla comparativa de imágenes satelitales

Como resultado final, se elaboró una tabla comparativa con las imágenes satelitales correspondientes a los periodos hidrológicos analizados. Esta tabla incluye la totalidad de las imágenes Landsat y Sentinel-2.

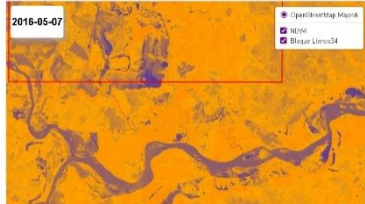
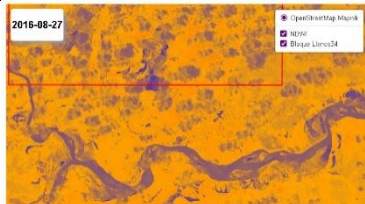
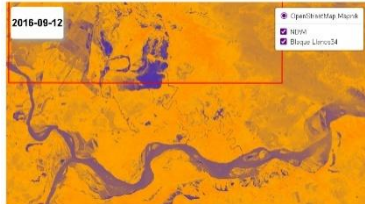
En el caso de Sentinel-1, debido al alto volumen de imágenes disponibles, se incluyeron únicamente aquellas consideradas más relevantes por su representatividad.

Para consultar el listado completo de imágenes Sentinel-1 utilizadas, se recomienda revisar el Anexo 2.

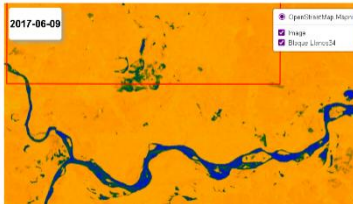
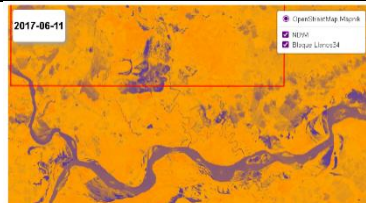
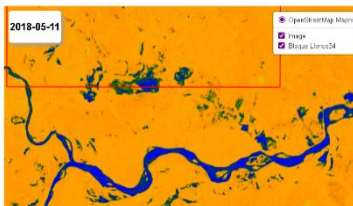
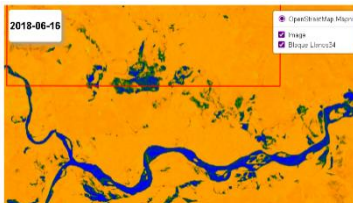
Tabla 5-3. Tabla comparativa de imágenes Satelitales

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color	Imagen con falso color	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
	Índice NDWI	Índice NDWI	
14/05/99 - 16/05/99			
			
Para este periodo se dispone únicamente de una imagen de la misión Landsat 5, con nubosidad moderada. La imagen se tomó 11 días después del inicio del periodo. La cobertura permite observar que el río no presentó desbordamientos evidentes durante este intervalo.			

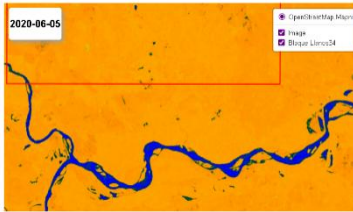
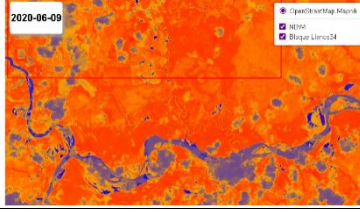
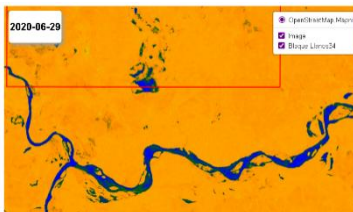
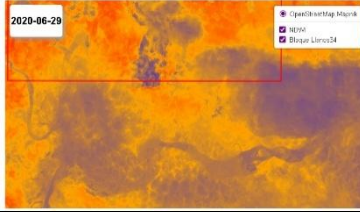
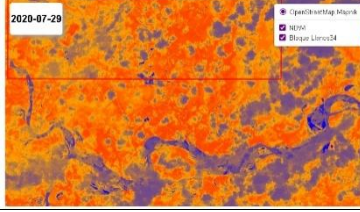
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color	Imagen con falso color	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
	Índice NDWI	Índice NDWI	
24/04/16 - 30/04/16			
			
Para este periodo se dispone de una única imagen de la misión Landsat 8, libre de nubosidad, tomada 6 días después del inicio del periodo. En ella se observan desbordamientos al norte del río Meta, cerca de la desembocadura del río Upía, así como al sur del Meta, posterior a la desembocadura del río Túa.			
19/08/16 - 21/08/16			
			
Para este periodo se dispone de una única imagen de la misión Landsat 8, con nubosidad moderada, tomada 8 días después del inicio periodo. En ella se identifican rastros de los desbordamientos en las zonas destacadas en el análisis anterior.			
02/09/16 - 03/09/16			
			
Para este periodo se dispone de una única imagen de la misión Landsat 8, libre de nubosidad, tomada 7 días después del inicio periodo. En ella se identifican rastros de los desbordamientos en las zonas destacadas en el análisis del periodo 24/04/16 - 30/04/16.			

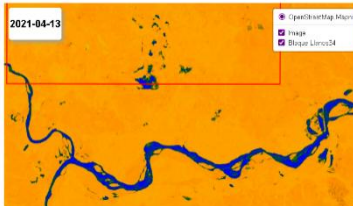
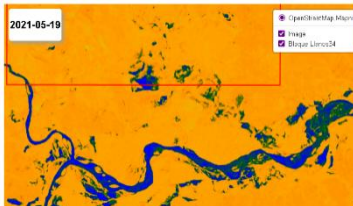
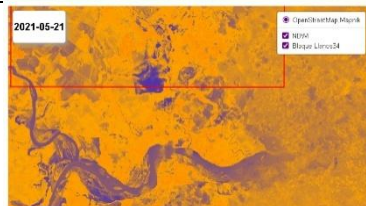
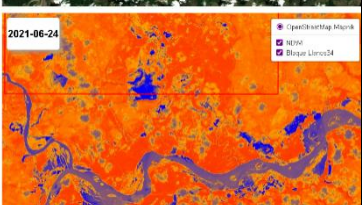
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color	Imagen con falso color	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
	Índice NDWI	Índice NDWI	
08/06/17 - 17/06/17			
			
Para este periodo se dispone de dos imágenes, una de la misión Landsat 8 con leve nubosidad y tomada 3 días después del inicio periodo y otra del Sentinel-1 tomada un día después del inicio del periodo. En esta imagen se distingue un desbordamiento al sur del río Meta, así como manchas de inundación al norte, aunque parcialmente ocultas por nubosidad en esa zona.			
03/05/18 - 11/05/18			
Para este periodo se dispone de una imagen de la misión Sentinel 1 tomada 8 días después del inicio del periodo. Lo más relevante en la imagen es una secuencia de manchas de inundación al norte del río Meta, posteriores a la desembocadura del río Túa.			
05/06/18 - 20/06/18			
Para este periodo se dispone de una imagen de la misión Sentinel 1 tomada 11 días después del inicio del periodo. Al igual que en el periodo anterior, se observa una secuencia de manchas de inundación al norte del río Meta, junto con desbordamientos más notorios en el costado sur.			

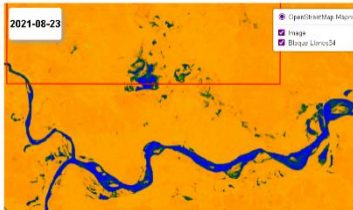
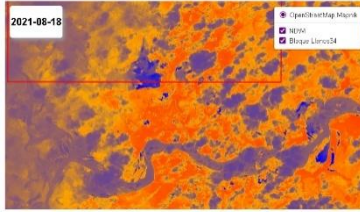
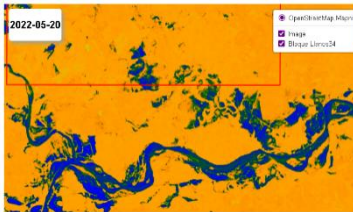
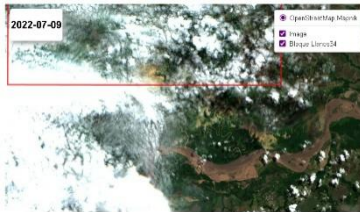
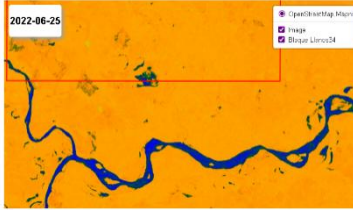
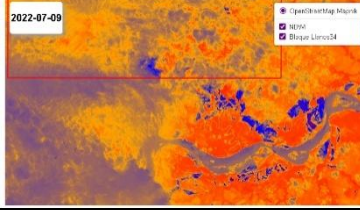
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
05/06/20 - 07/06/20			
			
Para este periodo se dispone de dos imágenes: una de Sentinel-2, tomada 4 días después del inicio, y otra de Sentinel-1, capturada el mismo día del inicio. En ambas se identifican pequeñas manchas de desbordamiento al sur del río Meta, así como una al norte, posterior a la desembocadura del río Túa.			
29/06/20 - 10/07/20			
			
Para este periodo se dispone de dos imágenes de las misiones Sentinel-2 y Sentinel-1, tomadas el mismo día del inicio del periodo. En ambas se identifican pequeñas manchas de desbordamiento al sur del río Meta, así como una al norte, posterior a la desembocadura del río Túa.			
26/07/20 - 02/08/20			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: Sentinel-2, tomada 3 días después del inicio, con alta nubosidad, y Sentinel-1, capturada 9 días después. La imagen Sentinel-1 muestra un alto índice de humedad en suelo y vegetación, junto con manchas de inundación en ambos costados del río, similares a las observadas en el periodo anterior.			

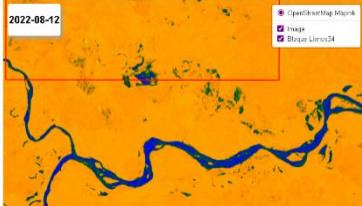
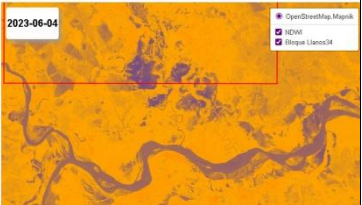
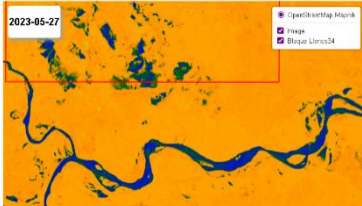
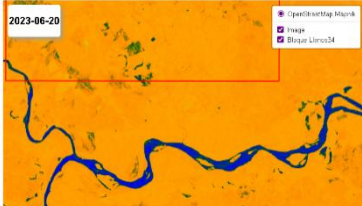
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
13/04/21 - 13/04/21			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Landsat 8, tomada 6 días después del inicio, sin nubosidad; y otra de Sentinel-1, capturada el día de inicio. En ambas se observan pequeñas manchas de desbordamiento en los costados del río Meta, con distribución similar a la de periodos anteriores.			
15/05/21 - 20/05/21			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Landsat 8, tomada 6 días después del inicio, con nubosidad moderada, y otra de Sentinel-1, capturada 4 días después del inicio. En ambas se observan amplias manchas de desbordamiento en los costados del río Meta, así como un rastro de manchas que se extiende hacia el bloque desde el río Meta.			
21/06/21 - 02/07/21			
			
Para este periodo se cuenta con una imagen de Sentinel-2, tomada 3 días después del inicio, con nubosidad baja. Se evidencian manchas de desbordamiento en ambos extremos del río Meta, destacándose la del costado norte aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			

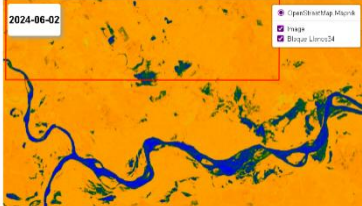
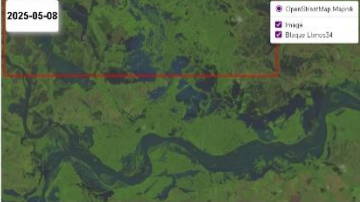
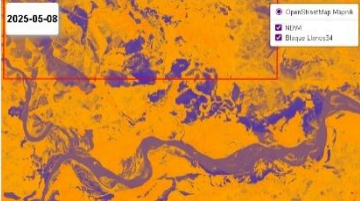
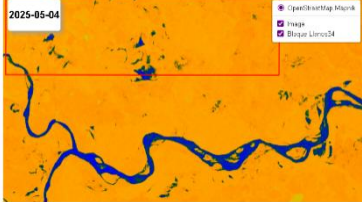
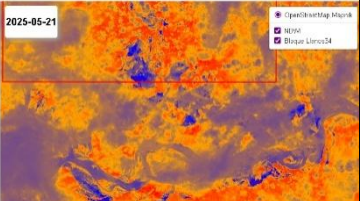
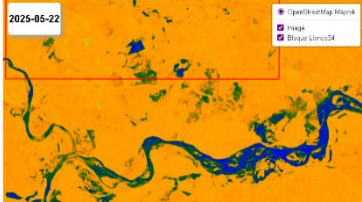
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
18/08/21 - 22/08/21			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Sentinel-2, tomada al inicio del periodo, con alta nubosidad, y otra de Sentinel-1, capturada 5 días después. En la imagen SAR se observan manchas leves de inundación, con un comportamiento similar al periodo 15/05/21 - 20/05/21.			
17/05/22 - 01/06/22			
Para este periodo se dispone de una imagen de Sentinel-1, tomada 2 días después del inicio. Se distinguen amplias manchas de inundación en ambos extremos del río Meta, destacándose la que ingresa al bloque aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			
25/06/22 - 27/06/22			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Sentinel-2, tomada 15 días después del inicio, con alta nubosidad en el flanco izquierdo, y otra de Sentinel-1, capturada el día de inicio. En la imagen SAR se identifican manchas pequeñas en ambos extremos, mientras que la imagen óptica muestra manchas más extensas aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			

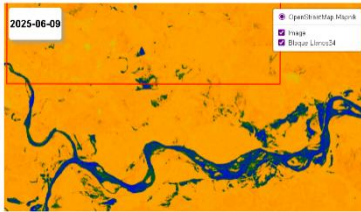
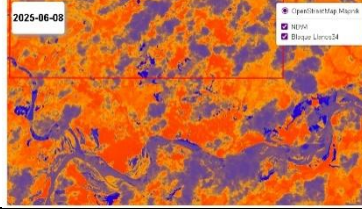
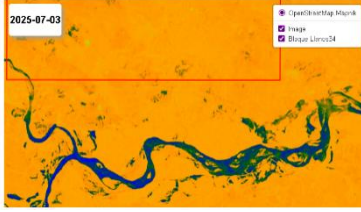
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
03/08/22 - 15/08/22			
Para este periodo se dispone de una imagen de Sentinel-1, tomada 9 días después del inicio. Se distinguen pequeñas manchas de inundación en ambos extremos del río Meta, destacándose la que ingresa al bloque aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			
27/05/23 - 02/06/23	 		
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Landsat 9, tomada 8 días después del inicio, sin nubosidad, y otra de Sentinel-1, capturada el día de inicio. La imagen SAR revela manchas pequeñas en ambos extremos del río Meta, junto con áreas húmedas inconexas al río dentro del bloque. En contraste, la imagen óptica muestra manchas más extensas aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			
16/06/23 - 16/06/23	 		
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Landsat 9, tomada 4 días después del inicio, con nubosidad leve, y otra de Sentinel-1, capturada el día de inicio. En ambas se distinguen pequeñas manchas de inundación en los extremos del río Meta, con distribución similar a la observada en periodos previos.			

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
02/06/24 - 07/06/24			
Para este periodo se dispone de una imagen de Sentinel-1, tomada el mismo día del inicio. Se distinguen manchas de inundación no muy grandes en ambos extremos del río Meta, destacándose la que ingresa al bloque aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			
04/05/25 - 19/05/25	 		
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Landsat 9, tomada 4 días después del inicio, con nubosidad leve, y otra de Sentinel-1, capturada el día de inicio. La imagen SAR muestra pequeñas manchas de inundación en ambos extremos del río Meta, mientras que la imagen óptica revela manchas más extensas, destacándose la que se origina desde el cauce hacia el bloque.			
20/05/25 - 04/06/25		 	
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Sentinel-2, tomada 1 día después del inicio, con alta nubosidad, y otra de Sentinel-1, capturada a 2 días del inicio. En la imagen SAR se identifican manchas medianas discontinuas en ambos extremos del río destacando la que llega al bloque desde el cauce.			

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Periodo analizado	Landsat	Sentinel 2	Sentinel 1 SAR
	Imagen con falso color Índice NDWI	Imagen con falso color Índice NDWI	Visualización por umbral de retrodispersión SAR
06/06/25 - 17/06/25			
			
Para este periodo se cuenta con dos imágenes: una de Sentinel-2, tomada 2 días después del inicio, con alta nubosidad, y otra de Sentinel-1, capturada a 3 días del inicio. En la imagen SAR se identifican manchas grandes discontinuas en ambos extremos del río.			
02/07/25 - 15/07/25			
Para este periodo se dispone de una imagen de Sentinel-1, tomada 1 día después del inicio. Se distinguen amplias manchas de inundación en ambos extremos del río Meta, especialmente aguas abajo de la desembocadura del río Túa.			

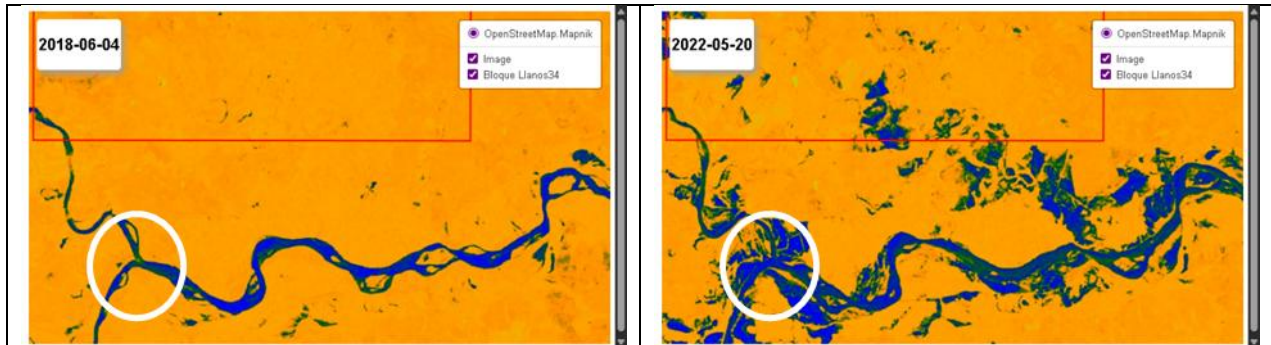
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Para resumir, a continuación, se presenta una tabla que indica los comportamientos relevantes identificados en las imágenes. Mediante una imagen de control y una de las más críticas. En esta sección describirán patrones y particularidades hidrológicas observadas.

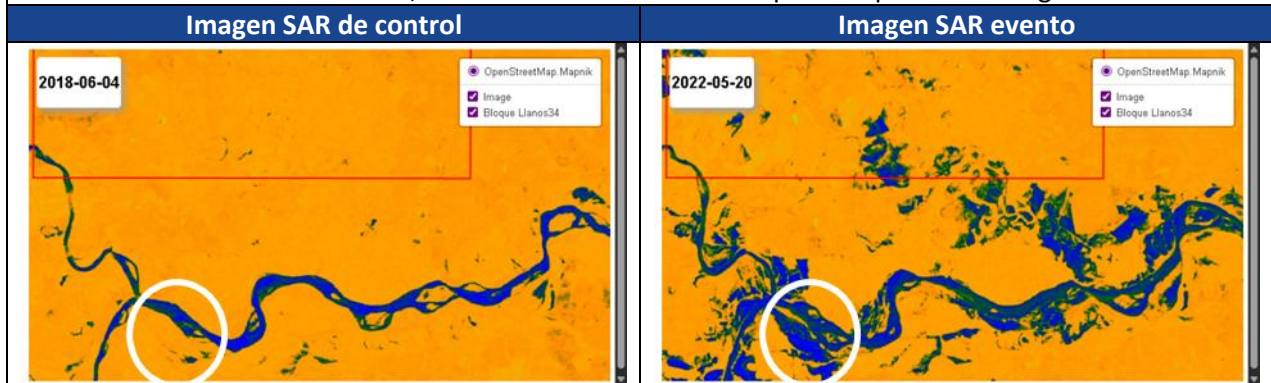
Tabla 5-4. Dinámicas identificadas del río Meta

Imagen SAR de control	Imagen SAR evento
-----------------------	-------------------

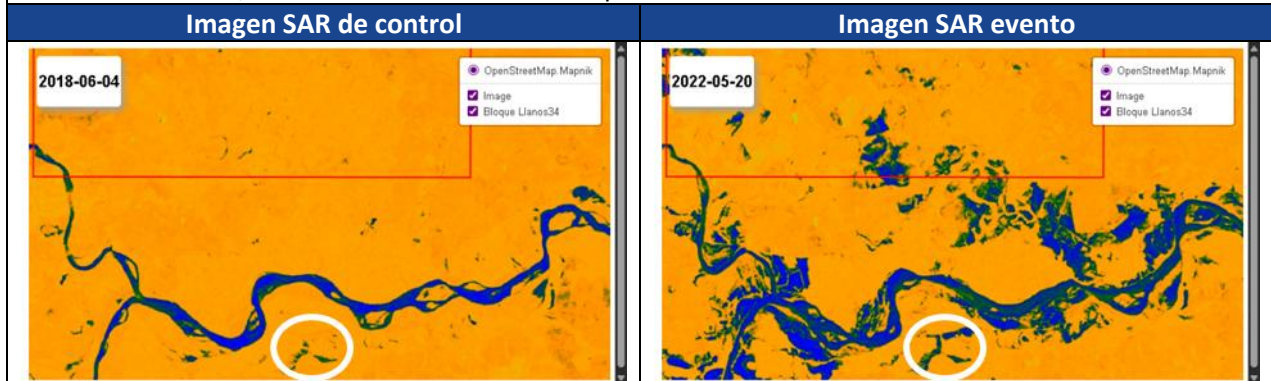
Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



En la desembocadura del río Upía se identificó desbordamiento con extensión al norte del río Meta, y una extensión leve hacia el oeste, evidenciando acumulación superficial posterior al ingreso del afluente.



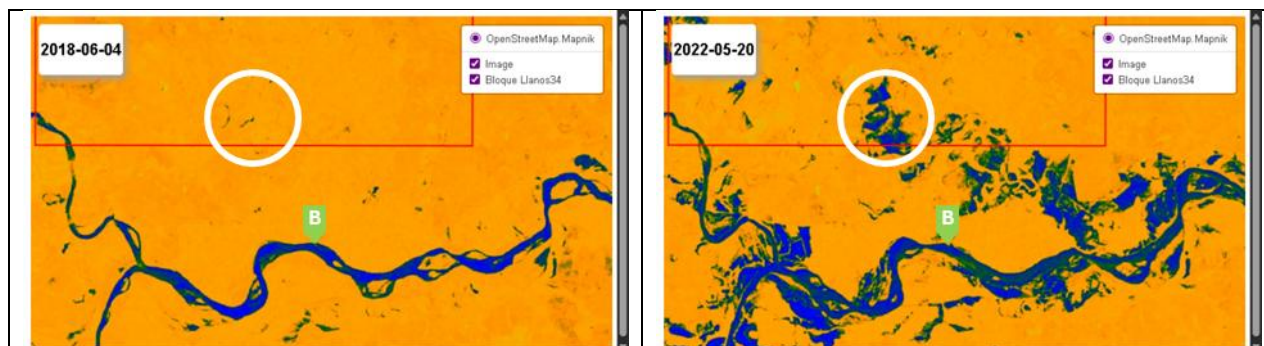
Aguas abajo de la desembocadura del río Uípa, previo al meandro, se extiende una área de inundación al sur del río Meta, evidenciando acumulación superficial en ese sector.



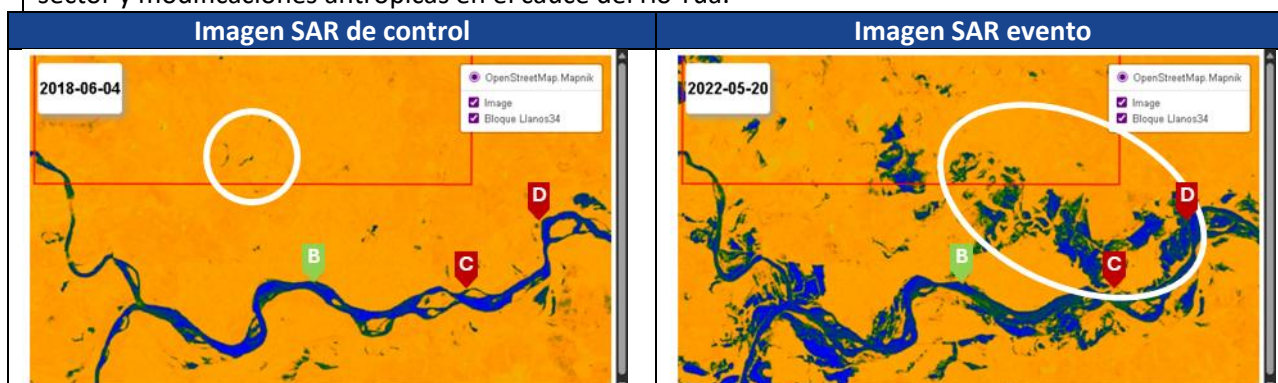
Al sur del río Meta, cerca de la mitad del tramo visible, se observa una mancha de inundación levemente conectada con el cauce, con distribución superficial que sugiere acumulación lateral no asociada al desbordamiento del río.



Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Al norte del río Meta, cerca de la mitad del tramo visible, se observa una mancha de inundación que generalmente no está conectada con los desbordamientos del río Meta. Sin embargo, en ocasiones de desbordamientos severos posteriores a la desembocadura del río Túa (marcador con la letra B), esta área puede llegar a conectarse con el cauce principal. Su distribución superficial sugiere una acumulación lateral no asociada directamente al desbordamiento del río Meta, causada por la topografía plana del sector y modificaciones antropicas en el cauce del río Túa.



Por último, se identificaron dos desbordamientos posteriores a la desembocadura del río Túa, en dos puntos críticos marcados con las letras C y D. Estos desbordamientos, por lo general, no alcanzan el bloque de Explotación Llanos 34, sino que tienden a esparcirse sobre una llanura que conecta ambos puntos. Sin embargo, en ocasiones severas, el agua puede extenderse hasta el bloque e incluso alcanzar el cauce del río Túa.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Resulta necesario indicar que esta tabla no contiene la totalidad de los eventos identificados en las imágenes, sino aquellos que se consideraron más relevantes dentro del análisis, por su expresión espacial, recurrencia o vinculación con dinámicas hidrológicas significativas para el área de estudio.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6. Eventos de inundación históricos

En el presente capítulo se expone la información relacionada con los eventos de inundación ocurridos en el área de estudio. Más allá de la caracterización general habitualmente orientada a la identificación de población afectada u otros impactos socioeconómicos, el propósito específico en el marco del estudio requerido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, consiste en recopilar y sistematizar aquella información que resulta crítica para la comprensión integral de la dinámica hidrológica e hidráulica del territorio.

Para este propósito, el capítulo inicia con la presentación de la información recopilada a partir de las diferentes entidades oficiales y académicas relacionadas con la gestión del riesgo por inundaciones en el área de estudio. Adicionalmente, se incorpora la información recolectada de manera primaria en campo, correspondiente a los registros y testimonios de los eventos históricos de inundación, con el fin de complementar y contrastar las fuentes institucionales.

6.1. Información secundaria

La presente sección compila la información recolectada de las diferentes entidades que documentan los eventos de inundación ocurridos en el área de estudio. Para este propósito, se solicitó a dichas instituciones la entrega de los insumos y registros necesarios para su utilización en la modelación hidráulica desarrollada en el marco del estudio.

Por tal motivo, se dirigieron derechos de petición a las entidades competentes, con el fin de solicitar de manera formal la información necesaria según su ámbito para el desarrollo del estudio. Complementariamente, se llevaron a cabo reuniones virtuales con algunas de las entidades, orientadas a exponer el tipo y nivel de detalle, así como a resolver dudas respecto a su disponibilidad y formato. Así mismo se realizaron reuniones presenciales de avance del estudio con comunidad y entidades municipales y departamentales. En la Tabla 6-1 se muestra el detalle de las comunicaciones y en la Tabla 6-2 el detalle de las reuniones presenciales y virtuales. Las evidencias documentales se presentan en Anexo 3 Eventos Históricos_Derechos de Petición y Anexo 3 Eventos Históricos_ActasDeReunion respectivamente

Tabla 6-1. Resumen derechos de petición de solicitud de información

Entidad		Radicado Derecho Petición	Respuesta
Gobernación Casanare	de	GPK-2025-06-25-001228 del 25 de junio de 2025	Oficio No. 636 del 15 de julio de 2025 con información de lluvias e inundaciones del 2025 de la Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Casanare.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)		20259910106044 del 25 de junio de 2025.	Oficio No. 20253040095931 del 01 de julio de 2025 con referencias e indicaciones de donde obtener información de caudales,

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Entidad	Radicado Derecho Petición	Respuesta
		disponibilidad hídrica, estudios hidráulicos y registros de inundaciones.
Alcaldía de Tauramena, Casanare	S-GPK-2025-06-25-001223 del 25 de junio de 2025.	Respuesta a la solicitud el 14 de agosto de 2025, incluyendo 11 informes técnicos relacionados con inundaciones de la Oficina de Gestión del riesgo municipal, la Dirección departamental de gestión del riesgo y la Corporación Autónoma Regional Corporinoquia.
Alcaldía de Villanueva, Casanare	S-GPK-2025-06-25-001228 del 26 de junio de 2025.	Oficio SPM-2025-752-130 del 26 de junio de 2025 con información remitida por la Secretaría de Planeación referente a información cartográfica.
Alcaldía de Villanueva, Casanare	E-GPK-2025-07-01-000432 del 01 de julio de 2025.	Oficio GRD-2025-29-1330 del 12 de agosto de 2025 con información remitida por la Dirección de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio, referente al registro de inundaciones y afectaciones en el 2024 y 2025.
Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía – CORPORINOQUIA	S-GPK-2025-12-01-002455	No hubo respuesta.
Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC	S-GPK-2025-06-25-001214	No hubo respuesta.
Municipio Barranca de Upía	S-GPK-2025-06-25-001225	No hubo respuesta.
Municipio Cabuyaro	S-GPK-2025-06-25-001226	No hubo respuesta.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Tabla 6-2. Resumen reuniones de avance del estudio y solicitud información

Fecha reunión	Asistentes	Temática
17 de mayo de 2025	Comunidad y Autoridades locales y regionales de Tauramena	Información sobre el inicio del estudio, presentación de profesionales encargados y la presentación metodología a implementar, en donde se identifican potenciales actores para recolección de testimonios
18 de mayo de 2025	Comunidad y Autoridades locales y regionales de Villanueva	Información sobre el inicio del estudio, presentación de profesionales encargados y la presentación metodología a implementar, en donde se identifican potenciales actores para recolección de testimonios

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Fecha reunión	Asistentes	Temática
27 de agosto de 2025	Gobernación de Casanare, Alcaldía de Villanueva. Comunidad de las veredas Buenos Aires Bajo y alto Profesionales ambientales de Geopark, Aqualogs.	Presentación de avance a las autoridades y comunidades vecinas al proyecto Llanos 34 de Villanueva, del estudio hidrológico e hidráulico requerido por la ANLA al Bloque Llanos 34.
28 de agosto de 2025	Gobernación de Casanare, Gestión del Riesgo de Alcaldía de Tauramena, miembros de la oficina de gestión del riesgo, Voceros comunidad y JAC Finquera de Vereda La Esmeralda. Profesionales ambientales de Geopark, Aqualogs.	Presentación de avance a las autoridades y comunidades vecinas al proyecto Llanos 34 de Tauramena, del estudio hidrológico e hidráulico requerido por la ANLA al Bloque Llanos 34.
11 de agosto de 2025	Funcionarios de la oficina de Gestión del Riesgo de Alcaldía de Villanueva. Profesionales ambientales de Geopark, Aqualogs,	Reunión virtual. Contextualización sobre la solicitud de información relevante para el estudio.
11 de agosto de 2025	Funcionarios de la oficina de Gestión del Riesgo de Alcaldía de Tauramena Profesionales ambientales de Geopark, Aqualogs,	Reunión virtual. Contextualización sobre la solicitud de información relevante para el estudio.
17 de septiembre de 2025	Profesionales ambientales Corporinoquía	Reunión virtual. Presentación de avance del estudio.

En los siguientes numerales se presenta a detalle la información de las entidades que en efecto respondieron a los derechos de petición.

6.1.1. Alcaldía de Villanueva

La zona occidental del Bloque de Explotación Llanos 34 se encuentra ubicada dentro del municipio de Villanueva. Por este motivo, se realizó una solicitud formal a la Alcaldía Municipal de Villanueva con el propósito de obtener información relacionada con los eventos de inundación ocurridos en esta jurisdicción. En la presente sección se sintetiza la información contenida en la respuesta oficial suministrada por dicha entidad, la cual constituye un insumo relevante para el análisis hidrológico e histórico del área de estudio.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Tabla 6-3. Información de la Alcaldía de Villanueva empleada en el desarrollo del estudio

Documento	Resumen																																																						
GRD-2025-29-1330.pdf	En el documento suministrado se reportan diversos eventos de inundación, dentro de los cuales se destacan las pérdidas económicas estimadas, derivadas principalmente de afectaciones agrícolas (cultivos) y pecuarias (número de animales). Asimismo, se identifican los puntos críticos impactados y su relación con las veredas afectadas, las familias damnificadas, los bienes e inmuebles comprometidos, así como la infraestructura afectada. Toda esta información corresponde a registros asociados al año 2025. Se resalta la siguiente información: <table><thead><tr><th>Fecha</th><th>Localización</th></tr></thead><tbody><tr><td>23-04-2025</td><td>Villanueva</td></tr><tr><td>17-05-2025</td><td>Puerto Mirian</td></tr><tr><td>22-05-2025</td><td>Caribayona</td></tr><tr><td>30-05-2025</td><td>Caribayona</td></tr></tbody></table> Respecto a los Puntos críticos: <table><thead><tr><th rowspan="2"></th><th rowspan="2">Vereda</th><th rowspan="2">Latitud</th><th rowspan="2">Longitud</th><th colspan="2">MAGNA-SIRGAS CMT12</th><th rowspan="2">Veredas_afectadas</th></tr><tr><th>Coordenada Este</th><th>Coordenada Norte</th></tr></thead><tbody><tr><td>5</td><td>Buenos Aires Bajo</td><td>4 23 48.59 N</td><td>72 46 55.35 O</td><td>5024172.78</td><td>2043850.03</td><td>Buenos Aires Bajo, Buenos Aires Alto</td></tr><tr><td>6</td><td>Buenos Aires Alto</td><td>4 25 29.63 N</td><td>72 48 25.81 O</td><td>5021385.16</td><td>2046950.44</td><td>Buenos Aires Alto, Buenos Aires Bajo</td></tr><tr><td>7</td><td>Caribayona</td><td>4 29 46.3 N</td><td>72 45 15.71 O</td><td>5027238.77</td><td>2054830.05</td><td>Centro Poblado de Caribayona</td></tr><tr><td>10</td><td>Santa Helena</td><td>4 19 57.32 N</td><td>72 44 41.45 O</td><td>5028300.29</td><td>2036753.06</td><td>Santa Helena</td></tr><tr><td>17</td><td>Buenos Aires Alto</td><td>4 27 14.23 N</td><td>72 42 51.69 O</td><td>5031676.87</td><td>2050164.21</td><td>Buenos Aires, Alto Finca</td></tr></tbody></table> 	Fecha	Localización	23-04-2025	Villanueva	17-05-2025	Puerto Mirian	22-05-2025	Caribayona	30-05-2025	Caribayona		Vereda	Latitud	Longitud	MAGNA-SIRGAS CMT12		Veredas_afectadas	Coordenada Este	Coordenada Norte	5	Buenos Aires Bajo	4 23 48.59 N	72 46 55.35 O	5024172.78	2043850.03	Buenos Aires Bajo, Buenos Aires Alto	6	Buenos Aires Alto	4 25 29.63 N	72 48 25.81 O	5021385.16	2046950.44	Buenos Aires Alto, Buenos Aires Bajo	7	Caribayona	4 29 46.3 N	72 45 15.71 O	5027238.77	2054830.05	Centro Poblado de Caribayona	10	Santa Helena	4 19 57.32 N	72 44 41.45 O	5028300.29	2036753.06	Santa Helena	17	Buenos Aires Alto	4 27 14.23 N	72 42 51.69 O	5031676.87	2050164.21	Buenos Aires, Alto Finca
Fecha	Localización																																																						
23-04-2025	Villanueva																																																						
17-05-2025	Puerto Mirian																																																						
22-05-2025	Caribayona																																																						
30-05-2025	Caribayona																																																						
	Vereda	Latitud	Longitud	MAGNA-SIRGAS CMT12		Veredas_afectadas																																																	
				Coordenada Este	Coordenada Norte																																																		
5	Buenos Aires Bajo	4 23 48.59 N	72 46 55.35 O	5024172.78	2043850.03	Buenos Aires Bajo, Buenos Aires Alto																																																	
6	Buenos Aires Alto	4 25 29.63 N	72 48 25.81 O	5021385.16	2046950.44	Buenos Aires Alto, Buenos Aires Bajo																																																	
7	Caribayona	4 29 46.3 N	72 45 15.71 O	5027238.77	2054830.05	Centro Poblado de Caribayona																																																	
10	Santa Helena	4 19 57.32 N	72 44 41.45 O	5028300.29	2036753.06	Santa Helena																																																	
17	Buenos Aires Alto	4 27 14.23 N	72 42 51.69 O	5031676.87	2050164.21	Buenos Aires, Alto Finca																																																	

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.1.2. Alcaldía de Tauramena

La zona oriental del bloque de explotación Llanos 34 se encuentra ubicada dentro del municipio de Tauramena. Por este motivo, se realizó una solicitud formal a la Alcaldía Municipal de Villanueva, mediante el radicado S-GPK-2025-06-25-001223, con el propósito de obtener información relacionada con afectaciones ocurridas en las veredas circunscritas en el polígono del estudio, con antecedentes históricos emitidos por la Oficina de Gestión del riesgo municipal, la Dirección departamental de gestión del riesgo y la Corporación Autónoma Regional Corporinoquia. En la presente sección se sintetiza la información contenida en la respuesta oficial suministrada por dicha entidad, la cual constituye un insumo relevante para el análisis hidrológico e histórico del área de estudio.

Tabla 6-4. Información de la Alcaldía de Tauramena empleada en el desarrollo del estudio

Documento	Resumen
1. Informe técnico Jesus Perez - 28-Feb-2020.pdf	Informe de visita a campo en la vereda la Esmeralda, donde se tratan daños evidenciados en el Jarillón del río Túa.
10. Informe Corporinoquia 12-may-2023.pdf	Informe de condición de riesgo en la vereda La Esmeralda. Donde se presentan sectores de mayor riesgo dado el Jarillón.
11. Informe Técnico de Visita No. 005 de 2024 Piñalito Bajo.pdf	Informe de la evaluación de riesgos por inundación en la vereda Piñalito Bajo. El informe describe las estructuras hidráulicas del área de estudio y el comportamiento hidráulico del área de estudio. No se identifican eventos de inundación (fechas, profundidades y localizaciones).
2. Informe técnico La Esmeralda- 16-Mar-2020.pdf	Informe de visita a campo en la vereda la Esmeralda, donde se tratan daños evidenciados en el Jarillón del río Túa.
3. RESUMEN PROYECTO JARILLÓN DEL TÚA.docx	Línea de tiempo con las visitas realizadas a los predios afectados por el daño del Jarillón.
4. Informe técnico predio La Ceiba Corocito 23-07-2020.xlsx	Informe de visita en a un predio en la vereda Corocito. Donde se identifican efectos de inundación, pero no se presenta localización puntual ni profundidades de inundación.
5. Informe Técnico Piñalito Alto. Sec Infraestructura Oct-2020.pdf	Informe de socavación por parte del río Túa en la vereda de Piñalito Alto. Donde no se presentan datos de localización y

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

	profundidades de inundación en el área de estudio.
6. Informe técnico. Bella Vista Corocito-feb-2021.pdf	Informe visita a campo al predio Bella Vista en la vereda Corocito. Donde se identifican la localización del predio y los efectos del desbordamiento del río Túa. No se hace referencia a profundidades de inundación.
7. Concepto Técnico N°034 del 26-07-2021 - La Esmeralda.pdf	Informe de visita técnica en la vereda la Esmeralda. Donde se presentan efectos sobre las poblaciones debidas al Jarillón del río Túa. No se presentan datos de profundidades de inundación, fechas o localizaciones.
8. Concepto Técnico N°035 del 26-07-2021 - Corocito.pdf	Informe de visita técnica en la vereda la Corocito. Donde se presentan efectos sobre las poblaciones debidas a la erosión del río Túa. No se presentan datos de profundidades de inundación, fechas o localizaciones.
9. Informe Jarillón Del Tua - Gestión Riesgo Tauramena 10-04-2023.pdf	Informe técnico de visita al Jarillón localizado cerca a la vereda la Esmeralda. Se identifica la localización del Jarillón, y la siguiente información. Coordenadas rotura de Jarillón: 4°37'24.74" N y 72°45'17.28" O (5027185.62 Este y 2068900.81 Norte MAGNA-SIRGAS_CMT) Desborde Jarillón: 4°36'11.22" N y 72°44'55.87" O (5027845.5 Este y 2066645.6 Norte MAGNA-SIRGAS_CMT) Se identifica la vivienda de la señora Georgina como inundada a 900m del río con una profundidad de 1 metro. Se identifican fechas de inundación: Noviembre de 2022 Febrero y marzo de 2023

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

	25-nov-2020 / profundidad 2m / 4.60331N 72.74837 W (5027845.8 Este y 2066644.51 Norte MAGNA-SIRGAS_CMT)
	23-febrero-2023/ profundidad < 1m / 4°36'11.25554" N y 72°44'55.87984" O (5027845.8 Este y 2066644.51 Norte MAGNA-SIRGAS_CMT)
Oficio de Respuesta a GEOPARK 14-agosto- 2025.pdf	Respuesta al oficio.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

6.1.3. Gobernación de Casanare

La mayor parte del Bloque de Explotación Llanos 34 se encuentra localizada dentro del departamento de Casanare. Por este motivo, se realizó la solicitud oficial de información relacionada con los eventos de inundación reportados en el área de estudio. En este apartado se presenta y describe la información suministrada por la gobernación.

Tabla 6-5. Información de la Gobernación de Casanare empleada en el desarrollo del estudio

Tabla 6-5: Información de la Gobernación de Casanare sobre el desarrollo del estudio

Documento

REPORTE_DE_LLUVIAS_FINAL
2025.pdf

Resumen

Corresponde al reporte de eventos generados por las lluvias para el año 2025. A nivel municipal. Donde se destaca la siguiente información.

Municipio: Villanueva

9	17/05/2025	Inundación	Puerto Miriam	Afectación Cultivo de arroz 325 has	4°18'36.29"N 72°43'36.63"O
10	22/05/2025	Inundación	Centro P Caribayona	Viviendas: 57	4° 29' 59" N 72°45' 09" W
11	22/05/2025	Inundación	Flor Amarillo	Inundación Viviendas: 7	4°11'52.42"N 72°46'5.69"O
12	22/05/2025	Inundación	Buenos Aires Alto	Inundación cultivos: arroz 506 has	4°25'20.57"N 72°48'24.17"O
13	30/05/2025	Inundación	Centro P Caribayona	Inundación Viviendas: 13	4° 29' 59" N 72°45' 09" W

Municipio: Tauramena

5	6/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO	RÍO TUA: ** Daños viales, pérdidas agrícolas en cultivos, porcicultura, avicultura, pastos mejorados *** Problemas de salud (Enfermedades respiratorias, ETV), daños en enseres y viviendas	PAGO REAL Sr. Timoleón Cárdenas	4°21'46.60"N y 72°40'10.60"O
6	6/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO		EL CARMEN	4°21'52.03"N y 72°40'10.68"O
7	7/05/2025	INUNDACIÓN			MATAPALOS Sra. Ana Georgina Mendoza	4°36'11.88"N y 72°44'54.17"O
8	7/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TUA: ** Afectación en cultivos, pastos mejorados, *** viviendas inundadas, problemas viales y daños en enseres	NAPOLES MORA Sra. Marelys Mora	4°36'32.15"N y 72°45'25.16"O
9	7/05/2025	INUNDACIÓN			N/S	4°43'45.296"N 72°40'34.44"W ± 90m 4°30'2.038"N 72°45'4.782"W ± 30m
10	7/05/2025	INUNDACIÓN			PREDIO EL CARACOL Sra. María Nayibe Cifuentes	
11	8/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO	RÍO TUA: daños en enseres, afectación en caminos y vías de acceso y cultivos de pancoger	MANUELITA Sr. Jacobo Durán	4°30'58.68"N y 72°44'9.23"O
12	8/05/2025	INUNDACIÓN			MANUELITA Sra. Delcy Martínez	4°30'56.00"N y 72°44'6.16"O
13	8/05/2025			RÍO TACUYA: que deja medios de subsistencia afectados y potreros anegados	SEVERO BERNAL	Celular: 3229196606
14	8/05/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	RÍO TACUYA: afectaciones viales, cultivos, enseres y viviendas anegados	CANAGUAROS Sr. Carlos Rodríguez	4°34'35.36"N y 72°35'47.74"O
15	8/05/2025	INUNDACIÓN	TUNUPE	Cerro Guiripa: daños viales que deja a los estudiantes sin ingreso a clases, además de las afectaciones de los cultivos de subsistencia campesina	LA ESPERANZA Sr. José Javier Tovar	4°21'37.05"N 72°32'48.01"O
16	8/05/2025	INUNDACIÓN	CARUPANA		LA PALMITA Sr. Leonardo Aroca	4°20'32.62"N y 72°30'46.20"O

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 –
Conceptualización del sistema



Código: AQ_194

Versión: 02

Cliente

37	22/05/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	CANALES Y CAÑADA: Pérdida piscina de cachamas y aves de corral	LA CABAÑA Sra. Liseth Fernanda Morales	
38	22/05/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LA FORTUNA Sra. Inés Huertas	
39	22/05/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	RÍO TÚA Y CAÑO VIGÍA: Enseres, cultivos de panceger	LA URAMA Sr. Eber Jaramillo	4°28'16.96"N y 72°35'10.88"O
40	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		LA CEIBA Sr. Euclides Bultrago	4°31'49.90"N y 72°44'37.62"O
41	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		VILLA TRANQUILA 1 Sra. María Cecilia Peña	4°31'5.99"N y 72°44'48.96"O
42	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		VILLA TRANQUILA 2 Sr. Benigno Castañeda	4°31'6.67"N y 72°44'46.15"O
43	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO	RÍO TÚA: Viviendas anegadas, cultivos de panceger, pastos mejorados, cerdos ahogados, aves de corral, enseres, vías deterioradas	VILLA TRANQUILA 3 Sra. María Castañeda	4°31'5.38"N y 72°44'44.92"O
44	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		EL CARACOL Sr. Carlos Cifuentes	4°31'12.20"N y 72°44'40.43"O
45	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		EL CARACOL Sra. Ana Ylba Cifuentes	4°31'13.21"N y 72°44'38.32"O
46	22/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		EL CARACOL Sra. Greivy Acosta	4°31'13.29"N y 72°44'34.06"O
48	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO	Vivienda, crianza de cerdos y aves de corral	CACERIO Yury Martínez	4°29'25.33"N y 72°43'14.30"O
49	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		CACERIO Luc Mery López	4°29'26.68"N y 72°43'16.26"O
50	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		BELLA VISTA 1 Dagoberto López	4°30'24.58"N y 72°45'5.52"O
51	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		BELLA VISTA 2 Severo López	4°30'16.39"N y 72°45'4.85"O
52	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO	RÍO TÚA: Afectación a enseres, cultivos de panceger, aves de corral, pastos mejorados	ESMERALDA Marshly Moreno	
53	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		NN Noel Cifuentes	4°30'51.00"N y 72°44'19.42"O
54	23/05/2025	INUNDACIÓN	COROCITO		FERNANDA MORENO Gestante	
55	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO	RÍO TÚA: Cultivos panceger, ganadería, porcicultura, aves de corral y enseres afectados	NARANJITAS Sra. Victoria Lozano	4°21'41.97"N y 72°39'27.40"O
56	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO		EL SENDERO Sra. Fidalgna Cárdenas	4°22'36.22"N y 72°39'12.22"O
57	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO		EL ENDESA Sra. Gertrudis Cárdenas	4°21'16.99"N y 72°39'38.93"O
58	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO	RÍO TÚA: Cultivos panceger, ganadería, porcicultura, aves de corral y enseres afectados	EL MOCHUELO Sr. Alfonso Cárdenas	4°21'38.22"N y 72°39'57.10"O
59	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO		JUAN PISA Sra. Ana Gómez	
60	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO		VILLA DAYANA Sr. Israel Bacca	
61	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TÚA - CAÑO HUESERO - CAÑO MORROCO: Agropecuarias, cultivos, ganadería, animales domésticos, cerdos, aves de corral, enseres, vías, escuela rural,	CAMPOALEGRE Jairo Pérez	4°33'27.07"N y 72°42'20.57"O
62	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		CAMPOALEGRE 2 Fredy Pérez	
63	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		VILLA LUZ MYRIAM Jorge Elecer Ovalle	
64	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TÚA - CAÑO HUESERO - CAÑO MORROCO: Agropecuarias, cultivos, ganadería, animales domésticos, cerdos, aves de corral, enseres, vías, escuela rural,	EL DIAMANTE 1 Antonio Pérez	4°33'24.39"N y 72°42'17.86"O
65	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL DIAMANTE 2 Erika Pérez	4°33'26.70"N y 72°42'13.74"O
66	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL DIAMANTE 3 Erick Leonardo Sánchez	
67	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL PALMAR 1 Pablo Moreno	4°32'22.76"N y 72°43'1.07"O
68	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TÚA - CAÑO HUESERO: Agropecuarias, cultivos, ganadería, animales domésticos, cerdos, aves de corral, enseres, vías, escuela rural,	EL PALMAR 2 Julia Pérez Moreno	
69	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL PALMAR 3 Yalder Castañeda	4°32'26.75"N y 72°43'0.55"O
70	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL PALMAR 4 David Pérez	
71	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		VILLA SOFÍA Daniel Bernal	4°32'32.90"N y 72°42'58.77"O
72	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TÚA - CAÑO MORROCO: Agropecuarias, cultivos, ganadería, animales domésticos, cerdos, aves de corral, enseres, vías, escuela rural,	LA MOLINA Ana Lucinda Herrera	
73	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		LOS TOTUMOS Lilia Inés Peña	
74	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL CAPRICHITO Jonathan Bohórquez	
75	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		PATIO BONITO Jaime Sili Vega	
76	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL PROGRESO Omar Mora	4°36'48.83"N y 72°45'47.64"O
77	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		NÁPOLES Yenny Mora	4°36'19.71"N y 72°44'56.91"O
78	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		EL ORIGEN Arcadio Mora	4°36'44.09"N y 72°45'37.82"O
79	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		LA REFORMA Gelman Mora	4°36'58.06"N y 72°45'16.47"O
80	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RÍO TÚA: Agropecuarias, cultivos, ganadería, animales domésticos, cerdos, aves de corral, enseres, vías, escuela rural,	GUARATARO William Nieto	4°37'44.34"N y 72°45'11.71"O
81	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		BRASAS DEL TÚA Lina Cordero	
82	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		CABIMAGUA - La Brasileira Yuriueth	4°35'11.42"N y 72°45'19.84"O
83	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		BUENAVENTURA Alirio Barrera	4°39'15.30"N y 72°45'16.93"O
84	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		MORICHAL Luc Mery Ruiz	
85	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		BAUDALITO Marco Fidel Bulle	

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 –
Conceptualización del sistema



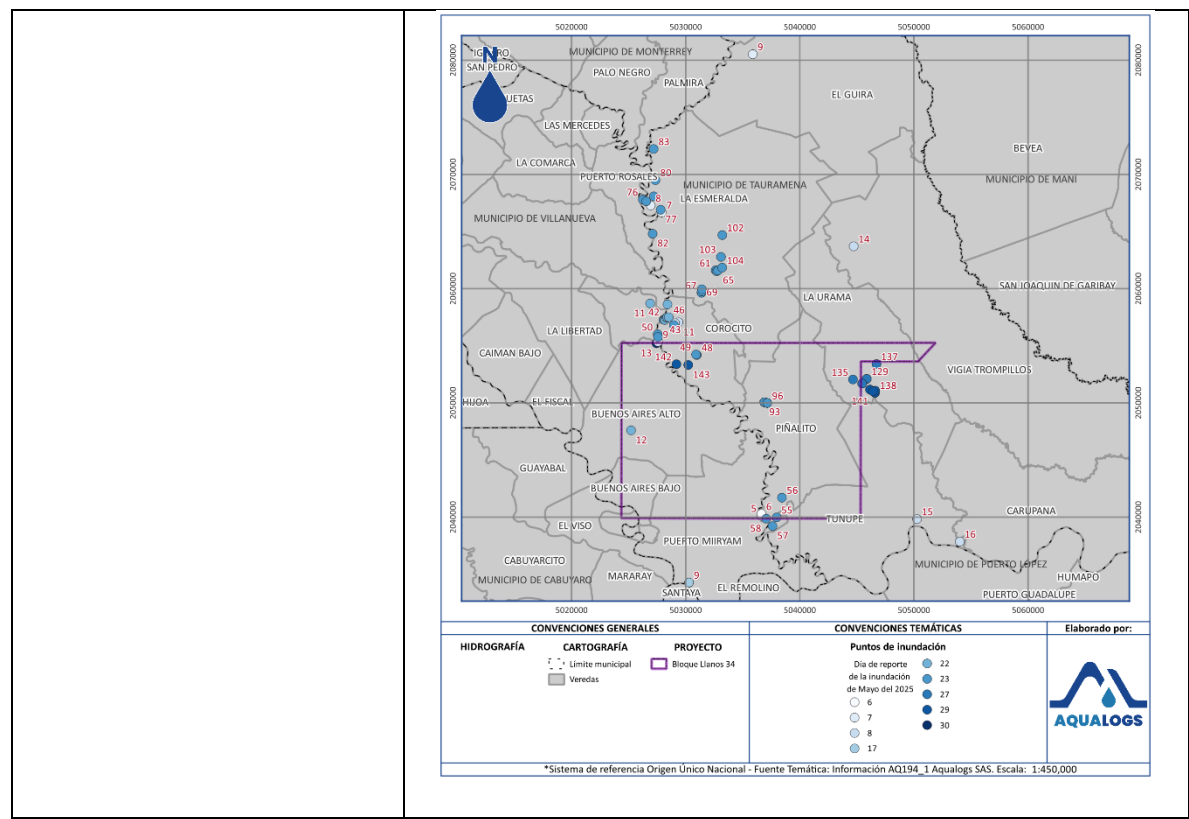
Código: AQ_194

Versión: 02

Cliente

86	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO	RIO TUA Y CAÑO PIÑALITO: Viviendas, enseres, cultivos pancoger, aves de corral	MARIA LUZMILA RUIZ	4°27'10.71"N y 72°40'2.07"O
87	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		SIGIFREDO RUIZ	
88	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		OLGA GROSSO	
89	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		JESUS DAZA	
90	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		MARCOLINO RODRIGUEZ	
91	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO	RIO TUA Y CAÑO AGUAVERDE: Viviendas, enseres, cultivos pancoger, aves de corral	CÉSAR MALAVER	4°27'8.40"N y 72°39'53.84"O
92	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		ABUNTON BERNAL	
93	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		PAOLA RIVERA	
94	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		ROCÍO PÁEZ	
95	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		MERY MARTÍNEZ	
96	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO	RIO TUA Y CAÑO MORROCO: Destacación escolar, enseres, cultivos pancoger, vías inaccesibles	FABIÁN ORTIZ	4°27'45.71"N y 72°42'1.64"O
97	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		LUZ DARY PRIETO	
98	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		DAVID OROS	
99	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		JOHANA LEONEL	
100	23/05/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO BAJO		CONSTANZA CRUZ	
101	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA	RIO TUA Y CAÑO MORROCO: Destacación escolar, enseres, cultivos pancoger, vías inaccesibles	JOSE YESID RUIZ	4°28'3.24"N y 72°42'3.42"O
102	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		Juana Cely Cardenas	
103	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		Dahlana Salazar	
104	23/05/2025	INUNDACIÓN	LA ESMERALDA		Adriana Fernández	
129	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	RIO TUA Y MATEGUADA: Afectaciones a las viviendas, animales y materiales de construcción	LOS MARRANITOS María Paz Jaramila	4°28'36.96"N y 72°38'38.88"O
130	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOS ACEITES Bertha Letras	
131	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOS ALGAMOROS Doris Duarte	
132	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	RIO TUA Y CAÑO PIÑALITO: Viviendas, enseres, cultivos pancoger, aves de corral	LA PIRAMIDE Dora Barreto	4°28'3.69"N y 72°38'23.60"O
133	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOTE FINCA LA CAROLINA Ana María Paredes	
134	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOTE EL ENCANTO Martha Domínguez	
135	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	Destacamiento del río pérdida de animales de corral	LAS ACACIAS Wladimir Buitrago	4°28'15.26"N y 72°38'49.92"O
136	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LA BENDICIÓN Claudia Tovar	
137	27/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		EL BOSQUE Ana Latorre Vayas	
138	28/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	CAÑO HUISERO Y PIÑALITO: Problemas de salubridad (agua contaminada), ETV, enseres	VIA VEREDAL José de la Cruz	4°27'36.15"N y 72°34'47.34"O
139	28/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOTE FARMACIA GALLERO Rafael Arango	
140	28/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA		LOTE LA URAMA Isabel Rentería	
141	28/06/2025	INUNDACIÓN	LA URAMA	Vivienda, enseres, vía acceso	LOS MILAGROS González Duques	4°27'43.49"N y 72°34'53.03"O
142	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO		LAS TAPAS Liliana Caro	
143	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO		COROITO Ledy Martínez	
144	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO	Cultivos de maíz, plátano, vicia, pastos mejorados, vía de acceso	LOS CLAVILES Juan Bermúdez	
145	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO		EL DAREN II Katerine Aguirre	
146	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO		EL DAREN II Caterine Aguirre	
147	28/06/2025	INUNDACIÓN	COROITO	CAÑO OROCOITO: Cultivos de palma, pastos de forraje, vía, puente y acorralados	LAS ACACIAS Ana Clara Bernal	
148	28/06/2025	INUNDACIÓN	VIGIA TROMPILLOS		LA ESPERANZA Gabriel López	
149	28/06/2025	INUNDACIÓN	VIGIA TROMPILLOS		LA ESPERANZA Edy Alvarado	
150	28/06/2025	INUNDACIÓN	VIGIA TROMPILLOS		BIRNAS DEL CARLEY Yolimar Herrera	
151	28/06/2025	INUNDACIÓN	VIGIA TROMPILLOS		SANTA MARIA Luz Helena Leguizamón	
153	8/06/2025	INUNDACIÓN	PIÑALITO ALTO	RIO TUA	LOS BARRILES Carmelo Gil	

Teniendo las localizaciones, se muestran los principales sectores donde se presentan inundación en el área de estudio:



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

6.1.4. IDEAM

A nivel nacional, tanto la información climática como la generación de alertas asociadas a diferentes tipos de eventos hidrometeorológicos son gestionadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En este contexto, se realizó una solicitud formal de información relacionada con los eventos de inundación en el área de estudio. La respuesta suministrada por la entidad se consolida y resume en la tabla siguiente.

Tabla 6-6. Información del IDEAM empleada en el desarrollo del estudio

Documento	Resumen
Estudio Nacional del Agua 2022	El Estudio Nacional del Agua (ENA), elaborado por el IDEAM, constituye un instrumento de evaluación integral de los diferentes aspectos y dinámicas del recurso hídrico en Colombia, con énfasis en el balance entre oferta y demanda. En lo referente a fenómenos de inundación, el estudio incluye una caracterización general de las zonas potencialmente inundables y de la población expuesta a este tipo de eventos. Sin embargo, no se dispone de información con un nivel de detalle suficiente para

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Documento	Resumen
Informe Técnico Diario de Condiciones Hidrometeorológicas, Alertas y Pronósticos	escalas locales, por lo que no se identifican datos específicos aplicables directamente al área de influencia del bloque Llanos 34 ni a unidades territoriales de menor extensión. Los informes técnicos diarios corresponden a reportes operativos en los que se presentan los niveles de alerta hidrológica generados a escala de subzona hidrográfica para todo el territorio nacional. No obstante, dichos informes no incluyen información específica sobre eventos de inundación con detalle suficiente a nivel regional. Adicionalmente, la información suministrada carece de formatos geográficos interoperables, lo que limita su incorporación directa en sistemas de información geográfica y en procesos de modelación hidrológica e hidráulica.
Mapas de áreas afectadas por inundación	Se presentan la información geográfica asociada a las inundaciones sucedidas en los años 1998, 2000, 2010-2011 y 2012.
Reporte anual de emergencias	Los reportes generados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) consisten en listados de eventos y sus consecuencias a nivel municipal. Estos documentos presentan de manera detallada las fechas de ocurrencia, los municipios afectados, el tipo de afectaciones registradas y el apoyo prestado por el Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en la atención de la emergencia. Sin embargo, dichos reportes no incluyen una localización geográfica precisa de los eventos, lo cual limita su utilización directa en el presente informe para fines de análisis espacial y modelación hidrológica.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

En consecuencia, se identificó la necesidad de complementar la información disponible mediante actividades de recolección en campo. Para tal fin, fue necesario establecer un listado de actores clave para el estudio, diseñar un formato estandarizado de entrevistas y llevar a cabo la recopilación sistemática de testimonios de la comunidad, garantizando su organización y trazabilidad dentro del proceso de análisis.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.2. Recolección de testimonios

6.2.1. Listado de vecinos

Para la recolección de testimonios, el primer paso consistió en la identificación de la población objetivo a ser encuestada. Para tal fin, se establecieron criterios de selección orientados a maximizar la relevancia y representatividad de la información obtenida. Se priorizó a residentes ubicados dentro o en las proximidades del área de estudio, que hubiesen reportado previamente la ocurrencia de eventos de inundación en las cercanías de su vivienda. Adicionalmente, se consideró favorable que los entrevistados tuvieran conocimiento general sobre las condiciones y experiencias de sus vecinos, y que manifestaran disposición voluntaria para participar en la entrevista.

Por lo anterior, se solicitó a GeoPark, en coordinación con los diferentes equipos de socialización, la identificación y consolidación de un listado de personas que cumplieran con los criterios establecidos para la recolección de testimonios. Esta solicitud incluyó tanto a residentes actuales dentro del área de estudio como a pobladores de zonas aledañas con conocimiento de eventos de inundación en el sector. El objetivo de esta gestión fue conformar un grupo de informantes clave que cumplieran con los requisitos previamente definidos, asegurando así la calidad y representatividad de la información recopilada durante el proceso de entrevistas.

Una vez consolidado el listado de vecinos, se procedió a establecer contacto telefónico con cada uno de ellos con el fin de realizar una socialización preliminar sobre el propósito de la entrevista. Durante esta comunicación, se brindó una explicación detallada del objetivo de la actividad, se presentaron las temáticas y preguntas a abordar, y se buscó concertar un lugar accesible y adecuado para la realización de la entrevista, garantizando la comodidad y disposición del entrevistado. En caso de identificar limitaciones logísticas o de disponibilidad por parte del participante, se evaluaron alternativas y se implementaron soluciones que permitieran asegurar la obtención efectiva de la información requerida. Se presenta de forma más detallada en el Anexo 3 Eventos históricos Visita a Comunidades.

De manera complementaria, y con el objetivo de maximizar la participación comunitaria, se establecieron espacios de encuentro destinados a la recolección de testimonios de los habitantes del área de estudio. Estos puntos de encuentro fueron socializados a través de los diferentes grupos y canales de comunicación locales, con el fin de garantizar la divulgación de la convocatoria y promover la asistencia de la población interesada.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

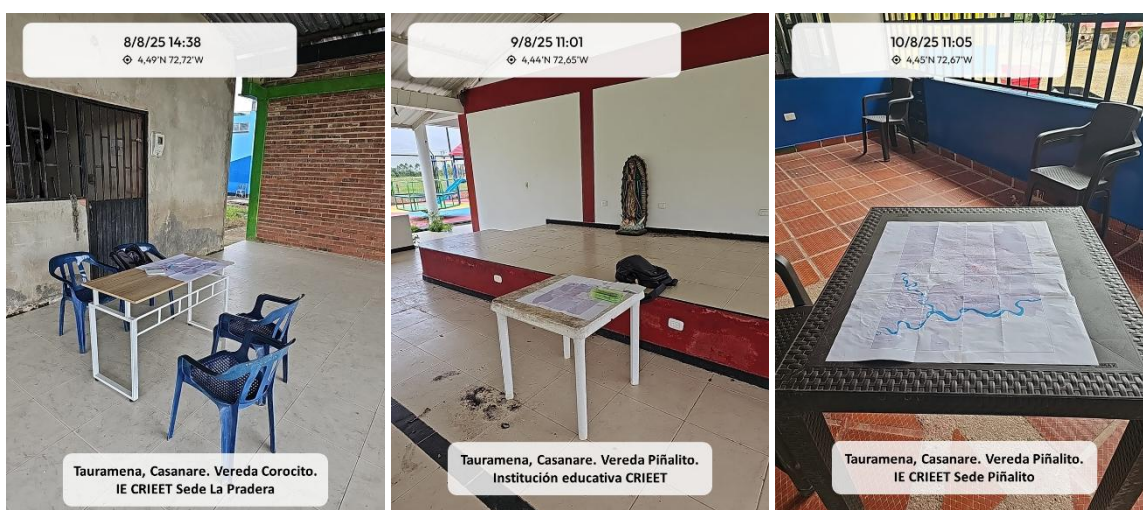


Figura 6-1. Registro fotográfico de las reuniones para la toma de testimonios realizadas.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

6.2.2. Formato de entrevistas

Durante el trabajo de campo, las entrevistas se desarrollaron bajo un enfoque conversacional, utilizando únicamente preguntas orientadoras cuyo propósito principal era obtener información relacionada con las profundidades alcanzadas por el agua durante eventos de inundación. Esta metodología fue adoptada en reconocimiento de que las inundaciones pueden constituir experiencias traumáticas para algunos de los entrevistados, lo que hace necesario un abordaje sensible y flexible. El formato conversacional permitió generar un ambiente de confianza, facilitando que los participantes compartieran sus vivencias de manera espontánea y que los encuestadores pudieran adaptar el diálogo para obtener los datos técnicos requeridos sin generar incomodidad o presión.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Como parte de la metodología implementada para la ejecución de las entrevistas, se utilizó un mapa georreferenciado del área de estudio, el cual cumplió una doble función. Por un lado, permitió proporcionar un contexto espacial claro a los entrevistados, facilitando la ubicación precisa de los eventos de inundación relatados y reforzando la validez de la información suministrada. Por otro lado, sirvió como herramienta de apoyo para los entrevistadores, permitiéndoles registrar de manera más precisa los datos obtenidos. El mapa parlante utilizado durante las entrevistas se muestra en la Figura 6-2.

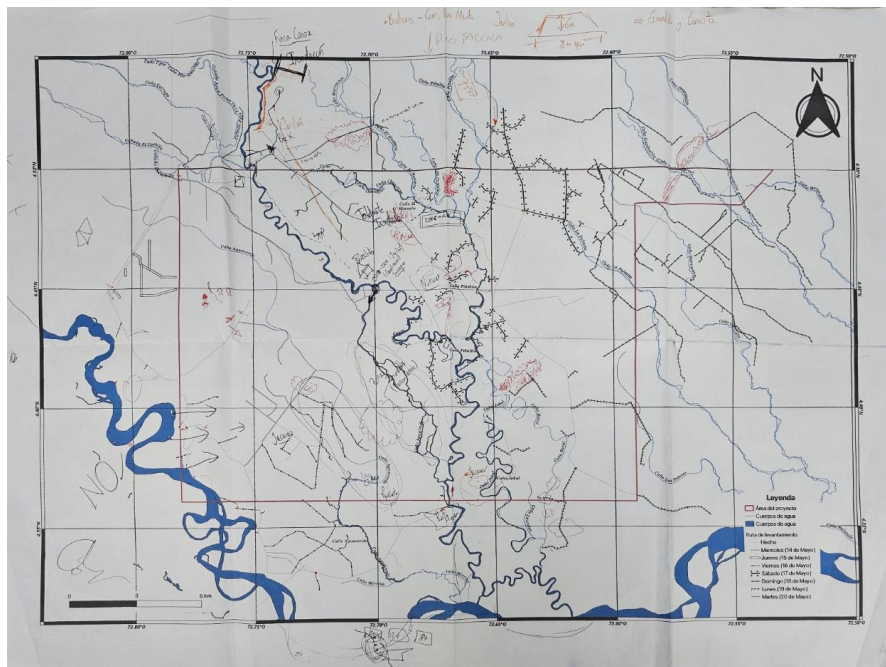


Figura 6-2. Mapas parlantes resultados de entrevistas.

Fuente: Autoría propia.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Con base en lo anterior, se diseñó un formato estructurado que permitiera almacenar de manera organizada y estandarizada la información recolectada durante las entrevistas. Este formato se compone de cuatro secciones principales:

1. **Identificación del proyecto**, donde se consignan los datos generales de la iniciativa a la que se adscribe la actividad de recolección.
2. **Datos generales del entrevistado y del lugar de aplicación de la encuesta**, incluyendo nombre, ubicación, fecha y condiciones del entorno.
3. **Información de la entrevista**, en la que se registran tanto los datos proporcionados por el entrevistado como las observaciones realizadas por el encuestador durante el desarrollo de esta.
4. **Detalle del evento de inundación**, donde se documentan la fecha aproximada del evento, la profundidad máxima alcanzada por el agua, la descripción del evento desde la perspectiva del entrevistado, la ubicación geográfica asociada al punto de referencia para la medición de la profundidad, y el registro fotográfico correspondiente.

Este formato garantiza una sistematización rigurosa de la información, facilitando su análisis posterior e integración en los procesos de validación del modelo hidráulico. Un ejemplo del formato utilizado se presenta en Figura 6-3.

	Formato de toma de datos - Encuestas a la población	AQ194_1_F02
GENERAL		
PROYECTO	Estudio de inundaciones bloque Llanos 34	
TÓPICO GENERAL	Identificación de inundaciones históricas en el área de estudio	
ENTREVISTADO		
FECHA [dd/mm/aaaa]	20/05/2025	
NOMBRE	Arlinton Bernal	
DEPARTAMENTO	Casanare	
LUGAR DE RESIDENCIA	Vereda Piñalito	
MÉTODO DE TOMA DE LA ENCUESTA	Presencial	
ENTREVISTA		
NOTAS DE LA ENTREVISTA	- Vive en el área de estudio desde hace 41 años. - Describe que la mayor inundación sucedió el 2020, durante 5 días la inundación y llegando a una profundidad de 0.4 m. Debido a la creciente del Túa del sector. - En 2018 se presentó una gran inundación. - En 2024 el 1 de mayo al 31 de mayo se presentaron las mayores inundaciones recordadas por el entrevistado, estas presentaron una duración de 5 días.	
OTRAS NOTAS		
INFORMACIÓN DETALLADA		REGISTRO FOTOGRÁFICO
FECHA	1/05/2024	
PROFUNDIDAD [m]	0.4	
EVENTO-DESCRIPCIÓN	Mayor inundación con registro	
COORDENADA X	5036809.323	
COORDENADA Y	2050566.487	

Figura 6-3. Ejemplo de formato para entrevistas.

Fuente: Autoría propia.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Se amplia en mayor detalle esta información en el Anexo 3 Eventos históricos Visita a Comunidades.

6.2.3. Testimonios con la comunidad

Como resultado del proceso de recolección de testimonios mediante entrevistas, se consolidó un conjunto de registros cualitativos que se presentan en el Anexo 3 Eventos históricos Visita a Comunidades. Adicionalmente, considerando que los principales datos obtenidos corresponden a la fecha aproximada de ocurrencia y la profundidad máxima alcanzada durante los eventos de inundación reportados, dicha información ha sido sistematizada y se presenta de manera resumida en la siguiente figura.

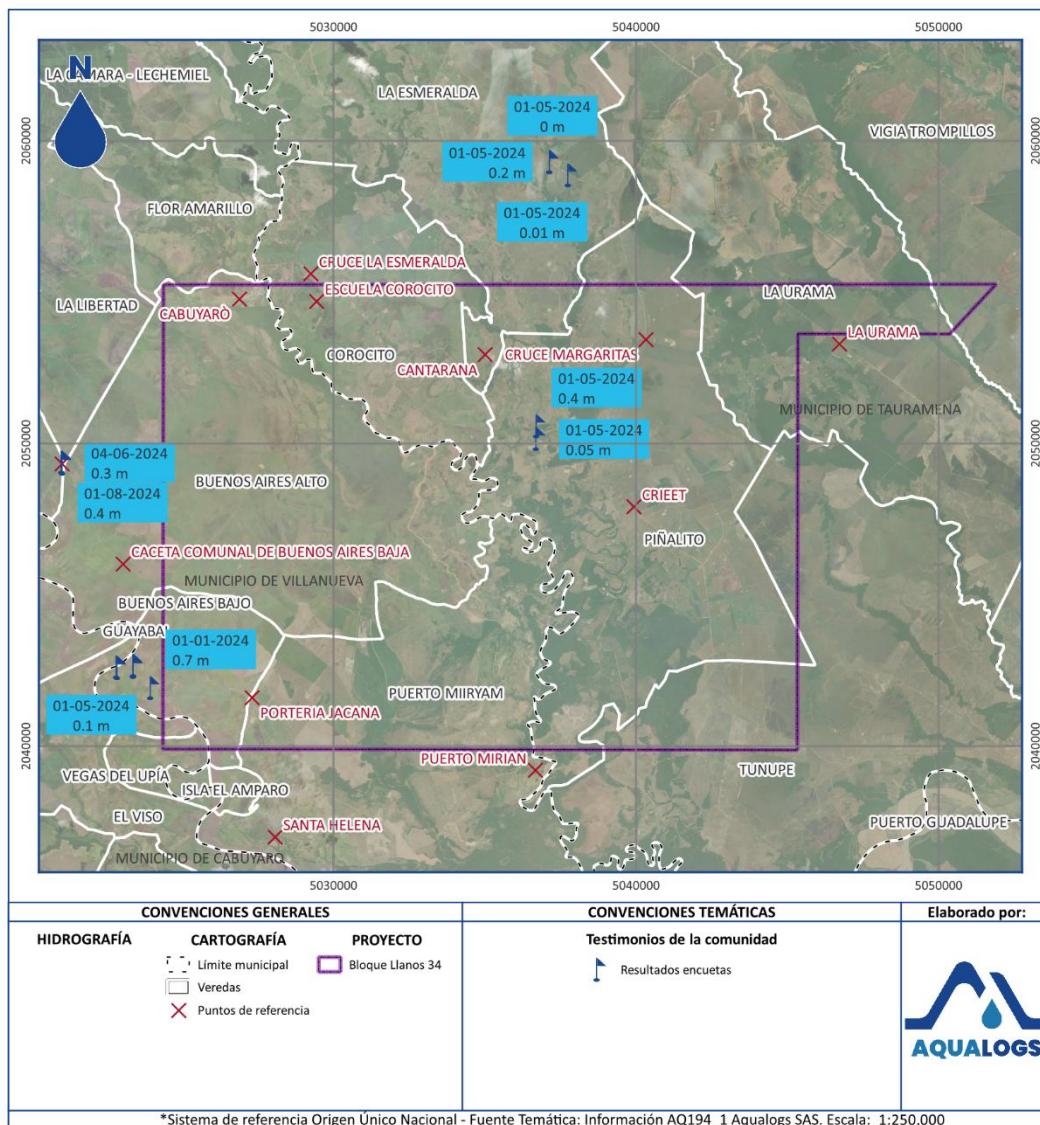


Figura 6-4. Testimonios de la comunidad – Eventos de inundación

Fuente: Autoría propia

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

No obstante, durante la ejecución de las entrevistas en campo se observó que, debido a las condiciones climáticas presentadas en el periodo de levantamiento, algunas de las personas inicialmente seleccionadas para participar se vieron obligadas a trasladarse temporalmente a otras zonas. Esta situación limitó la posibilidad de desarrollar completamente algunas entrevistas, afectando particularmente la identificación precisa de los sitios geográficos donde se produjeron los eventos de inundación. Como resultado, en ciertos casos no fue posible georreferenciar con exactitud los puntos de referencia mencionados por los entrevistados, lo cual representa una limitación en la especialización de la información recolectada. Esto se presenta de forma más detallada en el Anexo 3 Eventos históricos Visita a Comunidades.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.3. Evento de inundación reciente

Este capítulo surge a raíz del evento de inundación registrado el 14 de julio de 2025, ocurrido durante el periodo de elaboración del presente estudio. La aparición de este fenómeno extremo proporciona una oportunidad valiosa para incorporar información observada que contribuya a validar y ajustar las simulaciones realizadas. En los siguientes numerales, se buscará desarrollar una línea de tiempo de los principales eventos relacionados con la inundación, con el objetivo de analizar las dinámicas del fenómeno en la zona de estudio.

En la siguiente figura se busca presentar las zonas que serán mencionadas en los siguientes capítulos de la línea del tiempo.

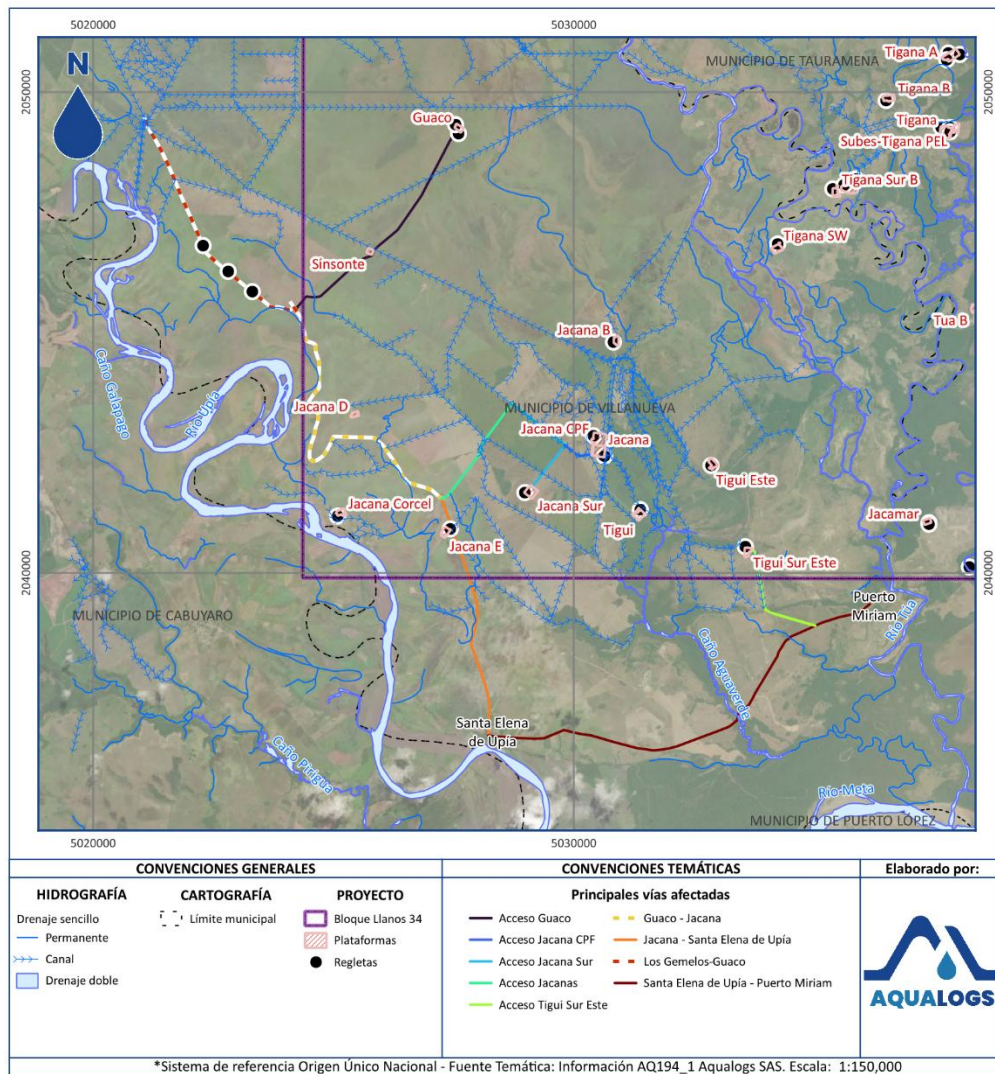


Figura 6-5. Principales vías afectadas.

6.4. Reporte semanal de alertas (14 de junio, 9:37 AM)

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) emitió su reporte semanal de alertas correspondiente al periodo comprendido entre el 7 y el 14 de julio de 2025. En dicho informe se señala que ambas subzonas hídricas sobre las cuales se encuentra el bloque de explotación Llanos 34, —la del Río Upía (3509) y la del Río Túa y otros directos del río Meta (3518)—, se encuentran bajo condición de alerta roja debido al incremento significativo en los niveles de caudal y riesgo de desbordamiento. A continuación, se presenta el reporte oficial emitido por la autoridad ambiental, como insumo para el análisis del evento de inundación ocurrido el 14 de julio.

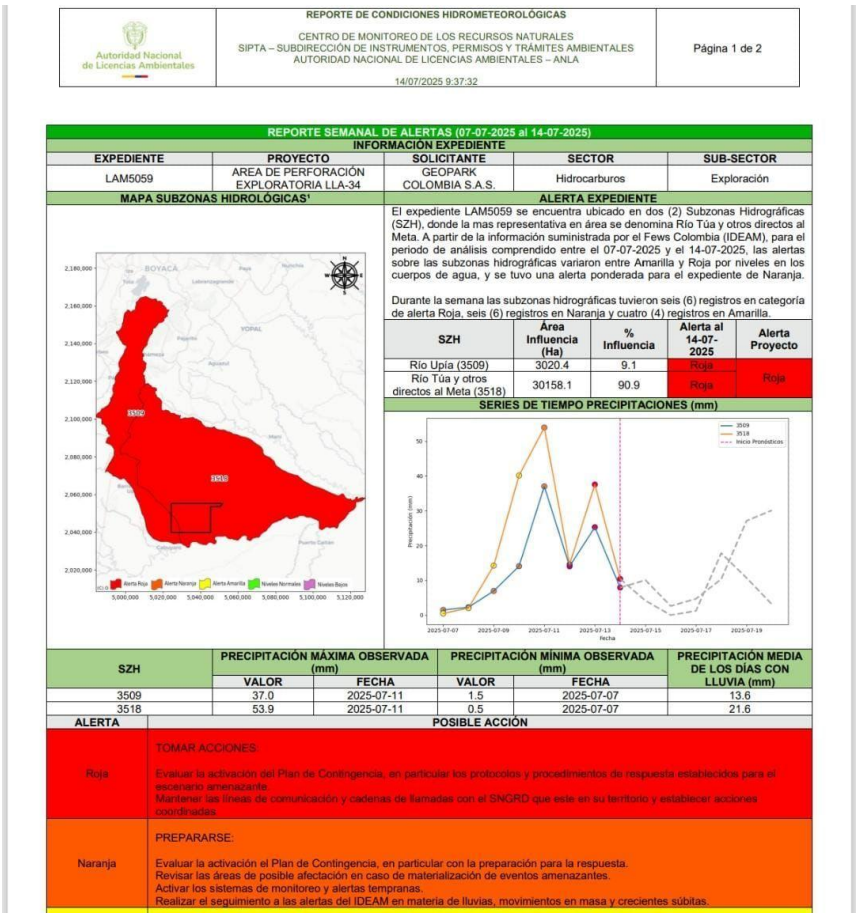


Figura 6-6. Reporte semanal de alerta (07-07-2025 al 14-07-2025)

Fuente. ANLA (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.5. Comunicado Alcaldía de Villanueva, Casanare (14 de junio, 2:18 PM)

Aunque no se cuenta con la hora exacta de la emisión del comunicado, se tiene registro de su divulgación a través del medio de comunicación Conexión Medios, en la página <https://territorioconexion.com>. En dicho comunicado se informa a la comunidad sobre la situación de desbordamiento del río Upía, atribuida a las lluvias ocurridas en las cuencas alta y media de este cuerpo de agua.

Ante este escenario, se establecieron medidas de control por parte de las entidades gubernamentales. Dentro del reporte oficial se destacan dos apartados relevantes:

4. Tendencia o Pronóstico: Se mantiene en incremento el caudal por lluvia a tributarios del Upía.
5. Estado Embalse Chivor: Rebose controlado.

El último punto hace referencia al embalse del Chivor, ubicado en el departamento de Boyacá, el cual descarga al río Garagoa, tributario del río Guavio, que a su vez desemboca en el río Upía. Se estima que este embalse se encuentra aproximadamente a 138 km aguas arriba del bloque Llanos 34, lo cual representa una fuente de aporte adicional al caudal observado en el evento.

A continuación, se presenta el comunicado emitido por la Alcaldía.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Figura 6-7. Comunicado situación de desbordamiento del río Upía – Activación del sistema municipal de gestión del riesgo de desastre.



Villanueva, Casanare. 14/07/2025.

COMUNICADO

SITUACIÓN DE DESBORDAMIENTO DEL RÍO UPÍA – ACTIVACIÓN DEL SISTEMA MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.

La Alcaldía Municipal de Villanueva Casanare, en cumplimiento de lo establecido en la Ley 1523 de 2012, que adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se permite informar a la comunidad en general que:

En las últimas horas se ha presentado el desbordamiento del río Upía, producto del incremento significativo de las lluvias en la cuenca alta y media del afluente, generando afectaciones en diversos sectores del municipio, principalmente en las veredas: Encanto, Horquetón, Caimán Alto, Caimán Bajo, Fical, Caserio San Marcos, Buenos Aires Alto, Buenos Aires Bajo, Vegas del Upía, Puerto Miriam, en el Río Túa, Puerto Rosales.

Ante esta situación:

1. Se mantiene activo el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), el cual se encuentra atento ante cualquier llamado por parte de la comunidad.
2. Desde el reporte por parte de autoridades de Santa María Boyacá Boyacá sobre el incremento del caudal del Lengupa, tributario del UPIA; se ha establecido continua comunicación con los presidentes de la J.A.C. río Upía, se ha informado del nivel del río Upía sobre el territorio Municipal.
3. Nivel de alerta Roja Hidrológica del UPIA
4. Tendencia o Pronóstico: se mantiene en incremento el caudal por lluvias a tributarios del upía.
5. Estado Embalse Chivor: Rebose Controlado.

Calle 8 No. 13-57/59 Barrio Fundadores. Telefax 6241204 – 6241205
Web: www.villanueva-casanare.gov.co / Email: alcaldia@villanueva-casanare.gov.co



Villanueva, Casanare. 14/07/2025.

COMUNICADO

SITUACIÓN DE DESBORDAMIENTO DEL RÍO UPÍA – ACTIVACIÓN DEL SISTEMA MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.

Se recomienda a la población:

- Mantenerse informada a través de los canales oficiales de la Alcaldía y medios comunitarios.
- Evitar cruzar ríos o quebradas con niveles elevados.
- Estar atentos a posibles evacuaciones preventivas en zonas de alto riesgo.
- Comunicar de inmediato cualquier emergencia a los números habilitados para atención.
- Evitar difundir información no verificada que pueda generar alarmas innecesarias.
- No permanecer en zonas de alto riesgo como las "Islas del Río"
- A las empresas afectadas activar su Plan de Emergencias y Contingencias.
- Evitar transitar las vías en los puntos de desbordamiento del Río Upía .

El represamiento parcial que se ubica en el Caño Cristalina con el Río Lengupa en el Municipio de Santa María Boyacá, está siendo monitoreado por las autoridades, cualquier novedad crítica se estará comunicando oportunamente.

Agradecemos la colaboración de la ciudadanía, organismos de socorro y entidades del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), que han unido esfuerzos en esta situación.

Recuerde que las siguientes líneas hacen parte de las entidades operativas del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre.

BOMBEROS	CMGRD	HOSPITAL	DEFENSA CIVIL	CRUZ ROJA
3115317950	3115079018	3138120354	3118752205	3115373591

Calle 8 No. 13-57/59 Barrio Fundadores. Telefax 6241204 – 6241205
Web: www.villanueva-casanare.gov.co / Email: alcaldia@villanueva-casanare.gov.co

Fuente. Alcaldía de Villanueva (2025)

6.1. Nivel del río Upía en el municipio de Barraca de Upía

A aproximadamente 45 km aguas arriba del bloque de explotación Llanos 34, sobre el río Upía, se encuentra el puente que conecta los departamentos de Casanare y Meta, ubicado en el municipio de Barranca de Upía (Meta). En esta estructura se realiza el monitoreo del nivel del río mediante una regleta pintada sobre una de sus columnas.

En la siguiente tabla se presenta el seguimiento de los niveles registrados en este punto de observación, así como algunas alertas asociadas con el desbordamiento en el sector del bloque de explotación Llanos 34.

Tabla 6-7. Seguimiento nivel en Barranca de Upía.

14 de julio 2025, 6:59 PM. Puente de Barranca de Upía. Nive:3.7m.	15 de julio 2025, 5:01 AM: El nivel del Río Upía en la vereda Buenos Aires desbordado
--	---

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



15 de julio 2025, 4:44 PM. Puente de Barranca de Upía.
Nive:1m.

16 de julio 2025, 5:08 AM. Puente de Barranca de Upía.



17 de julio 2025, 5:50 AM. Puente de Barranca de Upía.



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

El primer registro del nivel del río Upía se tomó en la tarde del 14 de julio, alcanzando una altura superior a los tres metros según la regleta de referencia.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Durante la madrugada del 15 de julio se reportó el desbordamiento del río Upía en la vereda Buenos Aires, ubicada al oeste de la vía entre Los Gemelos y Guaco.

En horas de la tarde del mismo día se observó una bajada significativa en el nivel del río Upía. Posteriormente, durante las madrugadas de los días 16 y 17 de julio no se registraron nuevos aumentos en el nivel del río, lo que indica una estabilización progresiva del cuerpo de agua.

6.2. Vía entre los Gemelos – Guaco

La vía de Los Gemelos a Guaco constituye el principal acceso terrestre a las plataformas de Guaco, Jacanas Tigui y Tigui Este, y forma parte del corredor vial que conecta las poblaciones de Villanueva con Santa Elena de Upía. Esta vía se ubica en el costado occidental del bloque de explotación Llanos 34 y representa un punto estratégico para la movilidad operativa en la zona.

A continuación, se presenta una tabla con el seguimiento realizado a esta vía, basado en registros fotográficos de la lámina de agua sobre la calzada y sus costados, así como en el monitoreo de tres reglas instaladas en puntos cercanos. Esta información permite evaluar la evolución del evento de inundación y su impacto sobre la infraestructura vial.

Tabla 6-8. Seguimiento vía los Gemelos – Guaco

14 de julio 2025, 6:59 PM. Sobre vuelo a la vía.	15 de julio de 2025, 6:37 AM. Portería vía de acceso a Guaco.
	
15 de julio de 2025, 10:03 AM. Regleta 3, vía los Gemelos – Guaco.	
	
15 de julio de 2025, 10:13 AM. Regleta 2, vía los Gemelos – Guaco	

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



15 de julio de 2025, 10:19 AM. Regleta 1, vía los Gemelos – Guaco



16 de julio de 2025, 5:14 AM. Regleta 2, vía los Gemelos – Guaco



16 de julio de 2025, 5:17 AM. Regleta 3, vía los Gemelos – Guaco.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Este fue el primer sector reportado con afectación directa por el desbordamiento del río Upía, lo que obligó al cierre de la vía debido a que la altura de la lámina de agua impedía el tránsito de camionetas y otros vehículos. La acumulación se mantuvo durante aproximadamente día y medio, generando deterioro visible en la carpeta asfáltica. Esta afectación queda registrada en la imagen correspondiente a la regla 2 del día 16 de julio, en la cual se evidencia la persistencia de escurrimiento y los daños sobre la superficie vial

6.3. Acceso Guaco

La vía de acceso a las plataformas Guaco y Sinsonte corresponde a un tramo sin carpeta asfáltica lo que la hace muy susceptible a afectaciones por estos eventos. Actualmente, las plataformas no cuentan con personal operativo fijo, por lo que el registro disponible sobre este sector es limitado.

En la siguiente tabla se presenta el seguimiento realizado a este tramo vial, con base en observaciones puntuales de presencia de escorrentía y afectaciones registradas durante el periodo de monitoreo.

Tabla 6-9. Seguimiento Acceso Guaco
14 de julio 2025, 7:00 PM. Sobre vuelo a la vía.



14 de julio 2025, 7:00 PM. Sobre vuelo a la vía.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

La vía de acceso a Guaco fue la segunda infraestructura en presentar afectación directa por el desbordamiento, evidenciándose presencia de lámina de agua sobre la calzada y en ambos costados del talud. Esta condición generó procesos de deslavado del material superficial, comprometiendo parcialmente la estabilidad del tramo.

El registro disponible corresponde únicamente a observaciones aéreas obtenidas mediante sobrevuelo de dron.

6.4. Jacana Central (CPF)

La plataforma Jacana Central no fue la tercera infraestructura en presentar afectación directa por el desbordamiento, sin embargo, fue la siguiente en generar registro de impacto, a partir de observaciones efectuadas en la regleta ubicada al oeste de la plataforma.

A continuación, se presenta el seguimiento de los eventos registrados en las plataformas, sus vías de acceso y los instrumentos de medición asociados, como las regletas.

Tabla 6-10. Seguimiento Jacana Central

15 de julio 2025, 5:04 AM. Regleta Jacana CPF.	15 de julio 2025, 5:26 AM. Regleta Jacana CPF.
	
14 de julio 2025, 6:27 AM. Jacana Central y vía de acceso.	15 de julio 2025, 1:53 PM. Regleta Jacana CPF.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEOARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



15 de julio 2025, 1:55 AM. Entrada Jacana Central.

15 de julio 2025, 4:44 AM. Entrada Jacana Central.



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Los efectos del desbordamiento comenzaron a evidenciarse en Jacana Central durante la madrugada del 15 de julio, a través de lecturas en una de las regletas del CPF. Se registró un incremento de 20 centímetros en la lámina de agua en apenas 20 minutos, marcando el inicio del evento en este sector.

Durante esa misma madrugada se observó presencia de lámina de agua principalmente al costado oeste de la plataforma, sin que se evidenciaran afectaciones significativas entre Jacana Central y Jacana B, o en la vía a Tigui.

Hacia la tarde, la visibilidad de la regla quedó completamente obstruida por el nivel del agua, mientras que en la entrada a la plataforma se registró una lámina casi continua sobre el talud y en ambos costados.

Ya al final del día, se pudo evidenciar una reducción del escurrimiento superficial en la zona de acceso a Jacana Central, indicando un descenso gradual del nivel de inundación.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.5. Portería y vía de acceso a las plataformas Jacana

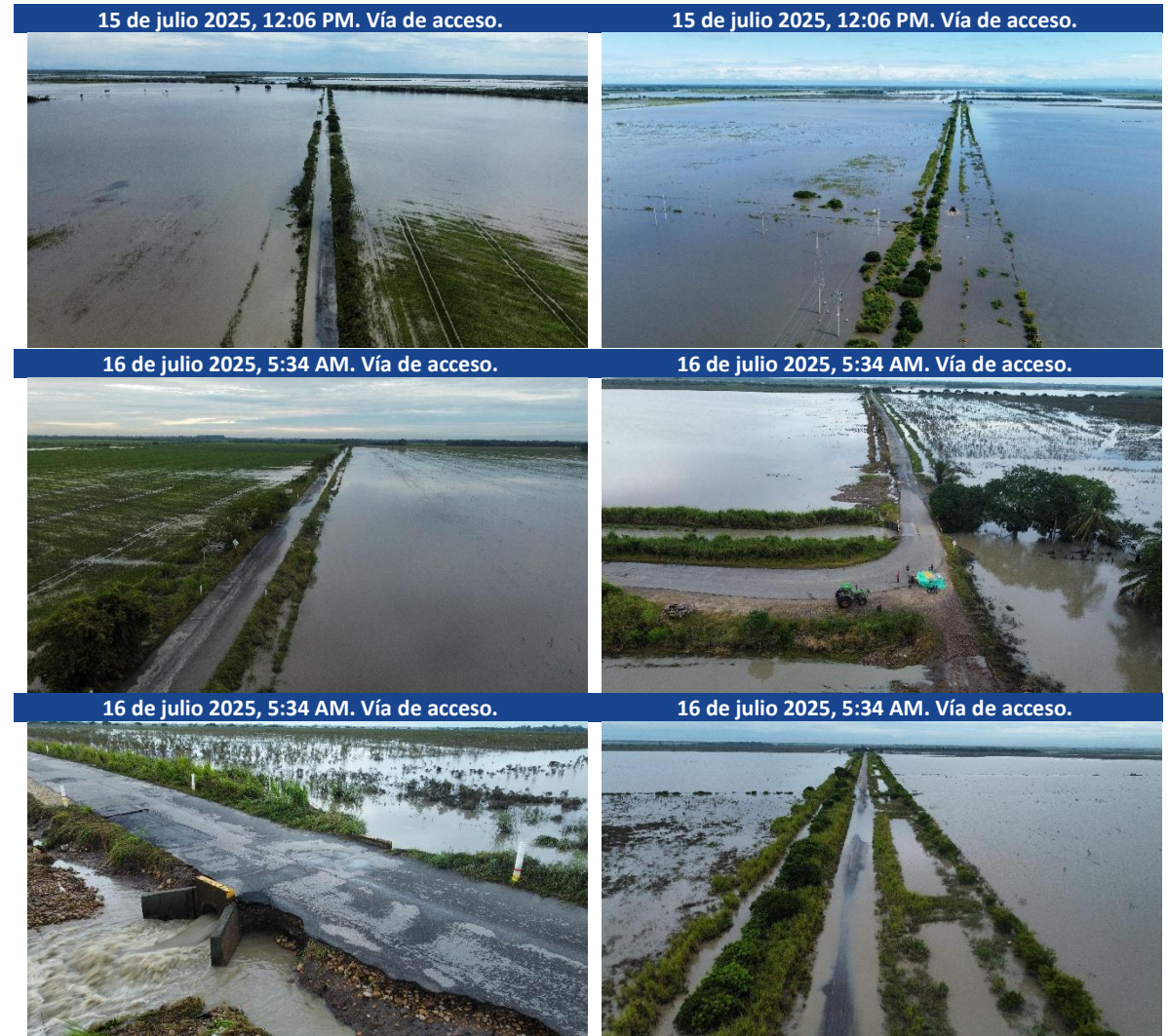
La portería y vía de acceso a las plataformas Jacana se encuentra sobre el corredor vial los Gemelos – Santa Elena de Upía. Esta entrada comunica directamente con las plataformas Jacana Central, Jacana Sur, Jacana B, Tigui y Tigui Este. Se trata de una vía con carpeta asfáltica que, durante el evento, fue la tercera infraestructura en presentar afectación, con la lámina de agua acercándose significativamente al área de portería.

En la siguiente tabla se presenta el seguimiento realizado a esta infraestructura durante el evento, con base en observaciones de campo y registros de escurrimiento.

Tabla 6-11. Seguimiento portería y vía de acceso a las plataformas Jacana

15 de julio 2025, 6:27 AM. Portería plataformas Jacanas.		15 de julio 2025, 6:27 AM. Vía de acceso	
			
15 de julio 2025, 6:27 AM. Vía de acceso.		15 de julio 2025, 6:27 AM. Sobre vuelo vía de acceso.	
		Ya a 	
15 de julio 2025, 12:06 PM. Portería plataformas Jacanas.		15 de julio 2025, 12:06 PM. Vía de acceso.	
			

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Los primeros registros del evento de inundación en esta vía fueron tomados en la mañana del 15 de julio, cuando el tramo se encontraba completamente sumergido, con lámina de agua visible a ambos extremos del terraplén. Sin embargo, no se evidenció ingreso de agua en el área de la portería.

Hacia el mediodía del mismo día se observó un leve descenso en el nivel de la lámina, drenándose parcialmente el tramo cercano a la portería. No obstante, el segmento vial entre Jacana Sur y Jacana Central permanecía inundado, tanto sobre el talud como a sus costados.

Para la mañana del 16 de julio, los encharcamientos eran ya puntuales, aunque se comenzaron a notar afectaciones visibles en la integridad del talud y en algunas de las estructuras hidráulicas presentes en la vía.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.6. Jacana Sur y vía de acceso

Antes de ingresar a la plataforma Jacana Central, sobre la vía de acceso principal, se encuentra una intersección al costado derecho que conduce a la plataforma Jacana Sur.

A partir de los registros fotográficos iniciales capturadas durante las inspecciones en las vías de acceso a las plataformas Jacana, se identificaron afectaciones estructurales en el tramo que conecta con Jacana Sur.

A continuación, se presenta el seguimiento fotográfico detallado del estado de la infraestructura en dicha plataforma, así como de su vía de acceso.

Tabla 6-12. Seguimiento plataforma y vía de acceso a Jacana Sur

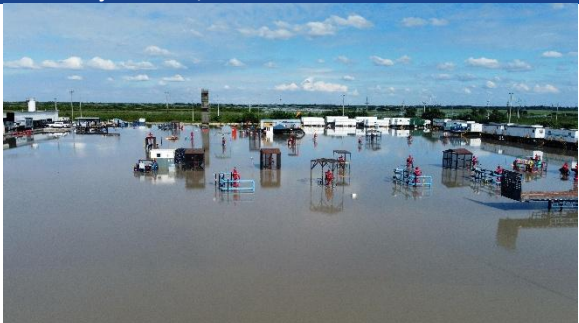
15 de julio 2025, 6:27 AM. Sobre vuelo plataforma Jacana Sur		15 de julio 2025, 6:33 AM. Plataforma Jacana Sur	
			
15 de julio 2025, 9:51 AM. Sobre vuelo plataforma Jacana Sur		15 de julio 2025, 12:06 AM. Vía de acceso a Jacana Sur	
			
15 de julio 2025, 12:06 AM. Vía de acceso a Jacana Sur		15 de julio 2025, 12:06 AM. Plataforma y vía de acceso a Jacana Sur	



15 de julio 2025, 4:14 AM. Plataforma Jacana Sur



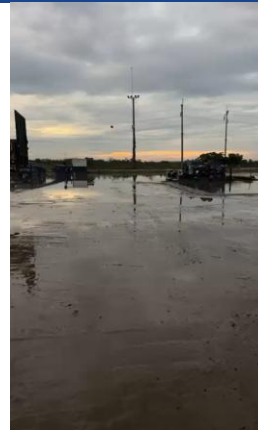
15 de julio 2025, 4:14 AM. Plataforma Jacana Sur



16 de julio 2025, 5:08 AM. Vía de acceso a Jacana Sur



16 de julio 2025, 5:20 AM. Plataforma Jacana Sur



17 de julio 2025, 5:50 AM. Vía de acceso a Jacana Sur



Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

El seguimiento a este sector inició en la mañana del 15 de julio, momento en el que se evidenciaron afectaciones sobre la vía de acceso, sin presencia directa de agua sobre la plataforma. No obstante, se observó que el costado oeste de la plataforma se encontraba completamente inundado, y minutos más tarde comenzó el ingreso de agua a través de la entrada vehicular de la plataforma.

Al mediodía, tanto la plataforma como la vía de acceso se encontraban completamente cubiertas por lámina de agua, dificultando la visibilidad del terraplén de la vía. Sin embargo, el terraplén del dique de la plataforma aún era perceptible en la mayoría de los tramos. Durante la tarde, se obtuvo un registro fotográfico que permitió estimar una lámina de agua de aproximadamente 20 centímetros sobre la plataforma, usando como referencia la altura visible de un tráiler tipo plancha.

Durante la madrugada del 16 de julio, aún se observaba presencia de inundación sobre la vía de acceso, mientras que la plataforma permanecía con varios encharcamientos puntuales. El último registro, correspondiente a la madrugada del 17 de julio, se evidenció acumulaciones residuales sobre el acceso a la plataforma, lo que indica el inicio del proceso de drenaje natural del sector.

6.7. Vía Santa Elena de Upía – Puerto Miriam desbordamiento del caño Aguaverde (16 de julio, 6:54 AM)

Al sur de las plataformas Jacana y Tigui se encuentra una vía municipal que conecta las poblaciones de Santa Elena de Upía y Puerto Miriam. Sobre este corredor se localiza un puente que cruza el caño Aguaverde (también conocido como río Mirriba) cuya cuenca drena directamente hacia el río Meta.

La mayoría de las plataformas del sector Jacana y Tigui se encuentran ubicadas sobre esta cuenca, y aunque dicha vía se encuentra fuera del bloque de explotación Llanos 34, es utilizada como acceso principal a la plataforma Tigui Sureste.

Durante la mañana del 16 de julio se reportó un desbordamiento en el tramo de vía próximo al puente. Si bien no se evidenció gran profundidad en la lámina de agua (según referencia visual en la Figura 6-9) este evento marca el inicio del ascenso en el nivel de este cuerpo hídrico.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Figura 6-8. Puente sobre el caño Aguaverde.

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Figura 6-9. Desbordamiento del caño Aguaverde
Fuente. Aqualogs SAS (2025)

6.8. Nivel del río Túa

El río se encuentra ubicado al este de la subcuenca del caño Agua Verde, y aparentemente no presentó ninguna afectación asociada al evento registrado. En la Figura 6-10 se muestra el nivel del río Túa el día 17 de julio, cercano a la población de Caribayona.

No se recibieron más reportes de afectaciones en el resto del bloque, probablemente debido a la falta de acceso a las plataformas de monitoreo. Esto se debió a que, durante esas fechas, las comunidades locales no permitieron el ingreso a la infraestructura disponible.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente



Figura 6-10. Nivel del río Túa en a la población de Caribayona

6.9. Mancha de inundación mediante información SAR

Las imágenes de radar de apertura sintética (SAR) permiten observar la superficie terrestre incluso en condiciones de nubosidad o durante la noche, gracias a su capacidad de emitir señales activas de microondas. El sensor transmite pulsos de radar y mide el eco reflejado por los objetos en la superficie, generando una imagen que refleja propiedades como rugosidad, humedad y geometría. A diferencia de la teledetección óptica, el SAR es sensible a la estructura física y dieléctrica del terreno, lo que lo hace especialmente útil para detectar cambios ambientales como inundaciones, deformaciones o acumulación de humedad.

Se emplearon imágenes SAR de la misión Copernicus Sentinel-1, desarrollada por la ESA (Agencia Espacial Europea), que opera con radar en banda C y permite observar la superficie terrestre en cualquier condición climática. Para este análisis se utilizó el producto GRD, que representa la amplitud de la señal reflejada sobre una geometría terrestre corregida (WGS84), ideal para identificar humedad superficial.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

La polarización VH (transmisión vertical – recepción horizontal) fue clave para detectar dispersión volumétrica. En la banda de retrodispersión (expresada en dB), los valores inferiores a -20 dB indican presencia de agua superficial, según validaciones realizadas por (Moreira, y otros, 2013) (Filipponi, 2019).

A continuación, se presentan dos figuras comparativas: una correspondiente a la imagen del 3 de julio y otra del 15 de julio, con el propósito de evidenciar los efectos de la inundación sobre el bloque.

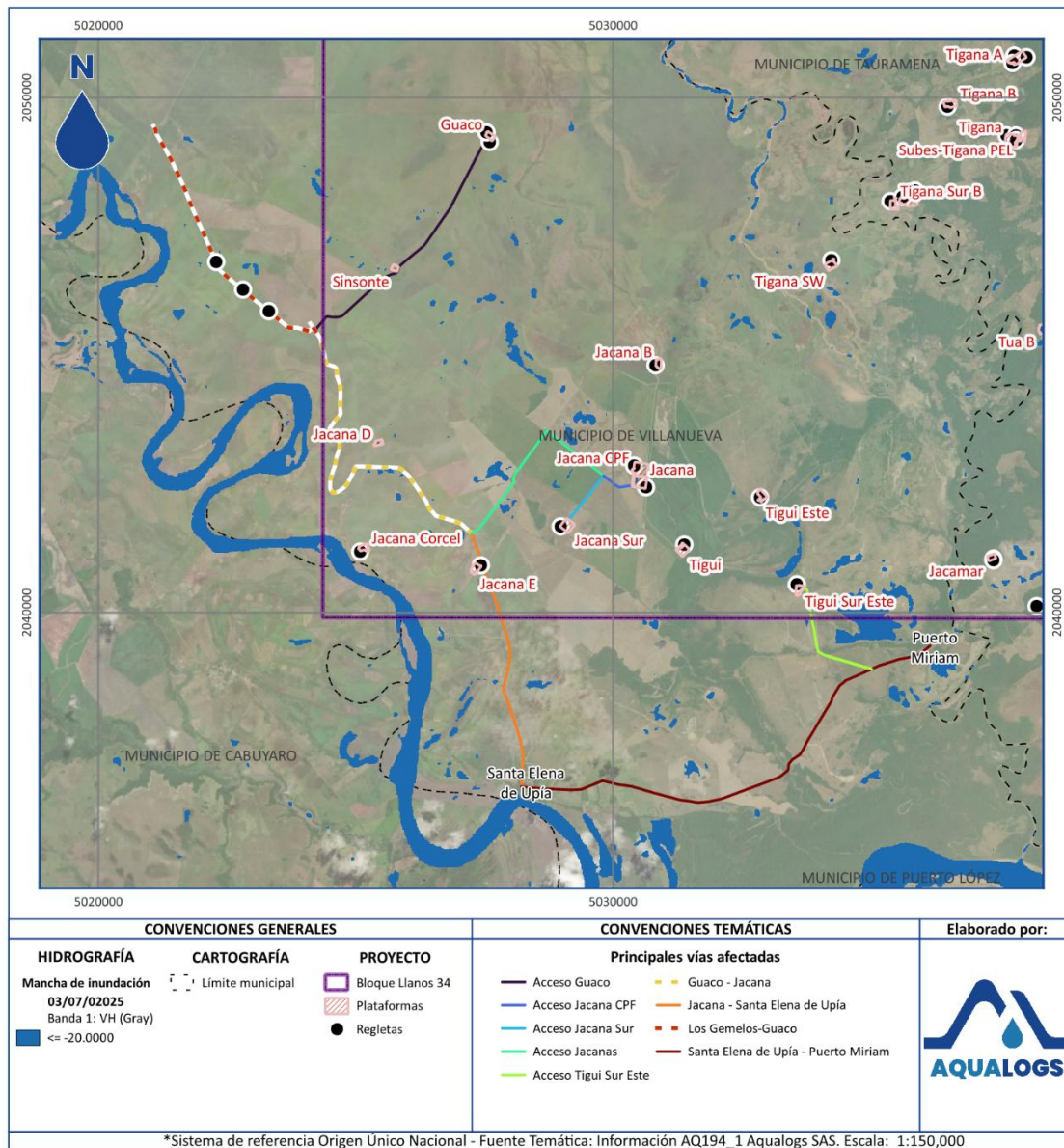


Figura 6-11. Mancha de inundación del 3 de julio del 2024

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

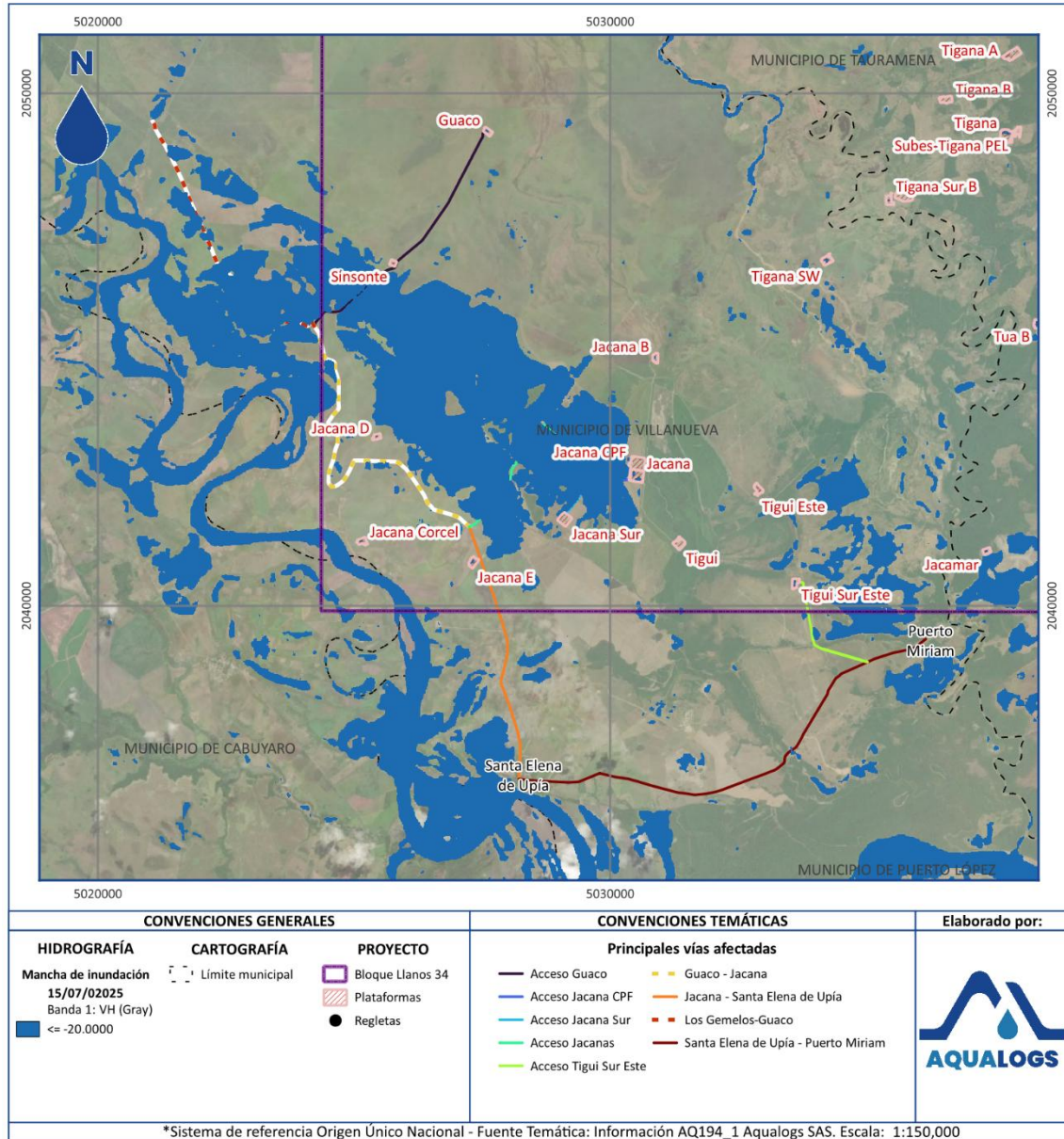


Figura 6-12. Mancha de inundación del 15 de julio del 2025

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Se evidencia que la mancha de inundación abarca extensas zonas dentro del bloque, afectando vías como el tramo los Gemelos - Guaco, el tramo inicial de la vía de acceso a Guaco hasta la plataforma Sinsonte. También se identifican afectaciones en los accesos Jacanas, Jacana Sur y Jacana CPF. Asimismo, se observa el desbordamiento en la vía Santa Elena de Upía – Puerto Miriam cerca al caño Aguaverde.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

6.10. Dinámicas Identificadas

En el presente capítulo se describen las dinámicas identificadas que dieron origen al evento, así como su evolución y comportamiento dentro del bloque.

6.10.1. Origen del evento

La siguiente figura muestra la cuenca del río Upía, subdividida en sus principales subcuencas: río Lengupá (color naranja), río Garagoa (color azul), río Guavio (color verde) y el curso directo del río Upía (color café). Se observa que las subcuencas de los ríos Garagoa y Guavio incluyen embalses: Chivor y El Guavio, respectivamente. Las líneas punteadas dentro de la figura representan las conexiones hídricas entre dichas subcuencas.

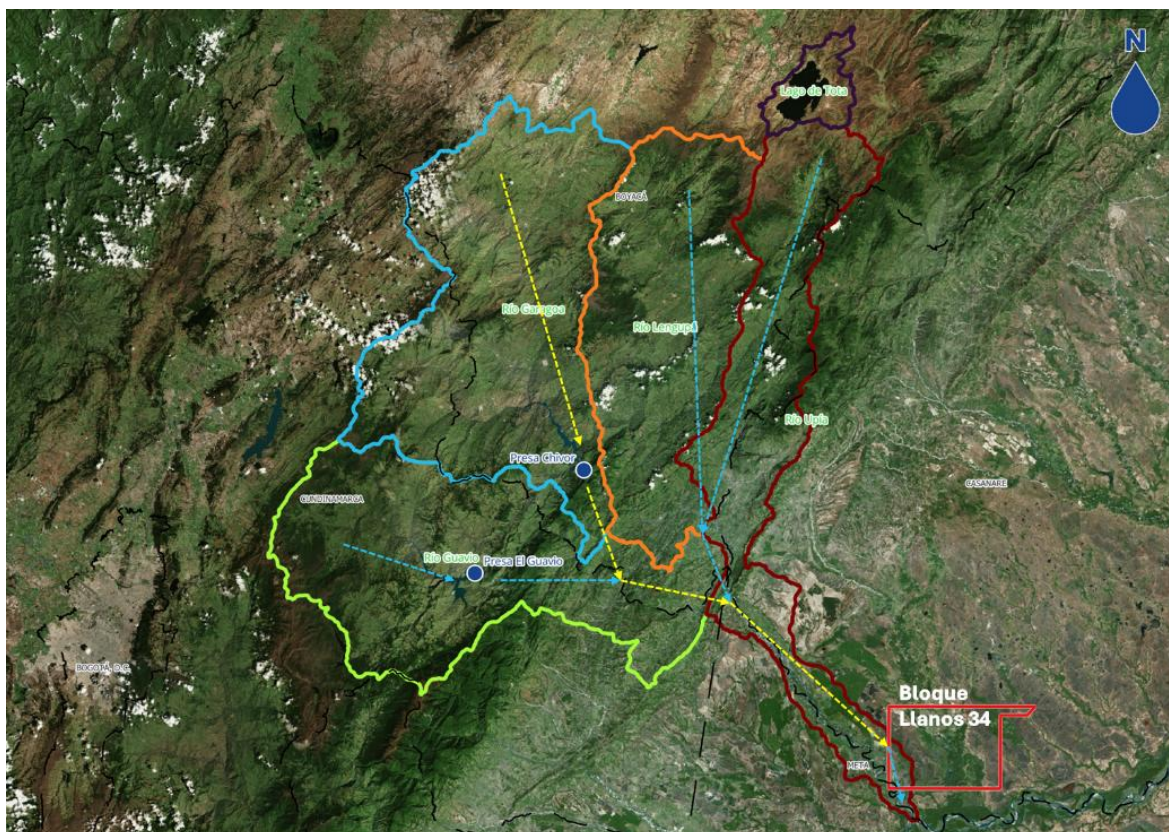


Figura 6-13. Flujo de origen del evento en cuenca del río Upía

Fuente. Aqualogs SAS (2025)

Las flechas punteadas en color amarillo representan el flujo generado durante el evento, cuya dinámica se desarrolló de la siguiente manera: Según el reporte emitido por la alcaldía, el embalse Chivor llevó a cabo un rebose controlado como respuesta al incremento en su nivel (14 de junio, 2:18 PM.). Este rebose fue canalizado hacia el río Upía mediante el drenaje natural por las cuencas

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

de los ríos Garagoa y Guavio. En dichos tramos —incluyendo parte del río Upía— el drenaje se produjo en zonas montañosas, lo que favoreció su conducción hacia los Llanos Orientales, específicamente hacia el área donde se encuentra ubicado el bloque de estudio.

6.10.2. Comportamiento dentro del bloque

Las afectaciones en el bloque comenzaron con el desbordamiento del dique del río Upía en la vereda Buenos Aires Alto. Este evento provocó que el flujo de agua alcanzara la vía Los Gemelos – Guaco, sobrepasando el terraplén y desplazándose hacia la vía de acceso a Guaco, la cual también fue superada por la corriente.

Horas más tarde, la masa de agua alcanzó la vía de acceso a las Plataformas Jacanas, donde se dispersó desde las inmediaciones de la portería hasta llegar a la plataforma Jacana Central (Jacana CPF). Durante este trayecto, el agua superó la altura de la vía de acceso e ingresó en la zona de cultivos cercana a la plataforma Jacana Sur.

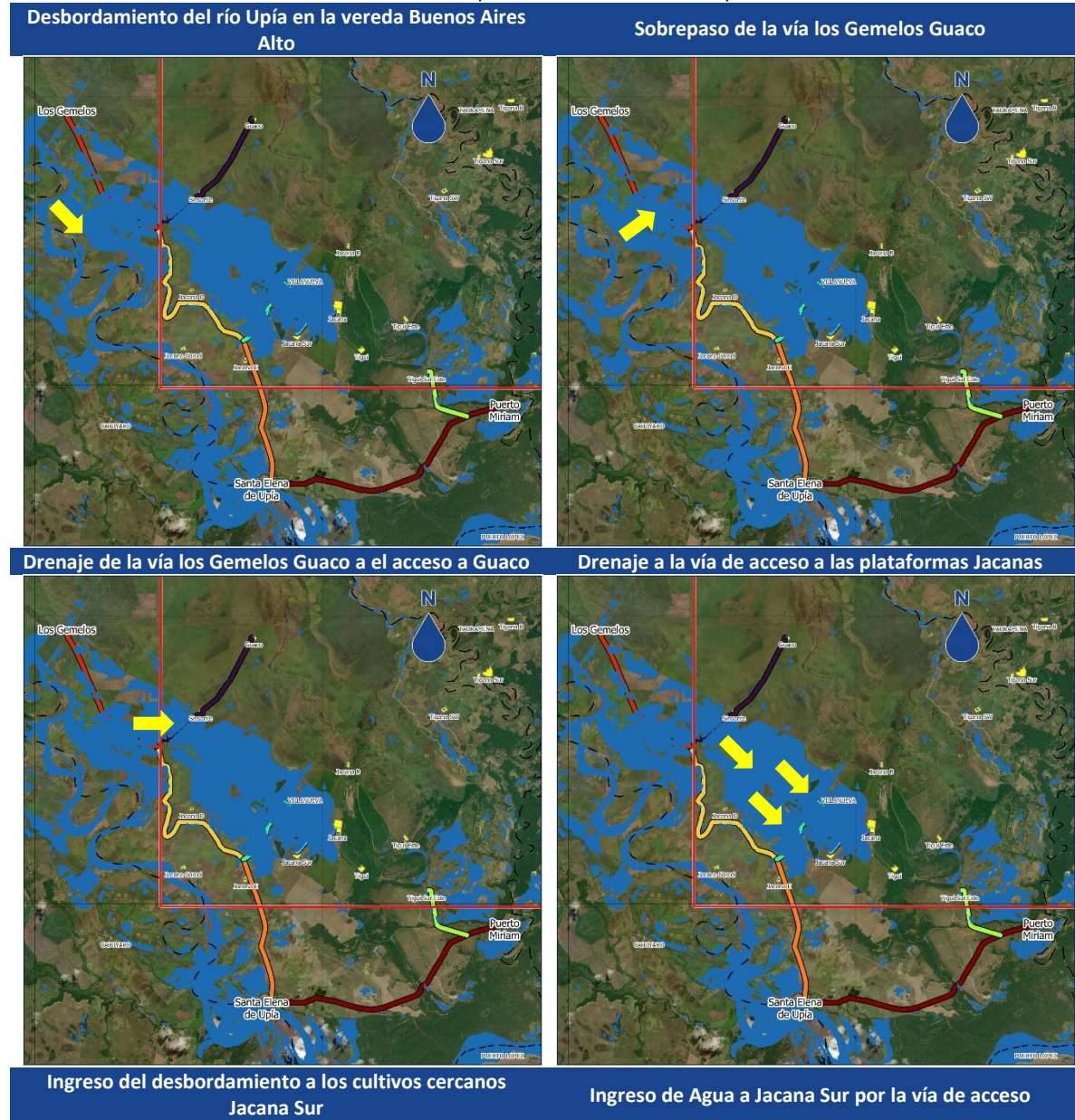
El agua que sobrepasó esa vía se dirigió hacia la vía de acceso a Jacana Sur, cubriéndola por completo. Posteriormente, comenzó el ingreso de agua hacia la plataforma, provocando la inundación total de sus instalaciones, eventos que fueron debidamente notificados a la ANLA

Finalmente, el agua drenó hacia los canales agrícolas, que la condujeron al Caño Aguaverde, donde se registró un nuevo desbordamiento que impactó la vía entre Santa Elena de Upía y el Puerto Miriam.

A continuación, se presenta una tabla que resume el comportamiento observado durante el evento, basado en la secuencia de afectaciones previamente descrita.

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

Tabla 6-13. Comportamiento dentro del bloque



Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEO PARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

7. Anexos

7.1. Anexo 1 Conceptualización hidrológica

En la carpeta A1_Conceptualización Hidrológica se encuentra:

1. Coberturas de la tierra

7.2. Anexo 2 Conceptualización hidráulica

En la carpeta A2_Conceptualización Hidráulica se encuentra:

1. Análisis Remanso Río Meta, 02_ImágenesSatelitales

7.3. Anexo 3 Eventos históricos

En la carpeta A3_Eventos Históricos se encuentra:

1. Actas de reunión
2. Derechos de petición
3. Inundación Entidades
4. Visita a Comunidades

7.4. Anexo 4 Eventos recientes

En la carpeta A4_Eventos Recientes se encuentra:

1. Registro Fotográfico
2. Imágenes SAR

Estudio hidrológico y modelación hidráulica Bloque de Explotación Llanos 34 – Conceptualización del sistema		 GEPARK CREAR VALOR Y RETRIBUIR
Código: AQ_194	Versión: 02	Cliente

8. Bibliografía

INVIAS, I. N. de V. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*.

Vargas, N. O., & Giraldo, M. V. (2018). IDEAM, Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica. In *Minambiente Colombia*.

Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. *3rd International Electronic Conference on Remote Sensing*. MDPI.

Google. (2025). *Google Earth Engine*. Obtenido de Google for Developers: <https://developers.google.com/earth-engine?hl=es-419>

Kreiser, Z., Killough, B., & Rizvi, S. R. (2020). Water Across Synthetic Aperture Radar Data (WASARD): SAR Water Body Classification for the Open Data Cube. *NASA Langley Research Center*.

Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. P. (2013). A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 6–43.