Fundación profesional para el manejo integral del agua, Santiago de Cali. Teléfono celular (311) 3961497 - (300) 6161723

Proagua

Nit 805.022.727-0

Popayán, diciembre 20 de 20125

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
CRC
COMUNICACIONES RECIBIDAS - INFORME
SGA-13470-2025
Fecha: 22-12-2025
Hora: 09:24 AM

FP 2025-0063

Ingeniera
YULIE YOJANA MANQUILLO
Profesional especializado
Dirección de Gestión Ambiental
Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC
L.C.

Referencia: Contrato CRC No 0635 – 2025

Asunto: Entrega informe Climatología – Componente Hidráulico

Cordial saludo,

Como parte de las obligaciones establecidas en el contrato de la referencia que tiene por objeto *"Realizar el acotamiento de la ronda hídrica de la corriente priorizada quebrada Machángara (sentencia en segunda instancia) conforme a la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de rondas hídricas en Colombia dispuesta por el MADS, en el marco de la ejecución del proyecto Gestión de la Gobernanza del Agua para la Ordenación, Evaluación y Reglamentación del Agua"*, se remite la información que se relaciona a continuación: :

- Informe Climatología
- Anexos informe climatología: **Anexo 1**: Cuenca Machángara / Direcciones de flujo / Subcuencas. **Anexo 2**: Análisis estadísticos / Datos Completos /Datos procesados /Estaciones iniciales / Información Espacial.

Es de indicar que producto del tamaño de los anexos, estos son remitidos comprimidos.

Atentamente,

JOHN JAIRO DAZA B.
Coordinador Proyecto

Se adjunta lo enunciado

Dirección: Carrera 69 No 13B 100 Interior 27, La Hacienda Mz1 – Cali
Email: fproagua@yahoo.com



Fuente: PROAGUA 2025. Quebrada Machangara



Fuente: PROAGUA, 2025. Quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2025. Quebrada Machángara

REALIZAR EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA CORRIENTE PRIORIZADA QUEBRADA MACHÁNGARA (SENTENCIA EN SEGUNDA INSTANCIA) CONFORME A LA GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA DISPUESTA POR EL MADS, EN EL MARCO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO GESTIÓN DE LA GOBERNANZA DEL AGUA PARA LA ORDENACIÓN, EVALUACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DEL AGUA

COMPONENTE HIDRÁULICO
INFORME CLIMATOLOGÍA

DICIEMBRE DE 2025

Contrato CRC No 0635 de 2025

Climatología

Proagua

Componente Hidráulico

2025

Tabla de contenido

1. Definición de la zona de estudio 6

1.1. Revisión de información secundaria, antecedentes y marco de referencia 6

1.2. Insumos cartográficos y topográficos empleados 7

1.2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT) 7

1.2.2. Ortofotomosaico 8

1.2.3. Información cartográfica digital 9

1.3. Análisis del flujo superficial a partir del Modelo Digital de Terreno 10

1.3.1. Generación del modelo de dirección de flujo 10

1.3.2. Identificación de patrones de escorrentía superficial 11

1.4. Determinación de pendientes y direcciones de flujo en la red vial 12

1.5. Delimitación final de la cuenca urbana - zona de estudio 14

1.6. Delimitación de subcuencas 17

2. Revisión y Análisis de Información Hidroclimatológica 19

2.1. Estaciones Hidroclimatológicas 19

2.2. Análisis de la información 21

2.3. Análisis Estadístico 27

2.3.1. Precipitación 28

2.3.2. Temperatura 34

3. Caracterización climática del área de estudio 41

3.1. Análisis de la precipitación 41

3.1.1. Precipitación máxima diaria multianual 41

3.1.2. Precipitación mensual multianual 43

3.1.3. Espacialización mensual multianual de la precipitación 45

3.1.4. Distribución espacial de la precipitación media anual 49

3.2. Análisis de la temperatura 50

3.2.1. Temperatura mensual multianual 50

3.2.2. Espacialización mensual multianual de la temperatura 52

3.2.3. Distribución espacial de la temperatura media anual 54

4. Referencias 57

Figuras

Figura 1. Modelo Digital del Terreno (MDT) CRC 8
Figura 2. Ortofoto CRC 9
Figura 3. Cuenca y drenaje Machángara CRC 9
Figura 4. Dirección de flujo 10
Figura 5. Flujo vías 11
Figura 6. Red vial 13
Figura 7. Flujo vías pendientes 14
Figura 8. Delimitación de la cuenca 15
Figura 9. Cuenca Machángara 16
Figura 10. Subcuencas Machángara 18
Figura 11. Estaciones hidroclimatológicas analizadas 19
Figura 12. Identificación de datos faltantes de precipitación 23
Figura 13. Identificación de datos faltantes de Temperatura 25
Figura 14. Histogramas de frecuencia de las series de precipitación 30
Figura 15. Descripción del diagrama de caja 31
Figura 16. Diagramas de caja de las series de precipitación 32
Figura 17. Análisis de doble masa (estaciones Venta de Cajibío y Paispamba) 33
Figura 18. Datos de precipitación completado estación Aeropuerto GL Valencia 34
Figura 19. Histogramas de frecuencia de las series de Temperatura 37
Figura 20. Diagramas de caja de las series de Temperatura 38
Figura 21. Análisis de doble masa (estaciones Venta de Cajibío y Paispamba) 39
Figura 22. Datos de Temperatura completado estación Aeropuerto GL Valencia 40
Figura 23. Precipitación media mensual multianual 44
Figura 24. Distribución espacial mensual multianual de la precipitación 47
Figura 25. Distribución espacial de la precipitación media anual 49
Figura 26. Temperatura media mensual multianual 51
Figura 27. Distribución espacial mensual multianual de la temperatura 53
Figura 28. Distribución espacial de la temperatura media anual 55

Tablas

Tabla 1. Estaciones hidroclimatológicas analizadas 20
Tabla 2. Estaciones descartadas. 21
Tabla 3. Porcentaje de datos faltantes de precipitación 24
Tabla 4. Porcentaje de datos faltantes de temperatura 26
Tabla 5. Porcentaje de datos faltantes de humedad relativa 26
Tabla 6. Porcentaje de datos faltantes de brillo solar 27
Tabla 7. Estadísticos descriptivos series diarias de precipitación (1994 -2024) 28
Tabla 8. Estadísticos descriptivos series diarias de temperatura (1994 -2024) 35
Tabla 9. Precipitación máxima diaria multianual. 41

Anexos

Anexo 1. Cuenca, subcuencas y direcciones de flujo

Anexo 2. Climatología.

1. Definición de la zona de estudio

El presente capítulo describe el procedimiento adoptado para la definición de la zona de estudio, entendida como la cuenca hidrográfica asociada a la quebrada Machángara. La delimitación se desarrolló a partir de la integración de información secundaria, análisis topográfico y criterios hidrológicos aplicados a un entorno urbano, con el fin de establecer un ámbito espacial coherente para el desarrollo de los análisis climatológicos, hidrológicos e hidráulicos posteriores.

1.1. Revisión de información secundaria, antecedentes y marco de referencia

La definición de la zona de estudio se fundamenta en la revisión de la información secundaria previamente generada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), específicamente del estudio titulado *"Delimitación del componente de amenaza (hidrológico–hidráulico) de la quebrada Machángara, municipio de Popayán, como elemento constitutivo de la ronda hídrica"*, desarrollado en el año 2021. Dicho estudio constituye el principal antecedente técnico-institucional para la delimitación de la ronda hídrica en el área de interés y representa un insumo base para el desarrollo del presente análisis.

En el marco de ese estudio, la CRC abordó la definición del componente hidrológico–hidráulico como uno de los ejes estructurantes para la delimitación de la ronda hídrica, integrando información topográfica, cartográfica y geomorfológica con criterios técnicos orientados a la identificación de áreas potencialmente afectadas por procesos de inundación y dinámica fluvial. En este sentido, la delimitación de la cuenca de drenaje asociada a la quebrada Machángara se concibe como un elemento esencial dentro del análisis hidrológico, en tanto define el ámbito espacial de generación y concentración de escorrentía superficial.

A partir de la revisión del estudio (CRC, 2021), se identificaron y recopilaron los principales productos cartográficos y espaciales generados en dicho proceso, los cuales son adoptados en el presente trabajo como insumos base para la definición de la zona de estudio. Entre estos productos se encuentran el Modelo Digital del Terreno (MDT), la ortofotografía desarrollada para la zona de influencia de la quebrada Machángara, así como los archivos vectoriales (shapefile),

correspondientes a la cuenca y al cauce de la quebrada Machángara, los cuales constituyen información de referencia validada a escala local.

El uso de esta información secundaria permite asegurar coherencia metodológica con los lineamientos técnicos previamente establecidos por la autoridad ambiental, garantizando la continuidad técnica del análisis hidrológico–hidráulico. Asimismo, estos insumos proporcionan una base consistente para el desarrollo de los procedimientos posteriores de análisis espacial, modelación hidrológica y delimitación detallada de la cuenca urbana, los cuales se describen en los subcapítulos siguientes.

1.2. Insumos cartográficos y topográficos empleados

A partir del estudio desarrollado por la CRC (CRC, 2021), se identificaron y adoptaron como insumos base los productos cartográficos y espaciales que constituyen el soporte técnico para la delimitación de la zona de estudio. Estos insumos fueron utilizados directamente en el desarrollo del presente análisis, en función de su pertinencia para la caracterización topográfica y espacial del área de estudio.

1.2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

El Modelo Digital del Terreno (MDT) desarrollado por la CRC, representa la superficie del terreno mediante una grilla regular con resolución espacial de 0.50 m × 0.50 m, donde cada celda almacena el valor de elevación del terreno, sin considerar elementos sobrepuestos como vegetación, edificaciones u obras civiles.

El estudio (CRC, 2021), entregó dos productos asociados al MDT: (i) un MDT generado a partir de datos LiDAR capturados en el marco del proyecto AVR Cauca, con una densidad aproximada de 5 puntos por metro cuadrado, y (ii) un MDT integrado que incorpora información topobatimétrica proveniente de levantamientos topográficos realizados en campañas previas. La generación del MDT LiDAR se realizó a partir de la nube de puntos clasificada como terreno, procesada mediante herramientas especializadas, y referida verticalmente al modelo geoidal Geovalle, el cual cubre el área de interés de la quebrada Machángara.

El MDT integrado, que incorpora información topobatimétrica existente, se presenta en la Figura 1, donde se aprecia el relieve general del área de estudio y la definición del cauce de la quebrada Machángara, así como las variaciones altimétricas asociadas a su entorno inmediato y su conexión con el rio Cauca.



Figura 1. Modelo Digital del Terreno (MDT) CRC
Fuente: (CRC, 2021)

1.2.2. Ortofotomosaico

El ortofotomosaico fue elaborado a partir de fotografías aéreas con una resolución espacial de 15 cm, generado en el marco del proyecto *"Elaboración de Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgos por Movimientos en Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales para la Incorporación de la Gestión del Rieso en la Planificación Territorial, en Municipios Priorizados del Departamento del Cauca"* (CRC, 2021).

En la Figura 2 se presenta el ortofotomosaico correspondiente al área de estudio, en el cual se reconoce con alto nivel de detalle la configuración urbana, permitiendo la identificación precisa de elementos antrópicos como la red vial, el trazado de calles, intersecciones, infraestructura asociada al drenaje urbano y la ocupación del suelo.



Figura 2. Ortofoto CRC
Fuente: (CRC, 2021)

1.2.3. Información cartográfica digital

Los insumos vectoriales analizados, corresponden a shapefiles de la cuenca y al eje de la quebrada Machángara los cuales definen de manera espacial el ámbito de intervención del estudio desarrollado (CRC, 2021). En la Figura 3, se presenta la cuenca delimitada por en dicho estudio, con un área aproximada de 46.10 ha, así como también el eje de la quebrada Machángara, que cuenta con una longitud cercana a 1.03 km. Estas representaciones cartográficas fueron empleados como referencia espacial para la localización del área de estudio y como marco de comparación durante el proceso de delimitación de la cuenca hidrográfica abordado en el presente trabajo.

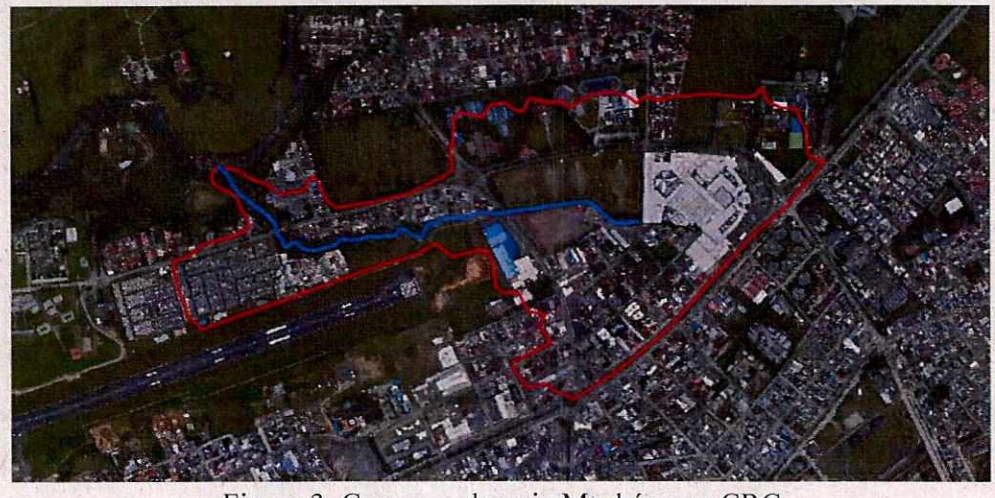


Figura 3. Cuenca y drenaje Machángara CRC
Fuente: (CRC, 2021)

1.3. Análisis del flujo superficial a partir del Modelo Digital de Terreno

Con el fin de analizar el comportamiento del flujo superficial en el área de estudio, se empleó el MDT, previamente descrito en el apartado 1.2.1. Este modelo constituye el soporte para la representación de la topografía y para la identificación de las direcciones de escorrentía superficial, especialmente en un entorno urbano donde el drenaje está condicionado tanto por la pendiente natural del terreno como por la infraestructura antrópica.

1.3.1. Generación del modelo de dirección de flujo

A partir del MDT, se generó el modelo de dirección de flujo mediante herramientas de análisis hidrológico SIG, las cuales permiten asignar, a cada celda del modelo de elevaciones, la dirección de escurrimiento dominante hacia la celda vecina de menor cota. Este procedimiento se fundamenta en la topografía local y constituye un elemento base para la comprensión del comportamiento hidrológico superficial del área. El resultado de este análisis se presenta en la Figura 4, donde se observa en color azul la distribución espacial de las direcciones de escorrentía derivadas del relieve.



Figura 4. Dirección de flujo
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

La generación del modelo de dirección de flujo permitió obtener un esquema coherente del drenaje del terreno. Este modelo proporciona una primera aproximación al sentido del flujo

superficial bajo condiciones de escorrentía, puesto que describe el comportamiento del escurrimiento a partir de la superficie del terreno, sirviendo como insumo inicial para el análisis posterior de los patrones de escorrentía y su articulación con la infraestructura urbana.

1.3.2. Identificación de patrones de escorrentía superficial

Una vez obtenido el modelo de dirección de flujo, se identifican de los principales patrones de escorrentía superficial. Este análisis permitió reconocer zonas de convergencia y divergencia del flujo, así como trayectorias de escurrimiento asociadas a la topografía del área de estudio.

En este contexto, se evidenció que, si bien el modelo de dirección de flujo reproduce adecuadamente el comportamiento general del drenaje natural, en sectores urbanos la escorrentía no sigue exclusivamente los gradientes topográficos naturales, sino que es condicionada por la presencia de infraestructura vial, tal como se aprecia en la Figura 5, donde se evidencia la concentración del flujo en la red vial urbana.



Figura 5. Flujo vías
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

El análisis del flujo superficial a partir del MDT permitió establecer una relación directa entre la topografía del área y el funcionamiento del drenaje urbano. En particular, se identificó que las pendientes locales del terreno influyen en la orientación general del flujo, mientras que las calles y corredores urbanos actúan como elementos de canalización superficial, concentrando y transportando el agua de escorrentía.

En este sentido, el análisis evidencia que la respuesta hidrológica del área de estudio no puede interpretarse únicamente a partir de los controles naturales del relieve, sino que está fuertemente condicionada por la configuración del entorno urbano. La interacción entre la topografía y la infraestructura vial define un patrón de escorrentía particular, propio de cuencas urbanas, en el cual los elementos antrópicos modifican y reorganizan el flujo superficial respecto al drenaje natural preexistente.

1.4. Determinación de pendientes y direcciones de flujo en la red vial

La identificación de las calles como parte de la red de transporte de flujo constituye un insumo fundamental para la delimitación de la cuenca urbana, en coherencia con el análisis del flujo superficial derivado del MDT presentado anteriormente. El reconocimiento de las calles como elementos conductores de escorrentía se realizó a partir de un análisis integrado entre la información topográfica y la interpretación visual del ortofotomosaico. Se identificaron aquellas vías que presentan condiciones favorables para el encauzamiento del flujo superficial durante eventos de precipitación.

La ortofoto suministrada como parte de los insumos cartográficos descritos en el apartado 1.2.2, permitió una identificación detallada de la infraestructura vial, incluyendo la traza de las calles, intersecciones y bordillos. Cabe destacar que, si bien se dispone de una imagen más reciente, proveniente de Google Earth (2024), se optó por emplear la ortofoto generada en 2021 debido a que no se identificaron modificaciones significativas en la red vial del área de estudio. Adicionalmente, el uso conjunto de MDT y ortofoto proveniente de una misma fuente institucional garantiza coherencia espacial y facilita la integración de los insumos cartográficos empleados en el análisis.

En la Figura 6 se observa la red vial identificada en la zona de estudio, destacada en tonos grises, insumo que fue fundamental para establecer la continuidad de las calles como corredores preferenciales de escurrimiento superficial.

Desde el punto de vista hidrológico, la inclusión de las calles como parte del sistema de drenaje urbano se justifica en la medida en que estas funcionan como canales superficiales artificiales, que conducen el agua lluvia hacia puntos bajos, sumideros, quebradas urbanas o tramos canalizados

del drenaje natural. En este sentido, las calles no solo reflejan la dirección dominante del flujo superficial, sino que también condicionan la distribución espacial de las áreas aportantes, aspecto que resulta determinante para la delimitación de la cuenca urbana.



Figura 6. Red vial
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

En ese sentido, se procedió a la determinación de las pendientes y direcciones de escorrentía asociadas a cada tramo de calle, con el fin de definir de manera precisa el sentido del flujo superficial dentro del área de estudio.

Este proceso se desarrolló mediante un análisis apoyado en el MDT y en la interpretación visual de la ortofoto de alta resolución. Para cada tramo vial identificado, se evaluó la inclinación longitudinal de la calle, considerando la diferencia de cotas obtenida del MDT entre puntos representativos aguas arriba y aguas abajo del tramo. A partir de esta inclinación, se definió el sentido de la pendiente dominante, el cual condiciona el desplazamiento del flujo superficial sobre los tramos pavimentados.

La dirección de flujo fue asignada mediante la incorporación de flechas de escorrentía, representadas de color azul, las cuales indican el sentido del desplazamiento del agua sobre cada eje vial identificado, tal como se observa en la Figura 7. Este procedimiento permitió integrar de forma directa la información topográfica con la configuración real de la infraestructura urbana.

Adicionalmente, se incorporaron flechas discontinuas que representan las pendientes naturales del terreno que generan aportes difusos hacia la quebrada Machángara, las cuales no corresponden a flujos concentrados sobre calles, sino a escorrentías aferentes que drenan de manera transversal desde áreas adyacentes. De este modo, se diferenciaron los flujos lineales asociados a la red vial de los aportes superficiales provenientes del relieve urbano circundante.



Figura 7. Flujo vías pendientes
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

La combinación del análisis de pendientes derivadas del MDT y la interpretación geomorfológica apoyada en la ortofoto permitió construir una red coherente de direcciones de flujo urbano, consistente con los patrones observados de escorrentía superficial, insumo directo para la delimitación final de la cuenca urbana.

1.5. Delimitación final de la cuenca urbana - zona de estudio

La delimitación final de la cuenca urbana se realizó a partir de la integración de los resultados obtenidos en el análisis del flujo superficial, la identificación de la red vial como sistema conductor de escorrentía y la determinación de las direcciones de flujo sobre las calles, apoyada en la información topográfica y en la interpretación visual de la ortofoto de alta resolución. Este enfoque permitió definir un límite de cuenca coherente con el comportamiento hidrológico propio de un

entorno urbano, donde la escorrentía superficial se encuentra fuertemente condicionada por la urbanización y la infraestructura vial.

Como criterio de delimitación, se consideraron las direcciones de flujo previamente definidas sobre la red de calles, las cuales actúan como conductores preferenciales de la escorrentía superficial. Estas direcciones, definidas a partir de la pendiente longitudinal de cada tramo vial, permitieron establecer los sectores que aportan escorrentía hacia un mismo punto de salida, así como aquellos que drenan hacia sistemas adyacentes, constituyendo los parteaguas urbanos.

La delimitación se realizó mediante un análisis visual detallado, contrastando las direcciones de flujo marcadas sobre la red vial con la disposición espacial de las manzanas, intersecciones y cambios geométricos en el trazado urbano, apoyado permanentemente en la ortofoto. Este procedimiento permitió ajustar el límite de la cuenca siguiendo corredores viales, quiebres de pendiente y cambios en el sentido del flujo.

En la Figura 8 se muestra la cuenca de la quebrada Machángara y las direcciones de escorrentía superficial asociadas, diferenciando en color azul los flujos que aportan al área de estudio y en color amarillo aquellos que drenan hacia el exterior de la cuenca, permitiendo identificar de forma precisa el límite hidrológico del área aportante. En el Anexo 1 se presenta la información cartográfica (shapefiles), de la cuenca de la quebrada Machángara y las direcciones de escorrentía superficial asociadas.

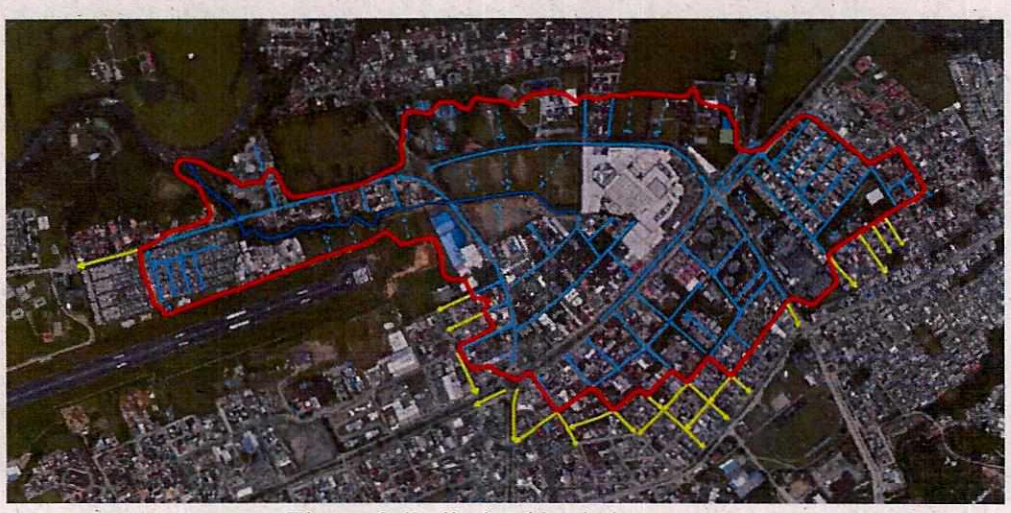


Figura 8. Delimitación de la cuenca
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

En sectores específicos del área de estudio donde no se identificaron calles que permitieran aplicar directamente esta metodología, principalmente en zonas con menor densidad vial o transición hacia áreas no consolidadas, se adoptó como referencia para el límite de la cuenca de análisis, el parteaguas de la cuenca de la quebrada Machángara, delimitado en el marco del estudio desarrollado por la CRC (CRC, 2021). Esta información fue utilizada como criterio auxiliar, garantizando la continuidad hidrológica de la delimitación y la consistencia con el marco de referencia institucional existente.

Como resultado del proceso metodológico desarrollado, en la Figura 9 se presenta de manera independiente la delimitación final de la cuenca hidrográfica de la quebrada Machángara, sin la superposición de los elementos de análisis utilizados en las etapas previas. Esta representación cartográfica permite visualizar con mayor claridad el límite definitivo de la cuenca, definido a partir de la integración del análisis topográfico, la red vial como sistema de escorrentía superficial y los criterios hidrológicos adoptados. La cuenca resultante constituye el ámbito espacial sobre el cual se desarrollará el proceso de división de las subcuencas.



Figura 9. Cuenca Machángara
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Como complemento al proceso de delimitación del área de estudio, se realizó una comparación entre la cuenca urbana definida en el presente estudio y la cuenca de la quebrada Machángara

delimitada en el estudio (CRC, 2021). Se observó que la cuenca obtenida mediante el análisis del flujo superficial urbano presenta una mayor extensión espacial, incorporando un número superior de unidades urbanas (manzanas), las cuales, de acuerdo con la dirección de las pendientes y la red vial analizada, aportan escorrentía superficial hacia el cauce de la quebrada.

Es importante destacar que, a partir de la delimitación del área de estudio definida, se desarrollan los análisis climatológicos e hidrológicos posteriores, así como los análisis hidráulicos que aportaran insumos necesarios para establecer la ronda hídrica de la quebrada Machángara

1.6. Delimitación de subcuencas

Con base en la delimitación final de la cuenca definida en el apartado 1.5, se procedió a la subdivisión del área de estudio en subcuencas, con el propósito de representar de manera más detallada la organización espacial de los aportes superficiales, desagregando el área aportante en unidades hidrológicas menores que permitan una mejor representación espacial de los procesos de escorrentía superficial y facilitar los análisis hidrológicos e hidráulicos posteriores.

La delimitación de las subcuencas se realizó considerando la estructura del drenaje superficial urbano, definida previamente a partir de la red vial, las direcciones de escorrentía asignadas y la topografía representada en el MDT. De este modo, cada subcuenca representa un área aportante diferenciada, asociada a trayectorias de flujo claramente identificables dentro del sistema urbano.

El proceso de subdivisión tuvo en cuenta los puntos de convergencia del flujo superficial, ya sea hacia tramos específicos de la quebrada Machángara o hacia sectores donde la escorrentía se concentra a lo largo de la red vial. Asimismo, se respetaron los parteaguas urbanos definidos por cambios en la pendiente del terreno y por la configuración de la infraestructura existente, garantizando la coherencia hidrológica de cada unidad delimitada.

Como resultado, se obtuvo un conjunto de dieciséis (16) subcuencas que permiten desagregar espacialmente la cuenca urbana en unidades funcionales de drenaje, adecuadas para el análisis de variables hidroclimatológicas y para la posterior evaluación hidrológica, así como para la evaluación de la dinámica de escorrentía asociada a eventos de precipitación en el área de estudio.

La delimitación final de las subcuencas se presenta en la Figura 10, donde se observa en color rojo su distribución espacial dentro de la cuenca urbana definida para la quebrada Machángara. En el Anexo 1, se presenta la información cartográfica (shapefile), de las subcuencas definidas.



Figura 10. Subcuencas Machángara
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

La delimitación de la cuenca y su posterior división en subcuencas definen el marco espacial definitivo del estudio, sobre el cual se desarrollan los análisis hidroclimatológicos e hidrológicos subsiguientes. A partir de esta base espacial, se procede con la caracterización climatológica del área de estudio, orientada a la evaluación de las variables que controlan la generación de escorrentía superficial en la cuenca definida para la quebrada Machángara.

2. Revisión y Análisis de Información Hidroclimatológica

Con el fin de llevar a cabo la caracterización hidroclimatológicas de la zona de estudio, se adelantaron actividades de análisis y procesamiento de la información que se emplea en las estimaciones de las diferentes variables analizadas (temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar). A continuación, se presenta el análisis de la información empleada en la caracterización hidroclimática de la cuenca objeto de estudio.

2.1. Estaciones Hidroclimatológicas

La información hidroclimatológicas empleada en el desarrollo del presente trabajo, se obtuvo de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo del Instituto de Hidrología Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM). Con el fin de tener un cubrimiento total de la cuenca en estudio, se analizó la información de 19 estaciones hidroclimatológicas ubicadas en el departamento del Cauca, distribuidas entre los municipios de Popayán, Puracé, El Tambo, Cajibío, Totoró, Sotara y Timbio. En la Figura 11 se muestra la ubicación de las estaciones seleccionadas para el análisis Hidroclimatológico de la zona de estudio.

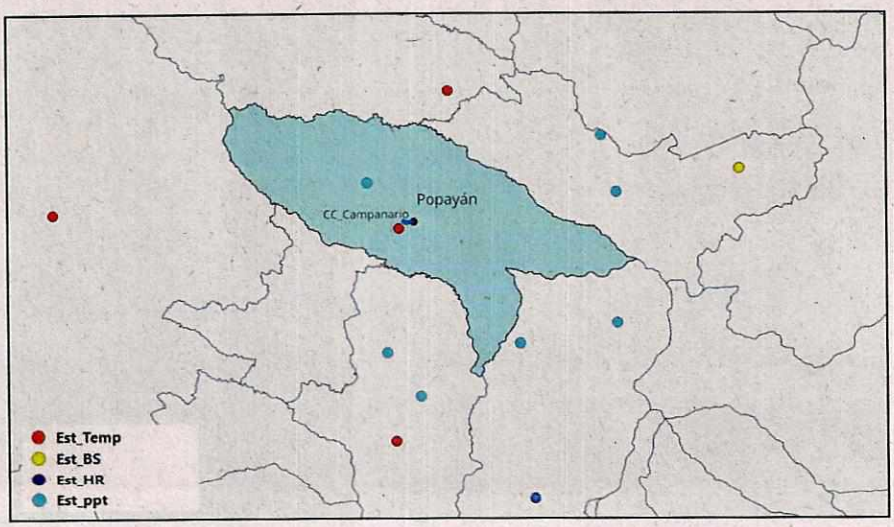


Figura 11. Estaciones hidroclimatológicas analizadas
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Dentro de las estaciones hidroclimatológicas seleccionadas se tienen 6 estaciones Climatológicas Ordinaria (CO), 1 estaciones Climatológicas Principal (CP) y 12 estaciones Pluviométricas (PM), tal como se presenta en la Tabla 1, donde se observa que, se cuenta con la información de 15 estaciones para realizar la caracterización y análisis de las precipitaciones, 5 estaciones para realizar la caracterización y análisis de la humedad relativa, 6 estaciones para realizar la caracterización y análisis del brillo solar y 6 estaciones para realizar la caracterización y análisis de temperaturas.

Tabla 1. Estaciones hidroclimatológicas analizadas

Clase	Nombre	Código	Variable Analizada	Municipio	Fecha Inicio de Registro	latitud	longitud
PM	SATE	26020180	Precipitación	Popayán	15/05/1970	2.49	-76.63
PM	CAMP CEDELCA	26020440	Precipitación	Popayán	15/02/1970	2.46	-76.66
PM	JULUMITO ALERTAS	26030100	Precipitación	Popayán	15/05/1979	2.48	-76.61
PM	BODEGA CEDELCA	26020050	Precipitación	Popayán	15/03/1952	2.48	-76.58
CP	AEROPUERTO G L VALENCIA	26035030	Precipitación - Temperatura - Humedad relativa - Brillo solar	Popayán	15/06/1941	2.452	-76.60
PM	LOMA REDONDA	26010050	Precipitación	Puracé	15/10/1969	2.36	-76.36
PM	LAGUNA SAN RAFAEL	26010070	Precipitación	Puracé	15/02/1970	2.38	-76.38
CO	PALETARA	26015020	Temperatura - Humedad relativa - Brillo solar	Puracé	15/04/1971	2.19	-76.48
PM	COCONUCO	26010020	Precipitación	Puracé	15/11/1946	2.34	-76.49
PM	TERMALES PILIMBALA	26020320	Precipitación	Puracé	15/10/1970	2.36	-76.40
CO	CARPINTERIAS HACIENDA	26035070	Temperatura - Brillo solar	El Tambo	15/08/1992	2.46	-76.93
CO	MUNCHIQUE	26035020	Temperatura - Brillo solar	El Tambo	15/04/1971	2.51	-76.96
CO	VENTA DE CAJIBIO	26025090	Precipitación - Temperatura - Humedad relativa - Brillo solar	Cajibío	15/11/1972	2.58	-76.56
PM	TOTORO	26020130	Precipitación	Totoró	15/10/1985	2.54	-76.41
PM	POLINDARA	26020460	Precipitación	Totoró	15/10/1984	2.48	-76.40
CO	GABRIEL LOPEZ	26025070	Humedad relativa - Brillo solar	Totoró	15/04/1971	2.50	-76.28
PM	SALINAS	52010150	Precipitación	Sotara	15/06/1990	2.29	-76.58

Clase	Nombre	Código	Variable Analizada	Municipio	Fecha Inicio de Registro	latitud	longitud
CO	PAISPAMBA	52015010	Precipitación - Temperatura - Humedad relativa - Brillo solar	Sotara	15/06/1994	2.24	-76.61
PM	SALADITO	52010110	Precipitación	Timbio	15/11/1990	2.33	-76.62

Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

2.2. Análisis de la información

A partir del análisis de la disponibilidad y continuidad de los registros de las estaciones meteorológicas, y considerando los periodos comunes con mayor cobertura temporal entre las variables analizadas, se definieron los intervalos de estudio para la caracterización hidroclimática. En este sentido, se definió un periodo común de análisis comprendido entre los años 1994 y 2024; este intervalo, correspondiente a 31 años de registros, fue adoptado para el análisis de las series de precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar, asegurando homogeneidad en la comparación y análisis conjunto de las variables climatológicas.

Con base en la revisión de la disponibilidad de la información registrada por las estaciones meteorológicas identificadas en la Tabla 1. Estaciones hidroclimatológicas analizadas, se realizó un proceso de depuración de la base de datos, mediante el cual se descartaron aquellas estaciones que presentaban una cobertura temporal insuficiente o discontinuidades significativas en sus registros, para garantizar la representatividad temporal de las series analizadas y reducir la incertidumbre asociada al uso de información incompleta.

Las estaciones excluidas del análisis para cada variable se presentan en la Tabla 2, la cual resume el proceso de depuración aplicado previo al análisis estadístico. Como resultado de este proceso, se aseguró que las estaciones finalmente seleccionadas contaran con un volumen de datos adecuado y con periodos de registro consistentes, a partir de los cuales se procedió con el análisis estadístico de las series climatológicas.

Tabla 2. Estaciones descartadas.

Variable	Estación Descartadas
precipitación	Camp Cedelca
	Julumito Alertas
	Bodega Cedelca

Variable	Estación Descartadas
	Loma Redonda
	Laguna San Rafael
Temperatura	Paletera
	Muchique
Humedad relativa	Paletera
Brillo solar	Carpinterías Hacienda
	Muchique
	Paletera

Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Una vez definidos los periodos de registro y de obtener las series para cada una de las variables, se analiza la información de datos faltantes. Mediante el software R, el cual se emplea para el análisis estadístico, se llevó a cabo una identificación de los datos faltantes en las estaciones analizadas. En la Figura 12, se observan los datos de los periodos de registro de precipitación diaria de cada estación marcados en color azul y en color rojo se presentan los datos faltantes.

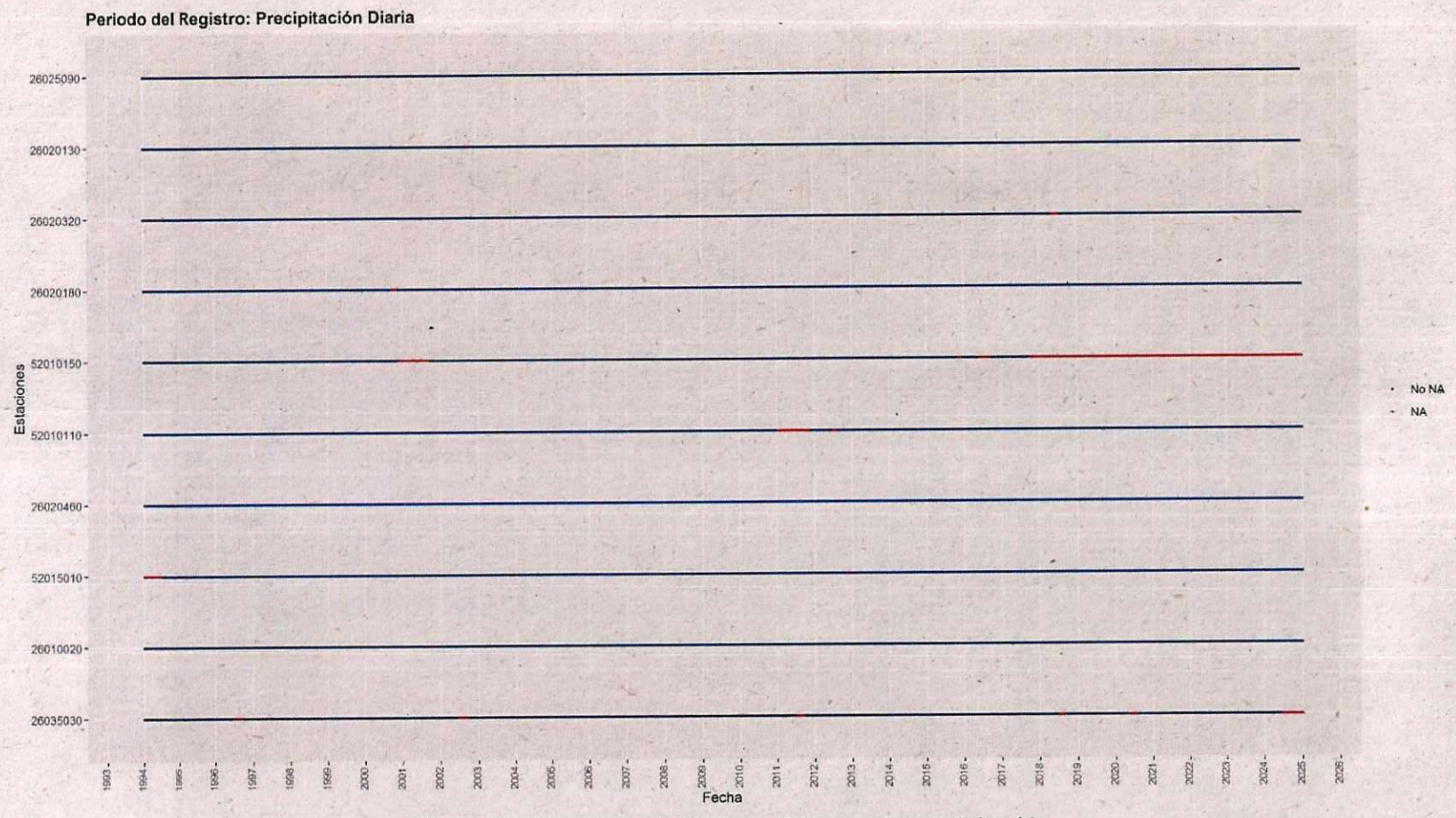


Figura 12. Identificación de datos faltantes de precipitación
Fuente: Resultados obtenidos mediante el software R

La estación Salinas [52010150], presenta el mayor porcentaje de datos faltantes con 28.36%, resaltando que, este porcentaje es significativamente superior al registrado en el resto de las estaciones analizadas, y es además la única estación que presenta más de un 10% de datos faltantes, tal como se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de datos faltantes de precipitación

Estación	Datos Totales	Datos Registrados	Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
Aeropuerto G L Valencia	11323	10369	954	8.43
Sate	11323	11142	181	1.60
Venta De Cajibío	11323	11218	105	0.93
Coconuco	11323	11314	9	0.08
Termales Pilimbala	11323	11193	130	1.15
Paispamba	11323	11069	254	2.24
Salinas	11323	8112	3211	28.36
Saladito	11323	10793	530	4.68
Polindara	11323	11305	18	0.16
Totoró	11323	11289	34	0.30

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Con respecto a la temperatura, en la Figura 13 se observan los datos de los periodos de registro de temperatura diaria de cada estación marcados en color azul y en color rojo se presentan los datos faltantes, donde se puede observar que la estación Carpinterías Hacienda [26035070] presenta la mayor cantidad de datos faltantes.

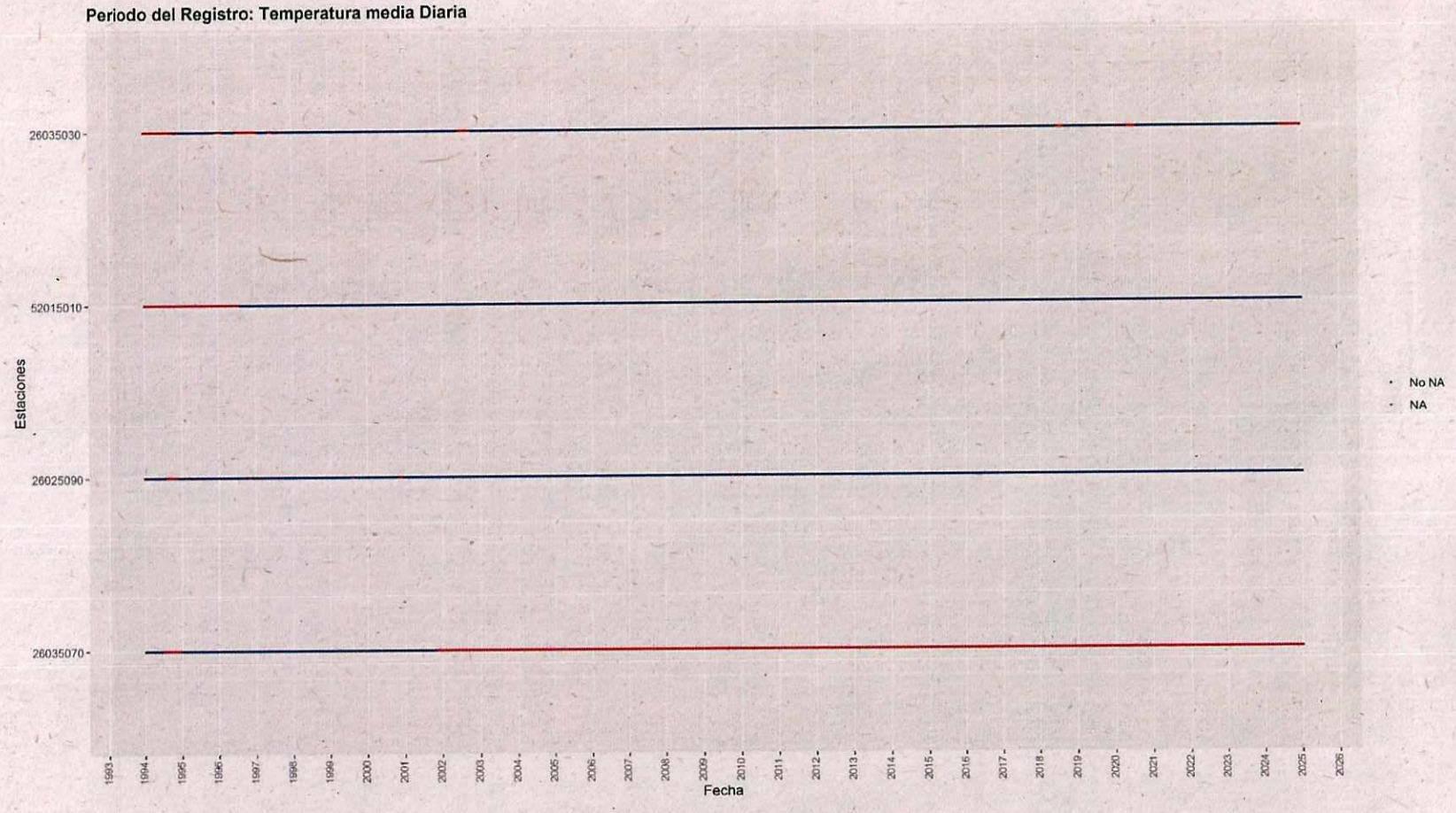


Figura 13. Identificación de datos faltantes de Temperatura
Fuente: Resultados obtenidos mediante el software R

En la Tabla 4, se muestran los porcentajes de datos faltantes de las series de temperatura, donde la estación Carpinterías Hacienda presenta un 76.74% de datos faltantes, mientras que el resto de las estaciones presentan un porcentaje de datos faltantes por debajo del 20%.

Tabla 4. Porcentaje de datos faltantes de temperatura

estación	Datos Totales	Datos Registrados	Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
Aeropuerto G L Valencia	11323	9608	1715	15.14
Venta De Cajibío	11323	10753	570	5.03
carpinterías Hacienda	11323	2634	8689	76.73
Paispamba	11323	10077	1246	11.00

Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Los registros de datos faltantes de humedad relativa y brillo solar de las estaciones seleccionadas para estas variables se presentan en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente. Con respecto a humedad relativa se puede evidenciar que las estaciones presentan porcentajes de datos faltantes inferior al 25%, con excepción de la estación Gabriel Lopez, que presenta un 25.14% de datos faltantes.

En el Anexo 2 se presentan las gráficas de identificación de datos faltantes de brillo solar y humedad relativa. Teniendo en cuenta lo anterior, para el análisis de esta variable, se emplean los registros de las estaciones Venta de Cajibío, Aeropuerto GL Valencia y Paispamba, descartando la estación Gabriel Lopez, debido al porcentaje de datos faltantes.

Tabla 5. Porcentaje de datos faltantes de humedad relativa

Estación	Datos Totales	Datos Registrados	Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
Venta De Cajibío	11323	10517	806	7.12
Aeropuerto G L Valencia	11323	8982	2341	20.67
Paispamba	11323	9735	1588	14.02
Gabriel Lopez	11323	8476	2847	25.14

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Con respecto al brillo solar, en la Tabla 6 se puede observar que las estaciones seleccionadas presentan un porcentaje de datos faltantes menor al 30%, sin embargo, al igual que en el caso de la humedad relativa, Gabriel Lopez es la estación que presenta un porcentaje mayor con respecto al resto de estaciones, alcanzando un 30.42% de datos faltantes, por lo que en ambos casos se descarta la estación para los análisis correspondientes.

Tabla 6. Porcentaje de datos faltantes de brillo solar

Fecha	Datos Totales	Datos Registrados	Datos Faltantes	% de Datos Faltantes
Venta De Cajibío	11323	9447	1876	16.57
Aeropuerto G L Valencia	11323	9944	1379	12.18
Gabriel Lopez	11323	7878	3445	30.42

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

2.3. Análisis Estadístico

A partir de los datos de las variables hidroclimatológicas de las estaciones seleccionadas, se desarrolla una estadística descriptiva de las series, mediante el cual se realiza una validación de la información de las estaciones, que permitió identificar tendencias de los datos que pudieran indicar la homogeneidad de los registros.

El análisis estadístico se desarrolla de manera detallada para las variables de precipitación y la temperatura, dado que estas constituyen insumos prioritarios para los análisis hidrológicos posteriores y para la definición de la ronda hídrica. En consecuencia, sobre estas series se realiza una evaluación estadística más completa, orientada a caracterizar su comportamiento y consistencia temporal.

En el caso del brillo solar y la humedad relativa, el tratamiento se limita a la revisión de los registros disponibles, la identificación de datos faltantes y la cuantificación de su porcentaje ya presentado, sin profundizar en un análisis estadístico detallado de sus series.

2.3.1. Precipitación

El análisis estadístico para las series de precipitación se desarrolló a partir de los registros diarios de las estaciones seleccionadas en la zona de estudio. Para ello, se determinaron medidas de tendencia central como la media y la mediana, medidas de variabilidad como la desviación estándar y el coeficiente de variación, adicionalmente se calcularon el coeficiente de asimetría y la curtosis. Los resultados estadísticos obtenidos para, las series de precipitación de las estaciones seleccionadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos series diarias de precipitación (1994 -2024)

Estación	Media (mm)	Mediana (mm)	Max (mm)	Min (mm)	desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis	Coeficiente de asimetría
Coconuco	4.52	0	98	0	8.31	183.79	11.71	2.88
Polindara	3.96	0	101	0	8.96	226.28	13.94	3.35
Totoró	4.73	0	89	0	9.55	201.92	10	2.84
Paispamba	5.24	0.2	100	0	10.33	197.01	10.79	2.93
Venta De Cajibío	6.18	0.8	128.9	0	11.57	187.16	13.05	3.09
Termales Pilimbala	4.45	1.8	115	0	7.51	168.91	26.55	3.86
Sate	6.28	0	114	0	12.29	195.69	10.55	2.94
Saladito	4.98	0	103.9	0	9.52	191.12	13.26	3.11
Salinas	5.23	0	98	0	10.3	197.01	11.61	2.97
Aeropuerto GL Valencia	6.24	0.9	105	0	11.56	185.27	11.61	3.01

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Teniendo en cuenta los estadísticos de las series analizadas, se observa que los valores medios de precipitación oscilan entre 3 y 6 mm. Es importante destacar que, los valores de la media son influenciados por los datos extremos, debido a lo anterior, se presentan los valores de la mediana de las series, el propósito de la mediana de la muestra es reflejar la tendencia central de la muestra de manera que no sea influida por los valores extremos (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012).

Como se observa en la Tabla 7, los valores de media son mayores a los valores de la mediana, indicando que las series presentan una distribución sesgada con cola hacia la derecha (hacia las magnitudes mayores de precipitación) y concentración de magnitudes menores hacia el lado izquierdo.

Con respecto a la variabilidad de los datos, se estimó la desviación estándar de la serie y el coeficiente de variación, mediante los cuales se establece la dispersión de los datos. Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que las series presentan dispersiones que oscilan entre el 160% y 230%, siendo la estación Polindara la que presenta mayor dispersión de los datos (226.28%), mientras que la estación Termales Pilimbala presenta la menor dispersión de los datos (168.91%).

Estos valores elevados se deben a la considerable variabilidad en los datos, dado que la mayoría de los días presentan precipitaciones nulas, mientras que algunos días experimentan lluvias intensas. Esta disparidad resulta en una media baja y en una notable dispersión en torno a ella, lo cual se manifiesta en una desviación estándar alta, indicando una variabilidad significativa en los patrones de precipitación.

Con respecto a la curtosis, mediante la cual se evalúa el agrupamiento de los datos en cuanto al valor central de la distribución, denominándose mesocúrtica cuando presenta un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable (curtosis = 0), leptocúrtica, cuando presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable (curtosis > 0) y platicúrtica, cuando presenta un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable (curtosis <0), se resalta que las series de datos presentan valores positivos, indicando una distribución leptocúrtica, con un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

El coeficiente de asimetría indica la simetría en la distribución de los datos, los cuales podrían presentar asimetría a la derecha (o positiva), a la izquierda (o negativa) o podrían presentar una distribución perfectamente simétrica, donde los valores de media aritmética, mediana y moda coinciden (Gorgas, Cardiel, & Zamorano, 2011). Para el caso de las series de datos de las estaciones en estudio, se observa coeficientes de asimetría positivos, indicando que la distribución de los datos de precipitaciones presenta asimetría hacia la

derecha, confirmando la relación entre la media y la mediana de las series, donde se evidencia un sesgo de los datos a la derecha.

Con el fin de confirmar los resultados obtenidos a parir del análisis numérico de las series de precipitación, se desarrolla un análisis gráfico de los datos, mediante la construcción de histogramas de frecuencia y diagramas de caja. Es importante destacar que, mediante los análisis gráficos se puede evidenciar, de manera visual, la distribución de los datos y ayudan a comprender la naturaleza de la población, permitiendo identificar si se presenta una distribución normal.

En la Figura 14, se presentan los histogramas de frecuencia de las series de precipitación, se puede evidenciar que las series no presentan una distribución simétrica y que en todos los casos se presentan series sesgadas a la derecha, confirmando los resultados del análisis numérico que también indican un sesgo a la derecha (datos de la media mayores a la mediana y coeficientes de asimetría positivos). Adicionalmente, las gráficas permiten evidenciar que la estación que presenta un mayor rango corresponde a la estación Termales Pilimbala [26020320], con datos de 0 a 120 mm. Es importante destacar que, el sesgo o cola hacia la derecha de los histogramas significa baja recurrencia de valores atípicos o extremos.

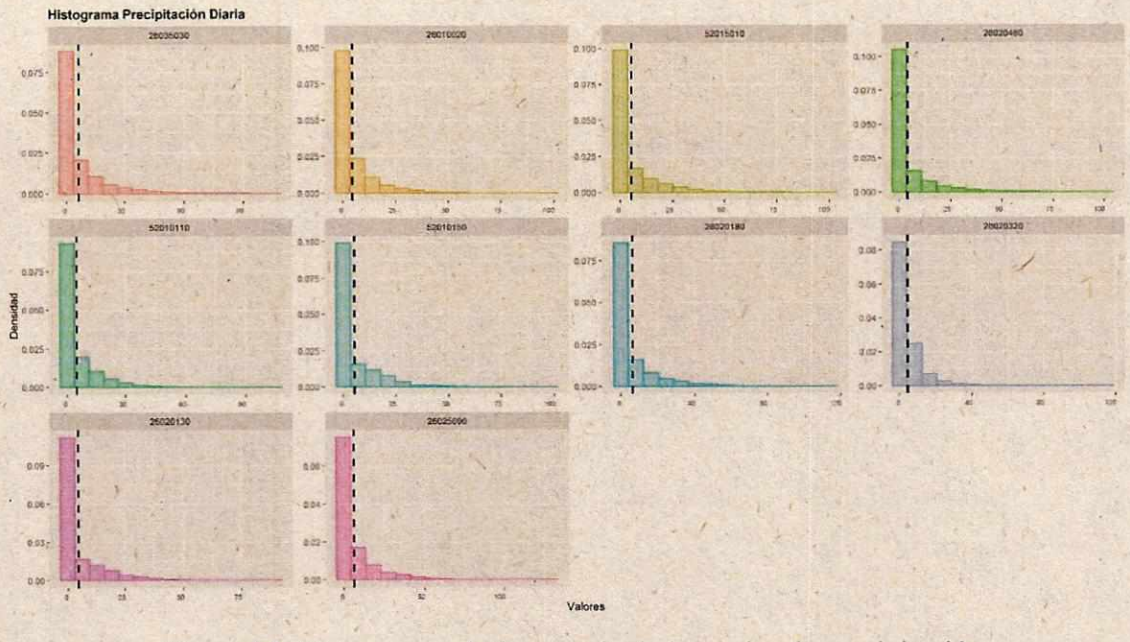
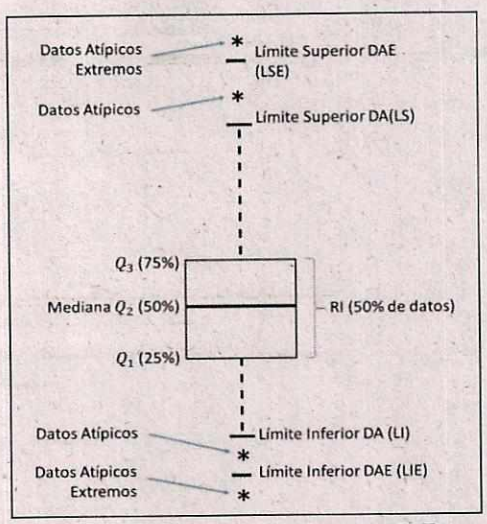


Figura 14. Histogramas de frecuencia de las series de precipitación
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

El diagrama de caja permite reflejar las propiedades de una muestra, el diagrama encierra el rango intercuartil de los datos en una caja que contiene la mediana representada. El rango intercuartil tiene como extremos el percentil 75 (cuartil superior) y el percentil 25 (cuartil inferior), además de la caja se prolongan "bigotes", que indican las observaciones alejadas en la muestra. Para muestras razonablemente grandes la presentación indica el centro de localización, la variabilidad y el grado de asimetría (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012).

Es importante destacar que, una variación de la caja permite ofrecer información respecto de cuales observaciones son extremos. En la Figura 15, se describe la metodología para la elaboración de los diagramas de caja, donde se incluyen, adicional a los percentiles, los posibles datos extremos o atípicos que se pueden presentar en las series de precipitación de las estaciones seleccionadas.



$$LS = Q_3 + 1.5 * RI \quad \text{Ecuación 1}$$
$$LSE = Q_3 + 3 * RI \quad \text{Ecuación 2}$$
$$LI = Q_1 - 1.5 * RI \quad \text{Ecuación 3}$$
$$LIE = Q_1 - 3 * RI \quad \text{Ecuación 4}$$
$$RI = Q_3 - Q_1 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde
LS: Límite superior de datos atípicos
LSE: Límite superior de datos atípicos Extremos
LI: Límite Inferior de datos atípicos
LIE: Límite Inferior de datos atípicos Extremos
RI: Rango intercuartil
Q_1: Cuartil 1 o Percentil 25
Q_3 : Cuartil 3 o Percentil 75

Figura 15. Descripción del diagrama de caja
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

En la Figura 16, se presentan los diagramas de caja para las series de precipitación diaria de las estaciones seleccionadas. Teniendo en cuenta que, los rangos intercuartiles (RI), presentan la dispersión de los datos y se representan con la amplitud de las cajas, se observa que las estaciones con RI más amplios corresponden a las estaciones Aeropuerto GL

Valencia, Paispamba y Venta de Cajibío, mientras que las estaciones que presentan menores RI corresponden a Salinas y Totoró.

Los bigotes de las cajas, al igual que los RI, reflejan la dispersión de los datos, un bigote más corto implica una mayor concentración de los datos. Los bigotes inferiores representan la dispersión de las precipitaciones de magnitud menor a la media, mientras que los bigotes superiores representan la dispersión de las precipitaciones de magnitud mayor a la media. La estación que presenta los bigotes inferiores más cortos corresponde a Totoró, indicando que sus precipitaciones con valores inferiores a la mediana se encuentran más concentrados. Con respecto a los bigotes superiores, la estación Venta de Cajibío presenta los bigotes más largos, indicando mayor dispersión en los valores por encima de la media.

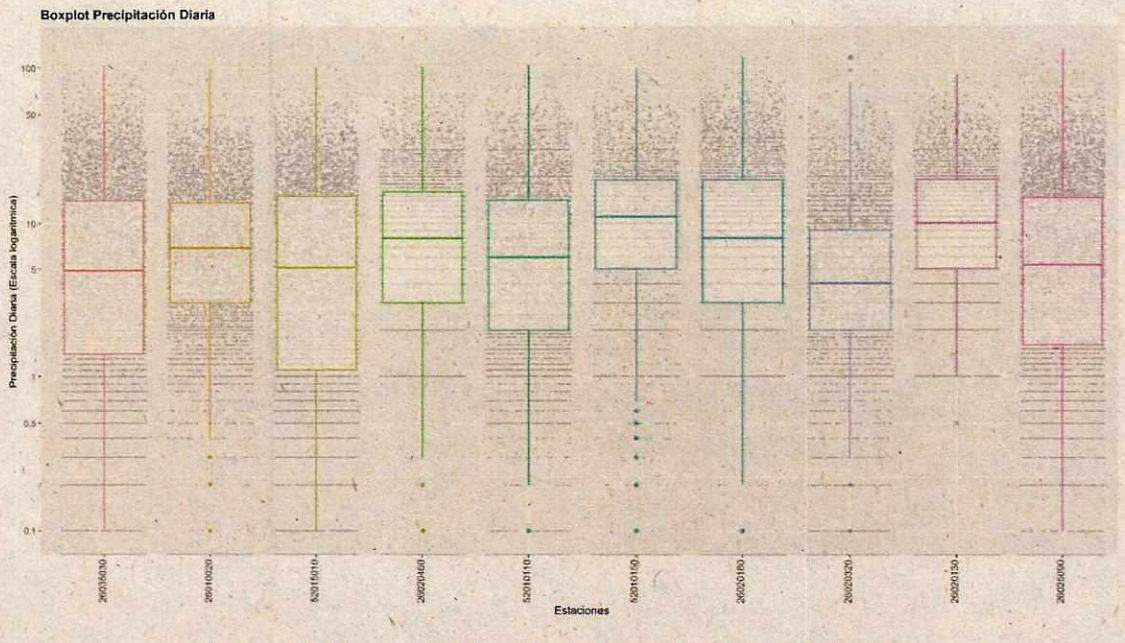


Figura 16. Diagramas de caja de las series de precipitación
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Como se indica anteriormente, los diagramas de caja permiten visualizar el comportamiento de registros atípicos o extremos. En la Figura 16, se pueden evidenciar los valores extremos para las series de las diferentes estaciones analizadas. Es importante destacar que, los valores atípicos, como se indica en la Figura 15, pueden corresponder a datos atípicos o datos atípicos extremos.

Una vez establecido que las series no presentan una distribución normal, se desarrollan curvas de doble masa, ampliamente usada para evaluar la consistencia de las observaciones a lo largo del tiempo. Para ello, se compara la serie de estudio con una serie patrón que no presente ningún problema de homogeneidad, tendencia o cambio (Castro & Carvajal Escobar, 2010).

Como ejemplo, en la Figura 17 se presentan las curvas de doble masa para las estaciones Venta de Cajibío [26025090] y Paispamba [52015010], donde se pueden evidenciar comportamientos consistentes de las series de los datos analizados. En el Anexo 2, se presentan las curvas de doble masa desarrolladas para todas las estaciones, resaltando que, en todas se evidencia un comportamiento consistente de los datos.

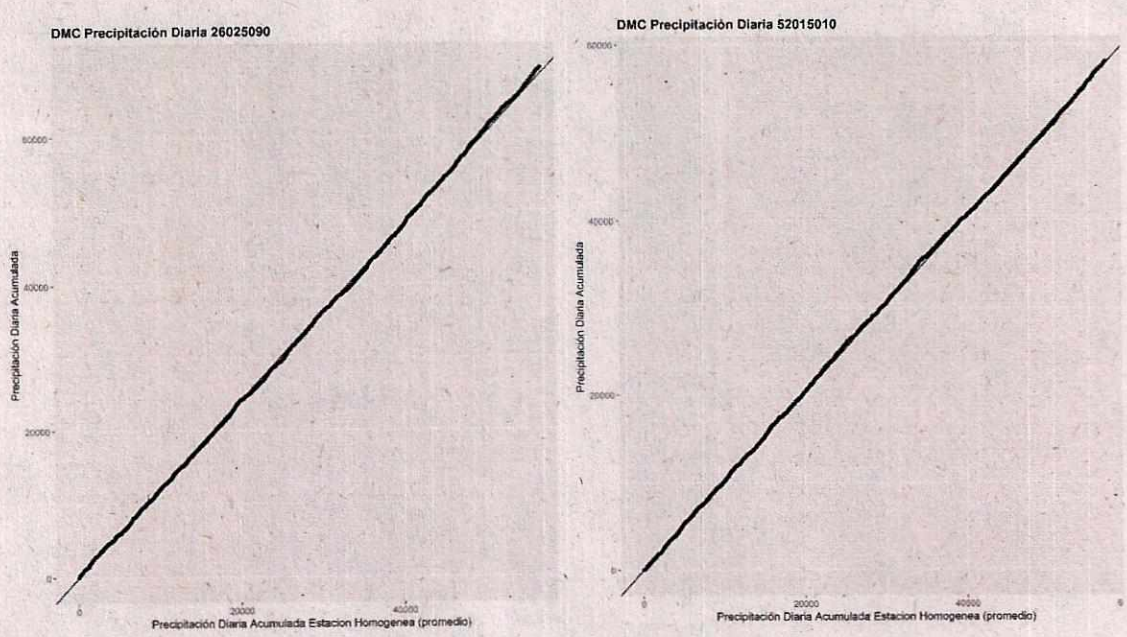


Figura 17. Análisis de doble masa (estaciones Venta de Cajibío y Paispamba)
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Una vez analizadas las series de datos, de identificar los datos faltantes y seleccionadas las estaciones de precipitación, se completan los registros, empleando la versión 1 del software Suemulador, el cual es una herramienta de simulación de clima que se basa en un proceso estocástico que usa cadenas de Markov de grado 2, alimentado con índices de oscilación del niño (Riaño, y otros, 2015).

La herramienta Suemulador se emplea para suplir los datos faltantes de las series climáticas de las estaciones meteorológicas ubicadas en zonas ecuatoriales (Chica, Peña, Giraldo, Obando, & Riaño, 2014), tal como se observa en la Figura 18, Donde se ilustra el resultado del proceso de completación de datos para una de las estaciones analizadas, donde se aprecia la continuidad de la serie una vez incorporados los registros simulados. De manera complementaria, en el Anexo 2 se presentan las gráficas correspondientes a la totalidad de las estaciones y los registros de datos diarios completos.

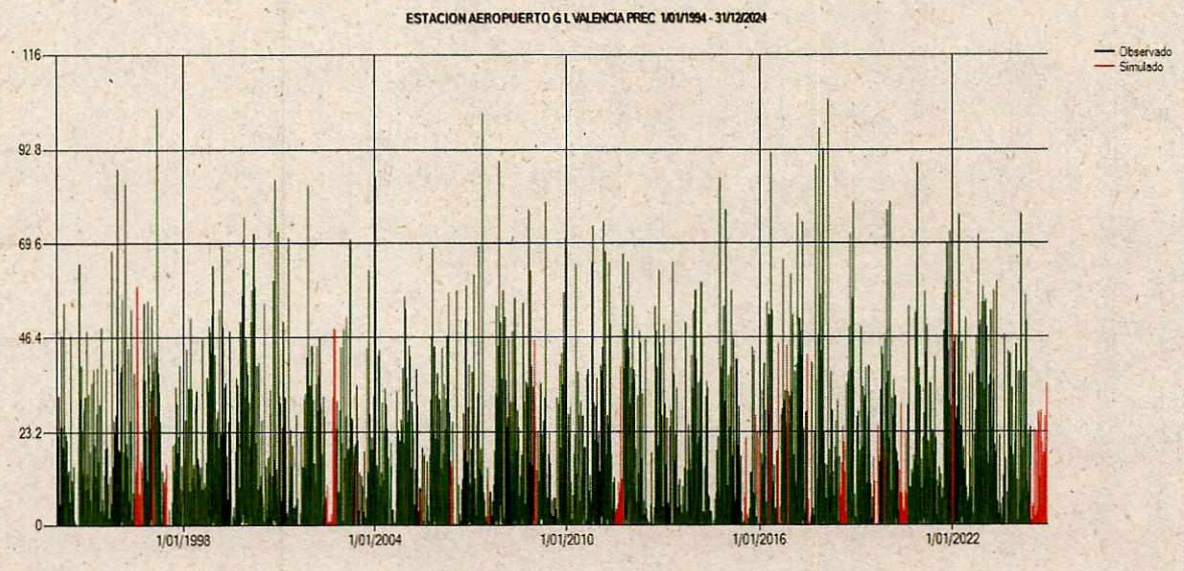


Figura 18. Datos de precipitación completado estación Aeropuerto GL Valencia

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

2.3.2. Temperatura

El análisis estadístico para las series de temperatura se desarrolló se desarrolló a partir de los registros diarios de las estaciones seleccionadas en la zona de estudio. Para ello, se determinaron medidas de tendencia central como la media y la mediana, medidas de variabilidad como la desviación estándar y el coeficiente de variación, adicionalmente se calcularon el coeficiente de asimetría y la curtosis. Los resultados estadísticos obtenidos para las series de temperatura de las estaciones seleccionadas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos series diarias de temperatura (1994 -2024)

Estación	Media (°C)	Mediana (°C)	Max (°C)	Min (°C)	desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis	Coeficiente de asimetría
Paispamba	14.09	14.05	18.03	10.97	1.14	8.08	-0.28	0.22
Venta De Cajibío	18.5	18.4	25.05	14.35	1.32	7.12	0.19	0.47
carpinterías Hacienda	13.94	13.85	18.65	10.6	1.07	7.67	-0.02	0.38
Aeropuerto G L Valencia	19.57	19.45	24.95	15.15	1.43	7.32	-0.32	0.29

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Teniendo en cuenta los estadísticos de las series analizadas, se observa que los valores medios de Temperatura oscilan entre 14 y 19 °C. Como se observa en la Tabla 8, los valores de la media son ligeramente superiores a los de la mediana, lo que indica que las series presentan una distribución cercana a la simetría, con un sesgo débil hacia la derecha. Este comportamiento sugiere una distribución relativamente equilibrada de los valores térmicos, sin predominio marcado de valores extremos, siendo la media representativa del régimen térmico del área de estudio.

Con respecto a la variabilidad de los datos analizados, se estimó la desviación estándar de la serie y el coeficiente de variación, mediante los cuales se establece la dispersión de los datos. Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que las series presentan dispersiones que oscilan entre el 7% y 8%, siendo la estación Paispamba la que presenta mayor dispersión de los datos (8.08%), mientras que la estación Venta de Cajibío presenta la menor dispersión de los datos (7.12%).

Los valores de variabilidad observados en la temperatura son significativamente menores en comparación con la precipitación, lo cual se explica por el carácter más estable y continuo de esta variable. A diferencia de la precipitación, la temperatura no presenta valores nulos ni eventos extremos aislados de alta magnitud, sino fluctuaciones graduales en el tiempo. En consecuencia, la media resulta representativa del comportamiento térmico del área de estudio y la dispersión en torno a ella es reducida, reflejándose en desviaciones estándar relativamente bajas y en una menor variabilidad de los registros.

Con respecto a la curtosis, la cual evalúa el grado de agrupamiento de los datos alrededor del valor central de la distribución, se observa que, en la mayoría de las estaciones analizadas, las series de temperatura presentan valores negativos, lo que indica distribuciones platicúrticas, caracterizadas por un menor grado de concentración en torno a los valores centrales de la variable. Este comportamiento es consistente con la naturaleza más homogénea y continua de la temperatura. No obstante, se identifica que la estación Venta De Cajibío presenta un valor positivo de curtosis, evidenciando una distribución leptocúrtica, asociada a una mayor concentración de los registros alrededor del valor medio.

Los coeficientes de asimetría obtenidos para las series de datos de las estaciones en estudio son positivos, aunque de baja magnitud, lo que indica la presencia de una ligera asimetría hacia la derecha. No obstante, los valores cercanos a cero sugieren que las distribuciones pueden considerarse aproximadamente simétricas, confirmando que el sesgo observado es leve y consistente con la reducida diferencia entre la media y la mediana de las series.

Con el fin de confirmar los resultados obtenidos a parir del análisis numérico de las series de Temperatura, se desarrolla un análisis gráfico de los datos, mediante la construcción de histogramas de frecuencia y diagramas de caja. Es importante destacar que, mediante los análisis gráficos se puede evidenciar, de manera visual, la distribución de los datos y ayudan a comprender la naturaleza de la población, permitiendo identificar si se presenta una distribución normal.

En la Figura 19, se presentan los histogramas de frecuencia de las series de temperatura, se evidencia que estos presentan distribuciones más cercanas a la simetría, sin sesgos marcados hacia alguno de los extremos. Este comportamiento concuerda con los resultados del análisis estadístico, en el cual los valores de la media y la mediana son similares y los coeficientes de asimetría se aproximan a cero, indicando una distribución relativamente equilibrada de los datos. Adicionalmente, las gráficas permiten evidenciar que la estación que presenta un mayor rango corresponde a la estación Aeropuerto G L Valencia [26035030], con datos de 15 a 26 °C.

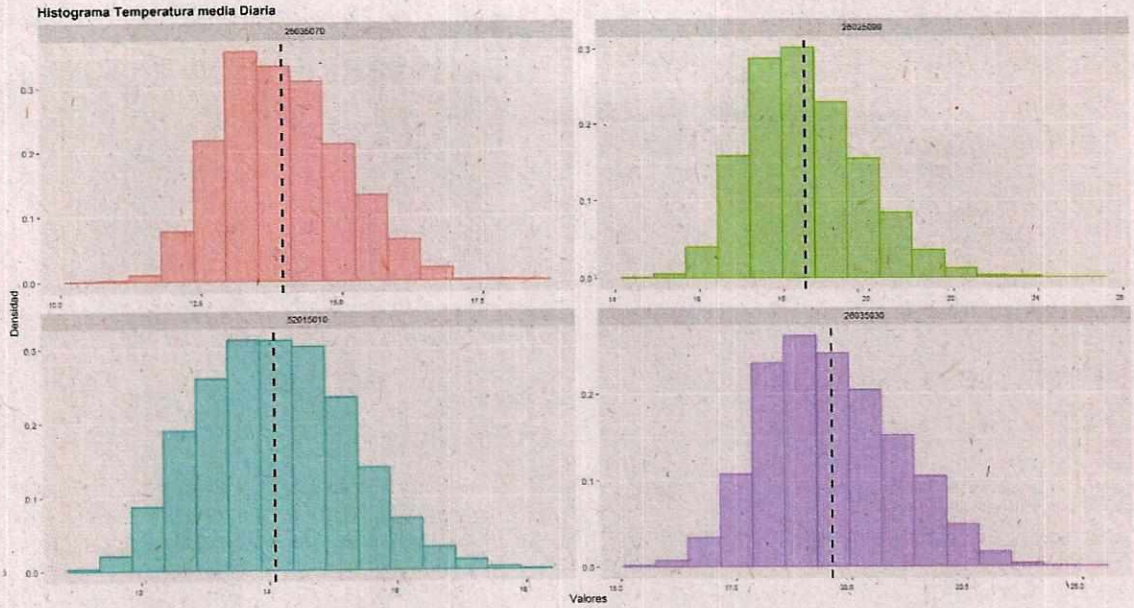


Figura 19. Histogramas de frecuencia de las series de Temperatura
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

En la Figura 20, se presentan los diagramas de caja para las series de Temperatura de las estaciones seleccionadas. Si bien se observan diferentes datos extremos (máximos y mínimos), en las estaciones, se evidencian que estos se encuentran dentro de un rango aceptable para el comportamiento de la temperatura en la zona de estudio, por lo tanto, todas las series de temperatura media se emplean en los diferentes análisis realizados.

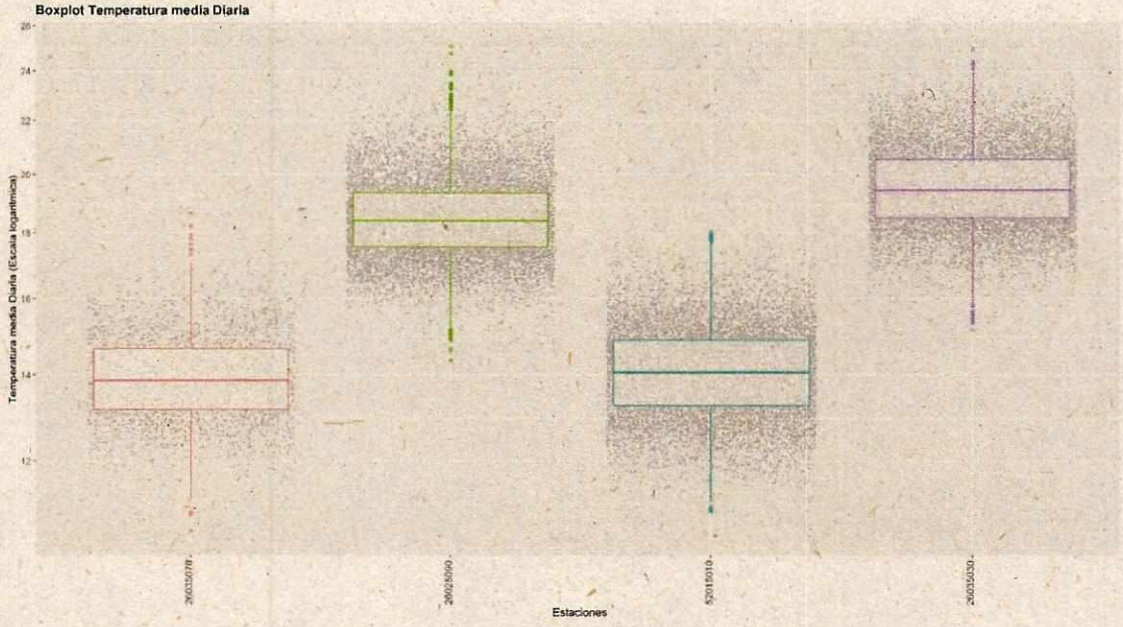


Figura 20. Diagramas de caja de las series de Temperatura
Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

Como se indica anteriormente, los diagramas de caja permiten visualizar el comportamiento de registros atípicos o extremos. En la Figura 20, se pueden evidenciar los valores extremos para las series de las diferentes estaciones analizadas. Es importante destacar que, los valores atípicos, como se indica en la Figura 15, pueden corresponder a datos atípicos o datos atípicos extremos.

Una vez establecido que las series no presentan una distribución normal, se desarrollan curvas de doble masa, en la Figura 17 se presentan las curvas de doble masa para las estaciones Venta de Cajibío [26025090] y Paispamba [52015010], donde se pueden evidenciar comportamientos consistentes de las series de los datos analizados. En el Anexo 2, se presentan las curvas de doble masa desarrolladas para todas las estaciones, resaltando que, en todas se evidencia un comportamiento consistente de los datos.

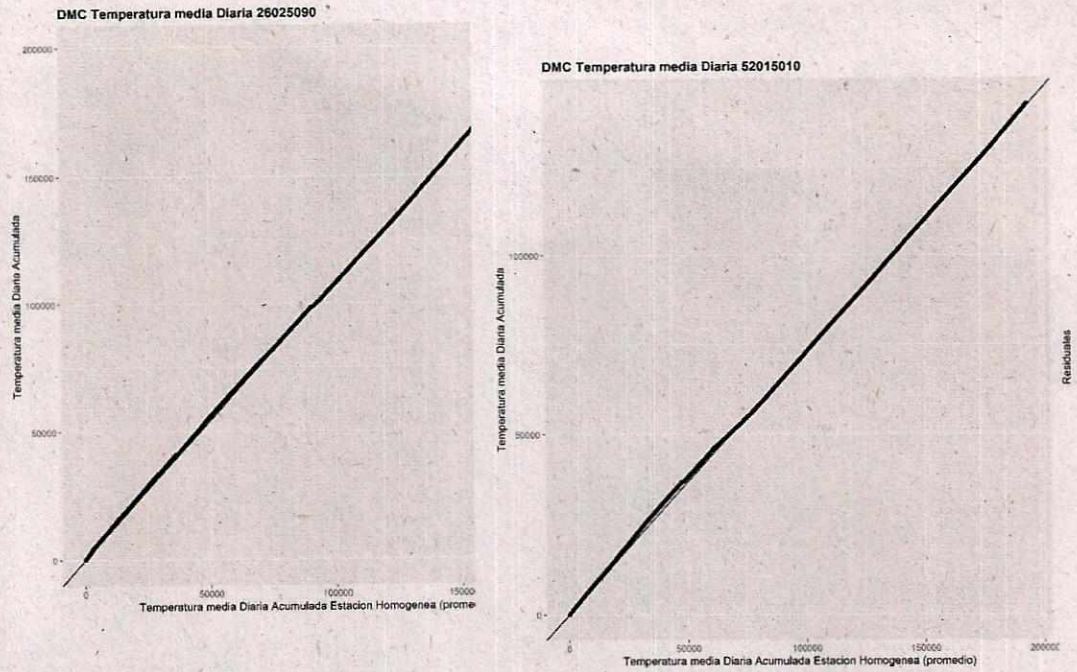


Figura 21. Análisis de doble masa (estaciones Venta de Cajibío y Paispamba)
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Una vez seleccionadas las estaciones de temperatura e identificados los datos faltantes, se aplicó la metodología previamente descrita para la precipitación, empleando la versión 1 del software Suemulador para la completar las series de registros, como se muestra en la Figura 22, Donde se ilustra el resultado del proceso de completación de datos para una de las estaciones analizadas, donde se aprecia la continuidad de la serie una vez incorporados los registros simulados. De manera complementaria, en el Anexo 2 se presentan las gráficas correspondientes a la totalidad de las estaciones.

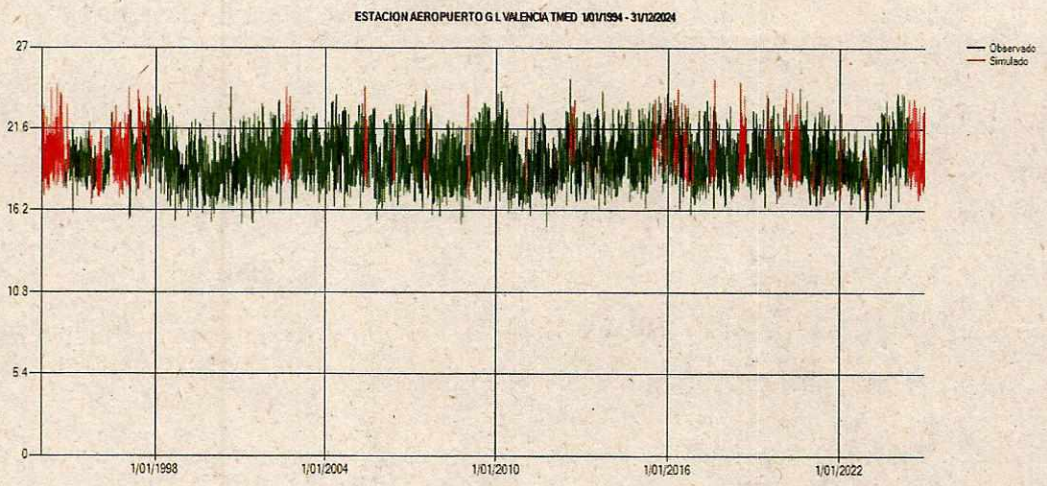


Figura 22. Datos de Temperatura completado estación Aeropuerto GL Valencia

Fuente: Elaboración propia – Proagua 2025

3. Caracterización climática del área de estudio

El presente capítulo aborda la caracterización climática del área de estudio a partir del análisis de las variables meteorológicas de precipitación y temperatura, considerando tanto su comportamiento temporal como su distribución espacial. Para ello, se analizan los registros de las estaciones climatológicas disponibles y se espacializan para permitir representar de manera continua el régimen climático, proporcionando una base sólida para la interpretación climática y el desarrollo de análisis posteriores.

3.1. Análisis de la precipitación

Los registros diarios de precipitación empleados en el presente capítulo corresponden a las series previamente completadas y depuradas, conforme a la metodología descrita en el capítulo de análisis estadístico de la información hidroclimatológica. En consecuencia, se parte de series continuas de precipitación diaria para cada una de las estaciones seleccionadas, las cuales constituyen el insumo base para los análisis desarrollados en el presente capítulo.

3.1.1. Precipitación máxima diaria multianual

Con base en las series diarias de precipitación procesadas para cada estación, se extrajo el valor correspondiente a la máxima precipitación diaria registrada en cada año del periodo de análisis (1994-2024), los cuales se presentan de manera consolidada en la Tabla 9. La información obtenida resume el comportamiento de los eventos diarios más intensos observados anualmente en cada punto de registro, constituyendo un insumo descriptivo del régimen de precipitaciones extremas a escala diaria.

Tabla 9. Precipitación máxima diaria *multi*anual.

Registros	Aeropuerto G L Valencia	Sate	Venta De Cajibio	Coconuco	Termales Pilimbala	Paispamba	Saladito	Polindara	Totoro
1994	64.6	76.0	53.2	44.9	80.0	80.6	103.9	60.0	80.0
1995	88.0	74.0	63.7	53.0	53.0	79.7	63.5	50.0	76.0
1996	84.4	80.0	64.2	45.0	54.2	78.7	60.0	82.0	75.0

Registros	Aeropuerto G L Valencia	Sate	Venta De Cajibio	Coconuco	Termales Pilimbala	Paispamba	Saladito	Polindara	Totoro
1997	102.8	96.0	90.1	51.0	36.0	59.7	74.0	64.0	65.0
1998	64.1	82.0	127.5	49.1	75.4	58.0	72.5	72.0	55.0
1999	76.2	76.0	74.0	48.0	48.3	73.2	46.5	101.0	57.0
2000	85.5	93.4	63.7	40.6	35.0	64.8	81.0	46.0	70.0
2001	84.0	83.0	84.5	51.9	35.0	73.3	56.0	58.0	50.0
2002	48.6	74.0	58.5	47.4	48.3	68.3	56.5	65.0	51.0
2003	70.5	66.0	62.4	66.2	114.5	78.8	62.0	71.0	47.0
2004	86.2	80.0	79.7	56.7	67.2	56.5	77.2	65.0	80.0
2005	68.5	89.0	90.0	82.9	44.3	57.7	50.0	62.0	60.0
2006	59.2	80.0	63.5	42.0	41.7	73.1	50.5	58.0	45.0
2007	101.8	77.0	108.2	57.9	39.0	61.8	89.2	43.0	59.0
2008	78.0	101.0	93.5	37.6	39.0	55.8	73.8	44.0	71.0
2009	80.0	114.0	78.0	55.9	33.0	75.0	84.5	63.0	63.0
2010	74.0	59.0	80.0	48.0	57.0	57.3	52.0	54.0	65.0
2011	75.0	69.0	70.0	49.8	115.0	71.7	102.8	63.0	58.0
2012	63.0	60.0	64.7	47.0	63.0	74.6	75.0	67.2	60.0
2013	65.0	81.0	108.0	47.5	61.0	98.5	75.0	67.0	57.0
2014	86.0	99.0	92.0	68.0	56.0	70.7	70.5	65.0	63.0
2015	58.0	52.0	79.0	97.0	70.0	47.3	53.2	60.0	50.0
2016	92.0	103.0	61.0	57.8	43.0	69.1	45.0	53.0	58.0
2017	98.0	93.0	128.9	49.5	51.0	84.7	90.0	80.0	89.0
2018	105.0	89.0	74.5	47.2	45.0	60.4	54.0	56.0	65.0
2019	78.0	77.0	111.0	52.0	77.0	75.2	51.5	61.0	56.0
2020	89.4	90.0	68.0	78.7	40.0	45.1	60.0	45.0	68.0
2021	72.6	80.0	83.0	98.0	40.0	96.5	53.0	60.0	45.0
2022	76.8	92.0	88.0	68.9	64.0	89.6	80.0	65.0	85.0
2023	60.2	70.0	107.4	74.0	51.0	100.0	50.0	65.0	80.0
2024	77.0	94.0	61.0	47.6	52.0	53.7	39.4	56.0	58.0

Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

En general, se observa una alta variabilidad intraanual en todas las estaciones, sin una recurrencia uniforme de los valores máximos. Las estaciones Venta de Cajibío, Saladito, Aeropuerto G L Valencia y Paispamba destacan por presentar los mayores valores de precipitación máxima diaria, con registros que en varios años superan los 100 mm/día. En particular, la estación Venta de Cajibío alcanza valores máximos superiores a 120 mm/día en distintos años (por ejemplo, 1998, 2007 y 2017), evidenciando la ocurrencia de eventos de lluvia intensa de alta magnitud. De manera similar, la estación Saladito presenta picos cercanos o superiores a los 100 mm/día, confirmando su comportamiento extremo dentro del conjunto analizado.

La estación Aeropuerto G L Valencia muestra también valores elevados de precipitación máxima diaria, con registros que superan los 100 mm/día en varios años, lo que refleja una exposición recurrente a eventos intensos, aunque con amplitudes menores en comparación con Venta de Cajibío. Por su parte, Paispamba presenta un patrón similar, con valores máximos elevados y una variabilidad marcada entre años.

En contraste, las estaciones Coconuco, Termales Pilimbala y Totoró presentan, en general, valores máximos diarios más moderados, aunque no exentos de eventos significativos. En particular, Termales Pilimbala registra algunos picos destacados, como el observado en el año 2003, lo que indica que, aunque la frecuencia de eventos extremos es menor, estos pueden alcanzar magnitudes relevantes de forma puntual.

3.1.2. Precipitación mensual multianual.

A partir de las series diarias de precipitación completadas, se realizó la consolidación de los registros para obtener la precipitación total mensual de cada estación, correspondiente a cada mes y año del periodo de análisis. Con base en estas series mensuales, se calculó posteriormente la precipitación media mensual, promediando los valores correspondientes a cada mes a lo largo de todos los años disponibles. Este procedimiento permitió caracterizar el comportamiento intraanual de la precipitación, identificando la distribución promedio de los aportes mensuales a lo largo del año, tal como se presenta en la Figura 23.

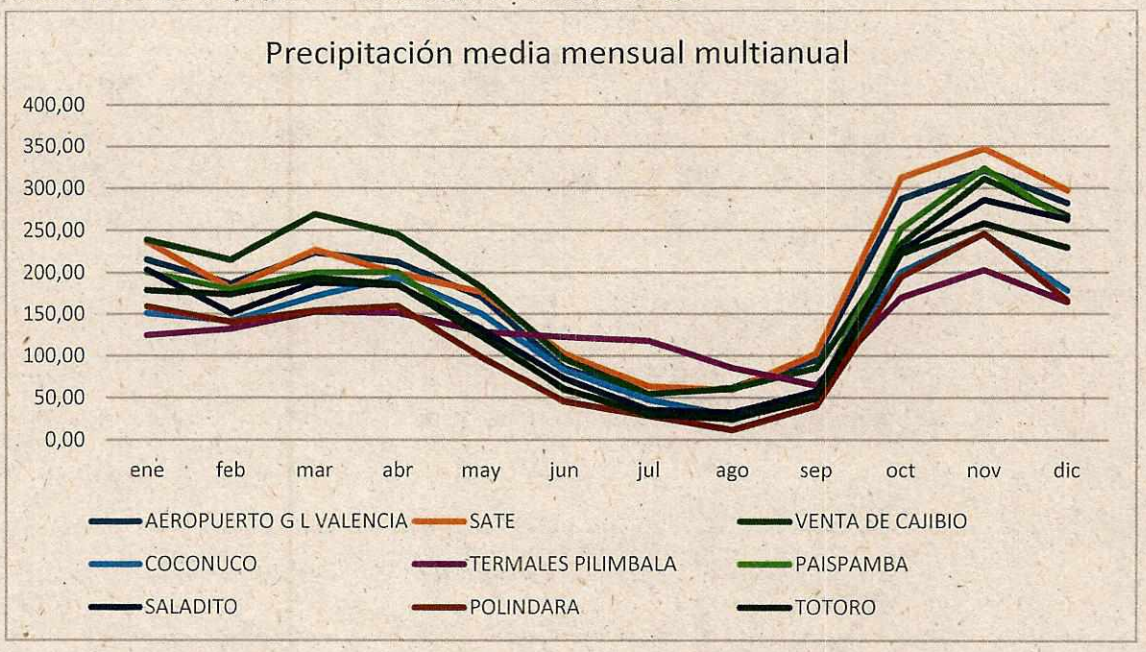


Figura 23. Precipitación media mensual multianual

Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Se observa un régimen bimodal de precipitación, característico de la región del suroccidente colombiano, con dos periodos lluviosos claramente diferenciados. El primer periodo de mayores precipitaciones se presenta entre los meses de marzo y mayo, alcanzando valores máximos relativos principalmente en marzo y abril. Posteriormente, se evidencia una disminución progresiva de las precipitaciones hacia los meses de junio, julio y agosto, conformando un periodo seco intermedio, donde se registran los valores mensuales más bajos del año.

El segundo periodo lluvioso, más marcado que el primero, se desarrolla entre los meses de septiembre y noviembre, con máximos pronunciados en octubre y noviembre, meses en los que se registran los mayores acumulados mensuales de precipitación para la mayoría de las estaciones. Finalmente, en el mes de diciembre se observa una reducción moderada de las precipitaciones, marcando la transición hacia el inicio del siguiente ciclo anual.

En términos espaciales, aunque todas las estaciones presentan una evolución mensual similar, se evidencian diferencias en la magnitud de la precipitación, destacándose estaciones como Paispamba, SATE y Aeropuerto G L Valencia, que presentan acumulados mensuales

más elevados durante los picos lluviosos, en comparación con estaciones como Polindara y Termales Pilimbala, que registran valores relativamente menores. No obstante, estas diferencias no alteran el patrón estacional general, lo que indica una respuesta climática regional homogénea, con variaciones locales asociadas a factores topográficos y de localización.

3.1.3. Espacialización mensual multianual de la precipitación

Una vez obtenidos los valores de precipitación media mensual multianual para cada estación climatológica, se procedió a la espacialización de la información, con el fin de representar la distribución espacial de la precipitación a escala mensual en el área de estudio.

La espacialización se realizó mediante un proceso de interpolación espacial a partir de los valores puntuales registrados en las estaciones meteorológicas, generándose superficies continuas en formato raster para cada mes del año. Como resultado, se obtuvo un conjunto de doce mapas mensuales de precipitación media, los cuales permiten caracterizar el comportamiento espacial del régimen pluviométrico a lo largo del ciclo anual.

El proceso de interpolación se desarrolló utilizando el método de ponderación inversa de la distancia (Inverse Distance Weighting, IDW), el cual estima los valores de precipitación en áreas no instrumentadas a partir de la influencia de las estaciones más cercanas, asignando un mayor peso a aquellas ubicadas a menor distancia. Este método resulta adecuado para estudios climatológicos a escala local y regional, especialmente en contextos con una distribución limitada de estaciones. Asimismo, el método IDW permite preservar los valores observados en las estaciones y proporciona superficies espaciales estables.

Con el fin de facilitar la interpretación de los patrones espaciales de la precipitación, a partir de los rasters mensuales se generaron isolíneas, definidas como líneas que unen puntos de igual precipitación. Estas curvas permiten resaltar los gradientes espaciales y las zonas con similares acumulados mensuales, constituyéndose en un elemento cartográfico complementario para el análisis del régimen pluviométrico. Las isolíneas correspondientes a cada mes se presentan de manera conjunta con las superficies interpoladas.

La Figura 24 presenta la distribución espacial mensual multianual de la precipitación en el área de estudio, obtenida a partir de superficies interpoladas mediante el método IDW,

junto con sus respectivas isolíneas. En la figura se destaca en color azul el límite de la cuenca analizada, lo que permite evaluar de manera directa la variabilidad espacial de la precipitación del área de estudio y su relación con el entorno inmediato.

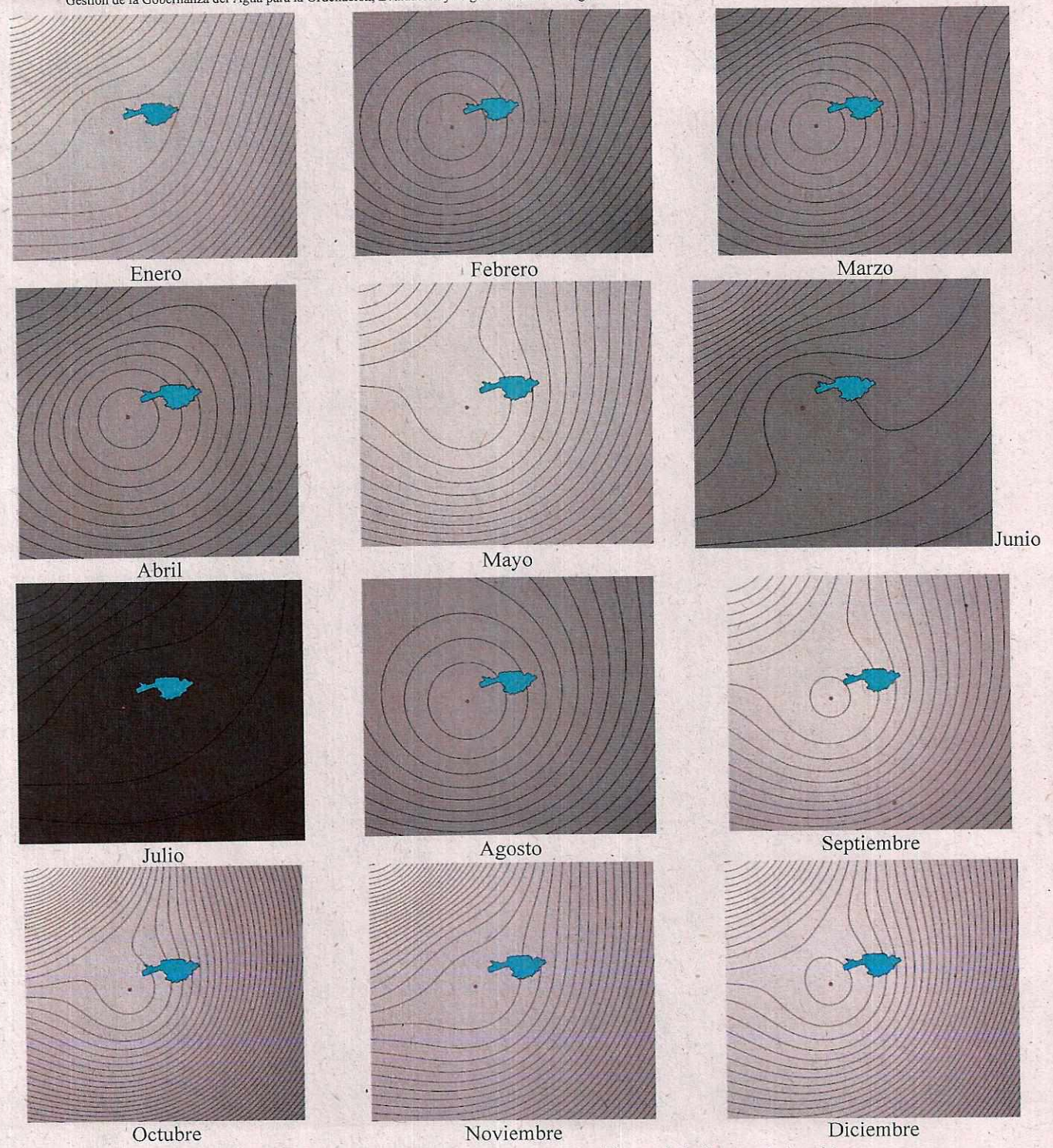


Figura 24. Distribución espacial mensual multianual de la precipitación.
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

En términos generales, los mapas mensuales evidencian una estructura espacial coherente a lo largo del año, con gradientes de precipitación bien definidos y una configuración relativamente estable de las isolíneas, lo que indica que, si bien la magnitud de la precipitación varía estacionalmente, el patrón espacial dominante se mantiene. Las zonas de mayores acumulados mensuales, representadas por tonalidades más claras, tienden a concentrarse de manera consistente hacia sectores específicos del dominio de interpolación, mientras que los menores valores se asocian a áreas con tonalidades más oscuras.

Durante los meses correspondientes a los periodos lluviosos (principalmente marzo–mayo y septiembre–noviembre), se observa una expansión de las áreas con mayores valores de precipitación, reflejada en tonalidades más claras y en una mayor densidad de isolíneas dentro y en el entorno de la cuenca. En estos meses, los gradientes espaciales se intensifican, lo que sugiere una mayor heterogeneidad espacial de la precipitación y una respuesta más marcada a los forzamientos atmosféricos regionales.

Por el contrario, en los meses asociados a los periodos relativamente secos (junio–agosto y diciembre–febrero), predominan tonalidades más oscuras en la mayor parte del dominio, indicando una reducción generalizada de los acumulados mensuales. En estos meses, las isolíneas presentan una disposición más espaciada, lo que refleja gradientes más suaves y una menor variabilidad espacial de la precipitación.

Al interior de la cuenca de estudio, el patrón espacial mensual de la precipitación es consistente con el comportamiento regional, sin evidenciar discontinuidades abruptas o anomalías espaciales. Las isolíneas muestran una transición gradual de valores, lo que sugiere que la interpolación realizada reproduce de manera adecuada la continuidad espacial del campo de precipitación. Este comportamiento refuerza la idoneidad del método IDW para representar la distribución espacial de la precipitación a la escala de análisis considerada.

En conjunto, los mapas mensuales permiten identificar de forma clara la evolución espacial del régimen pluviométrico a lo largo del año, así como las zonas con mayor y menor aporte de precipitación dentro de la cuenca, constituyéndose en un insumo para la interpretación climatológica y para análisis hidrológicos posteriores.

3.1.4. Distribución espacial de la precipitación media anual

Adicionalmente, a partir del conjunto de los valores mensuales, se generó un ráster de precipitación media anual multianual, el cual se presenta de manera independiente con el fin de sintetizar el comportamiento espacial promedio de la precipitación a escala anual. Este producto cartográfico permite identificar de forma integrada las zonas con mayores y menores acumulados anuales, insumo complementario para el análisis climático general del área de estudio.

La Figura 25 presenta la distribución espacial de la precipitación media anual multianual en el área de estudio, obtenida a partir de la interpolación de los valores puntuales de las estaciones climatológicas mediante el método IDW, complementada con la representación de isolíneas de igual precipitación.

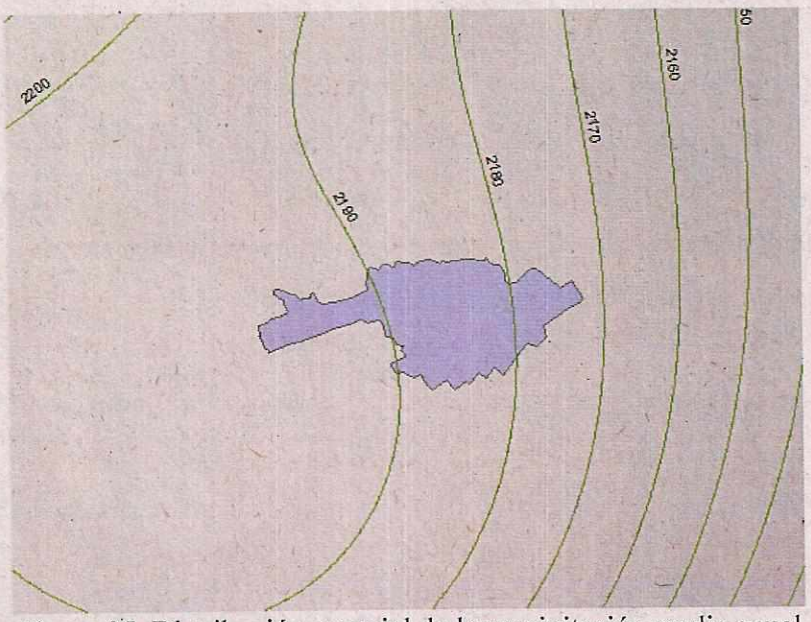


Figura 25. Distribución espacial de la precipitación media anual
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

El mapa anual evidencia un patrón espacial suavizado y continuo, resultado de la agregación temporal de los valores mensuales, en el cual se mantienen los gradientes regionales identificados en la espacialización mensual. Las isolíneas muestran una disposición regular y bien definida, con transiciones graduales entre zonas de diferente magnitud de precipitación, lo que indica la ausencia de discontinuidades espaciales abruptas

y sugiere una adecuada representación del campo de precipitación media anual. En la zona de estudio, tal como se evidencia en la Figura 25, la precipitación anual se encuentra en un rango entre 2170 y 2200 mm de precipitación anual.

En conjunto, el ráster de precipitación media anual sintetiza de manera efectiva el comportamiento espacial promedio del régimen pluviométrico, integrando la variabilidad intraanual observada en los mapas mensuales y proporcionando una visión global de las zonas con mayor y menor aporte anual de precipitación.

Los productos cartográficos obtenidos, tanto mensuales como anuales, permiten identificar de manera coherente las variaciones espaciales de la precipitación a lo largo del año y proporcionan una base sólida para la interpretación climatológica del área de estudio y su entorno. La información cartográfica de la distribución mensual y anual de la precipitación de presentan en el Anexo 2.

3.2. Análisis de la temperatura

El análisis de la temperatura del aire se desarrolló a partir de las series previamente completadas y depuradas, utilizando los mismos criterios de control de calidad y procesamiento estadístico aplicados a la precipitación, conforme a lo descrito en el capítulo de análisis estadístico de la información hidroclimatológica. De esta manera, se garantiza la consistencia metodológica y la comparabilidad entre las variables climáticas analizadas.

3.2.1. Temperatura mensual multianual

A partir de las series diarias de temperatura, se realizó la consolidación de los registros para obtener la temperatura media mensual de cada estación, correspondiente a cada mes y año del periodo de análisis. Posteriormente, se calculó la temperatura media mensual multianual, promediando los valores correspondientes a cada mes a lo largo de todos los años disponibles. Los resultados de este procesamiento se presentan en la Figura 26, la cual muestra el comportamiento de la temperatura media mensual multianual para las estaciones Aeropuerto G. L. Valencia, Venta de Cajibío y Paispamba.

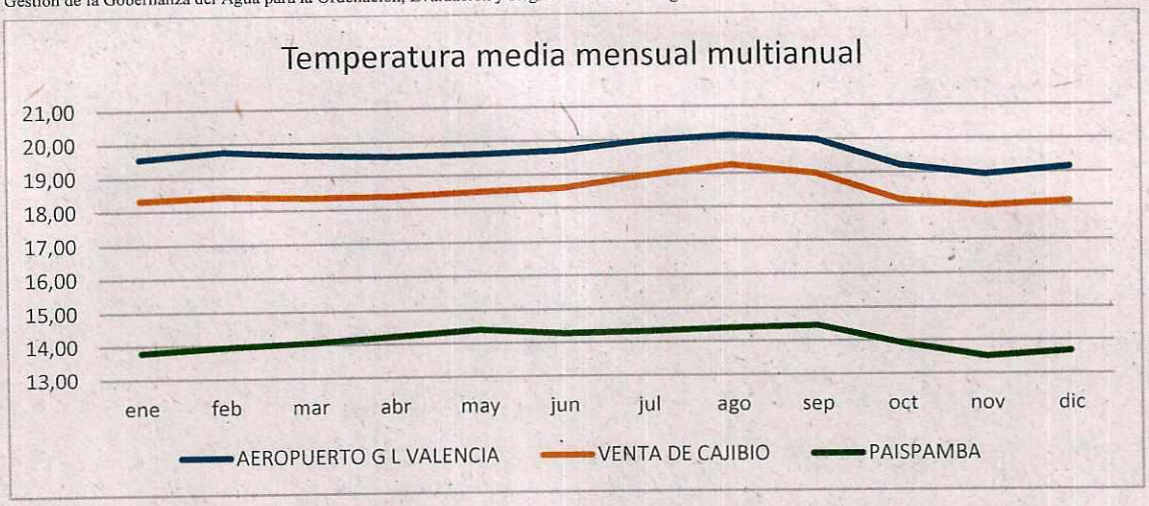


Figura 26. Temperatura media mensual multianual
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

En términos generales, la temperatura media mensual evidencia un ciclo anual poco marcado, característico de regiones tropicales, con una amplitud térmica estacional reducida y variaciones mensuales de baja magnitud.

En las estaciones Aeropuerto G. L. Valencia y Venta de Cajibío, se observa un incremento gradual de la temperatura media desde los primeros meses del año hasta alcanzar valores máximos relativos entre julio y agosto. Posteriormente, a partir de septiembre, se registra una disminución progresiva de la temperatura, alcanzando los valores más bajos hacia los meses de octubre y noviembre, seguida de una leve recuperación en diciembre. Este comportamiento sugiere una modulación estacional asociada a variaciones en la radiación solar incidente y a cambios en la cobertura nubosa a lo largo del año.

La estación Paispamba presenta un patrón mensual similar en términos de evolución temporal, aunque con valores de temperatura media significativamente inferiores en comparación con las estaciones de menor altitud. En esta estación, las temperaturas medias mensuales oscilan dentro de un rango estrecho, con un máximo relativo hacia los meses de agosto y septiembre y un mínimo hacia noviembre, lo que refleja un régimen térmico más estable, condicionado por su localización en un entorno de mayor elevación.

Desde el punto de vista espacial, se evidencian diferencias térmicas entre las estaciones, atribuibles principalmente al efecto de la altitud. La estación Aeropuerto G. L. Valencia,

registra de manera consistente las mayores temperaturas medias mensuales a lo largo del año, seguida por Venta de Cajibío (ambas ubicadas aproximadamente a unos 1700 msnm), mientras que Paispamba (con una elevación aproximada de 2500 msnm) presenta los valores más bajos. Este gradiente térmico altitudinal se mantiene estable durante todos los meses, indicando que la topografía constituye el principal factor de control sobre la distribución espacial de la temperatura en el área de estudio.

En conjunto, el comportamiento mensual de la temperatura media refleja una respuesta térmica regional homogénea, con variaciones temporales suaves y contrastes espaciales bien definidos, en concordancia con las condiciones climáticas propias del suroccidente colombiano y con el control dominante ejercido por los factores fisiográficos.

3.2.2. Espacialización mensual multianual de la temperatura

Con el fin de complementar el análisis temporal del régimen de temperatura, se elaboraron superficies espaciales de temperatura media mensual multianual, a partir de los valores observados en las estaciones climatológicas disponibles. Permitiendo representar de manera continua la distribución espacial de la temperatura en el área de estudio, para cada uno de los meses del año.

Para apoyar la lectura e interpretación de las superficies interpoladas, se generaron isotermas, las cuales permiten identificar zonas con valores similares de temperatura media mensual y resaltar la estructura espacial general del campo térmico. La Figura 27 presenta los mapas de temperatura media mensual multianual, junto con las isotermas correspondientes y el límite de la cuenca de estudio, permitiendo analizar de forma integrada la distribución espacial de la temperatura a lo largo del ciclo anual.

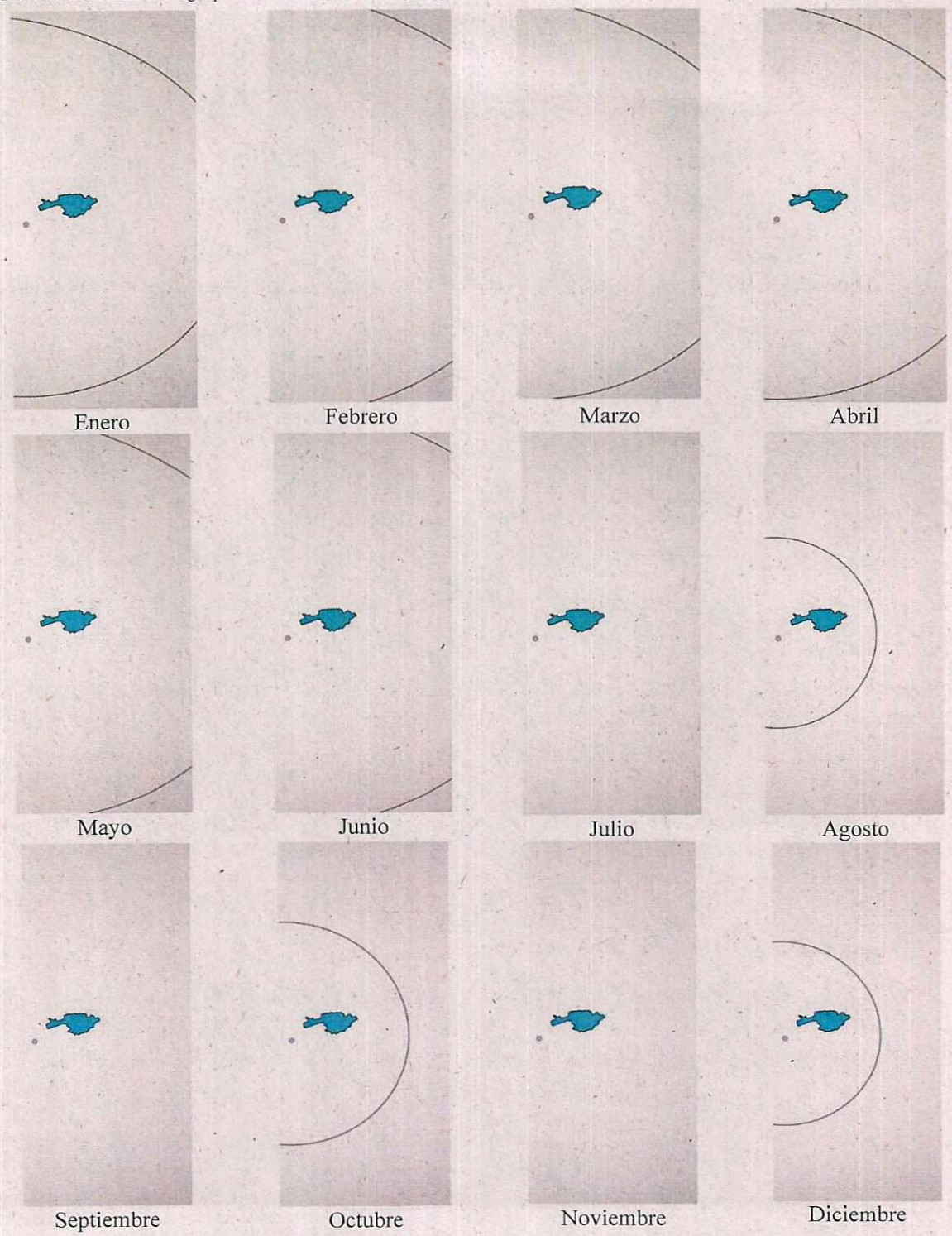


Figura 27. Distribución espacial mensual multianual de la temperatura
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

Los mapas mensuales evidencian un campo térmico espacialmente homogéneo, con gradientes suaves y una variación espacial de baja magnitud tal como se observaba en la Figura 27. Las diferencias de temperatura se expresan de manera progresiva. A lo largo del año, la distribución espacial de la temperatura se mantiene prácticamente invariable, observándose principalmente cambios en la magnitud absoluta de los valores mensuales, más que en la distribución espacial del campo térmico. Este comportamiento se refleja en la similitud visual entre los mapas correspondientes a los distintos meses, donde las zonas relativamente más cálidas y frías conservan su posición espacial.

Las isotermas asociadas a las superficies interpoladas presentan una disposición amplia y regular, con radios de curvatura grandes y separaciones relativamente uniformes, lo que indica transiciones térmicas graduales y una baja variabilidad espacial. Esta distribución sugiere que la interpolación reproduce un campo térmico continuo, sin concentraciones locales de valores extremos.

Al interior de la cuenca de estudio, la temperatura media mensual muestra valores coherentes con el entorno inmediato, sin evidenciar contrastes significativos respecto al dominio regional. La cuenca se encuentra inmersa en un mismo gradiente térmico, lo que indica condiciones térmicas uniformes a la escala espacial analizada.

En conjunto, la espacialización mensual de la temperatura permite visualizar de manera clara la estabilidad espacial del régimen térmico y su limitada variabilidad a lo largo del año, constituyéndose en un complemento cartográfico del análisis temporal de la temperatura y en un contraste directo con la mayor heterogeneidad espacial observada en la precipitación.

3.2.3. Distribución espacial de la temperatura media anual

La Figura 28 presenta la distribución espacial de la temperatura media anual multianual en el área de estudio, obtenida a partir de la interpolación de los valores puntuales de las estaciones climatológicas mediante el método IDW. En la figura se resalta el límite de la cuenca analizada, lo que permite evaluar el comportamiento térmico promedio a escala anual en relación con el entorno regional.

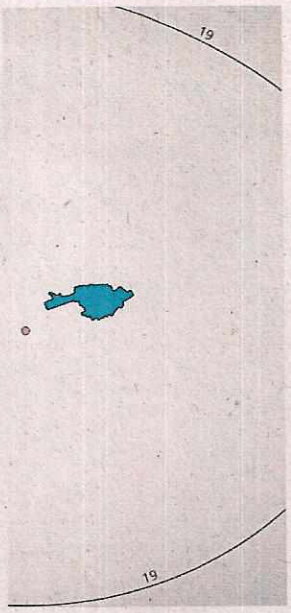


Figura 28. Distribución espacial de la temperatura media anual
Fuente: Elaboración propia –Proagua 2025

El mapa anual evidencia un campo térmico altamente homogéneo, caracterizado por una variación espacial de muy baja magnitud. La superficie interpolada muestra una transición progresiva de los valores de temperatura, sin contrastes abruptos, lo que refleja la estabilidad espacial del régimen térmico a escala anual.

Las isotermas presentan una disposición amplia y regular, destacándose la isoterma cercana a 19 °C, la cual atraviesa el dominio de interpolación y enmarca el rango térmico dominante en el área de estudio. Esta distribución indica que la temperatura media anual se mantiene dentro de un intervalo estrecho de variación espacial, con diferencias graduales entre sectores.

Al interior de la cuenca de estudio, la temperatura media anual presenta valores consistentes con el contexto regional inmediato, sin evidenciar anomalías térmicas locales. La cuenca se encuentra inmersa en un entorno térmicamente uniforme, lo que sugiere condiciones promedio.

En conjunto, el ráster de temperatura media anual sintetiza de manera efectiva el comportamiento térmico promedio del área de estudio, integrando la estabilidad espacial observada en los mapas mensuales y proporcionando una visión global del régimen térmico.

Este producto cartográfico complementa el análisis espacial de la precipitación y contribuye a la caracterización climática integral del área de estudio.

4. Referencias

Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 15-25.

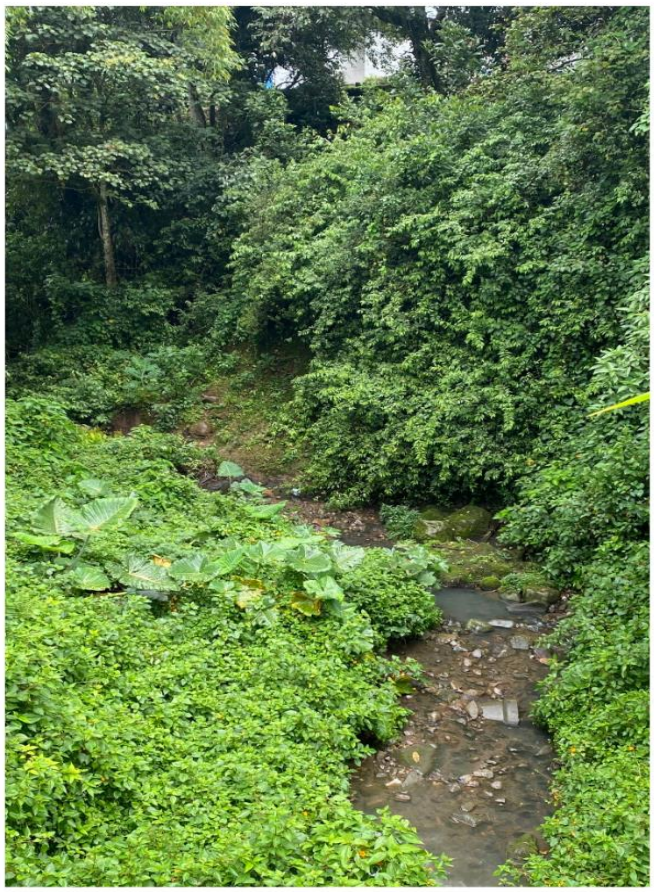
Chica, H., Peña, A., Giraldo, J., Obando, D., & Riaño, N. (2014). SueMulador: Herramienta para la Simulación de Datos Faltantes en Series Climáticas Diarias de Zonas Ecuatoriales. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin, 67*(2), 7365–7373.

CRC. (2021). *Delimitación del componente de amenaza (hidrológico–hidráulico) de la quebrada Machángara, municipio de Popayán, como elemento constitutivo de la ronda hídrica.* Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca.

Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias.* Madrid: Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid.

Riaño, N., Orrego, S., Restrepo, H., Duque, Á., Obando, D., Orozco, D., . . . Ludeña, C. (2015). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Forestal.* Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 256.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* México: PEARSON EDUCACIÓN.



Fuente: Proagua 2026



Fuente:Señor Martín Muñoz 2025



Fuente: Proagua 2025

REALIZAR EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA CORRIENTE PRIORIZADA QUEBRADA MACHÁNGARA (SENTENCIA EN SEGUNDA INSTANCIA) CONFORME A LA GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA DISPUESTA POR EL MADS, EN EL MARCO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO GESTIÓN DE LA GOBERNANZA DEL AGUA PARA LA ORDENACIÓN, EVALUACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DEL AGUA

INFORME ENERO DE 2026

ENERO DE 2026

Contrato CRC No 0635 de 2025

"Realizar el acotamiento de la ronda hídrica de la corriente priorizada quebrada Machángara (sentencia en segunda instancia) conforme a la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de rondas hídricas en Colombia dispuesta por el MADS, en el marco de la ejecución del proyecto Gestión de la Gobernanza del Agua para la Ordenación, Evaluación y Reglamentación del Agua".

Contrato de Consultoría No 0635 de 2025

INFORME MES ENERO DE 2026

SUPERVISOR CRC:
Yulie Yojana Manquillo C.
Subdirección de Gestión Ambiental
Apoyo a la Supervisión
Javier Delgado
Gabriela Gil

REPRESENTANTE LEGAL FUNDACIÓN PROAGUA:
John Jairo Daza Basto

Enero 30 de 2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **7**

I. EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES PREVISTAS **8**

1. TRABAJOS DE CAMPO **8**

1.1. Componente geomorfológico 8

1.2. Levantamiento topo batimétrico 9

1.2.1. Metodología para la toma de datos 10

1.2.2. Georreferenciación de puntos de apoyo 12

1.2.3. Procesamiento de los deltas tomados en campo 14

1.2.4. Coordenadas finales puntos GPS 15

1.2.5. Toma de datos con GNSS en modo RTK 16

1.2.6. Toma de datos con estación total 18

1.2.7. Procesamiento y dibujo 20

1.2.8. Generación del modelo digital de terreno (MDT) 24

1.3. Componente hidrológico e hidráulico 27

1.3.1. Reuniones internas del equipo de trabajo 28

1.3.2. Reuniones con el equipo de supervisión del proyecto 35

1.4. Componente Ecosistémico 37

2. COMITES TECNICOS **39**

3. COMENTARIOS FINALES **41**

LISTADO DE FOTOS

Foto 1 afectaciones evidenciadas 8
Foto 2. Reconocimiento de aspectos geomorfológicos 9
Foto 3. Localización zona de levantamiento quebrada Machángara 10
Foto 4. Localización red de mojones de la CRC cercanos al área de la topo batimetría 11
Foto 5. Puntos GPS georreferenciados a lo largo de la quebrada Machángara 11
Foto 6. Mojón base GNSS-076 12
Foto 7. Distribución y líneas base de los deltas georreferenciados a partir del punto base GNSS-076 ... 12
Foto 8. Georreferenciación de los puntos GPS (a) GPS 01 (b) GPS 02 y (c) GPS 07 13
Foto 9. Georreferenciación de los puntos GPS (d) GPS 03 (e) GPS 04 y (f) GPS 11 13
Foto 10. Georeferenciación de los puntos GPS (g) GPS 10 (h) GPS 09 y (i) GPS 15 14
Foto 11. Reporte de la línea base GNSS-076 a GPS-01 15
Foto 12. Área realizada de topo batimetría 17
Foto 13. Área levantada con tecnología GNSS en modo RTK 17
Foto 14. Toma de datos de la topo batimetría con sistema GNSS en modo RTK. 18
Foto 15. Área levantada con estación total 19
Foto 16 Toma de datos con estación total en diferentes sitios de la quebrada Machángara 19
Foto 17. Toma de datos con estación total en diferentes sitios de la quebrada Machángara 20
Foto 18. Procesamiento y descarga de los puntos tomados con GNSS 21
Foto 19. Nube de puntos del levantamiento topo batimétrico de toda la zona 22
Foto 20. Dibujo planimétrico del levantamiento 22
Foto 21. Plano de curvas de nivel del área de estudio 23
Foto 22. Plano Planimétrico y Altimétrico del área de estudio 23
Foto 23. Perfil longitudinal de la quebrada Machángara 24
Foto 24. Sección transversal del Pk 0+780 de la quebrada Machángara 24
Foto 25. Información LIDAR seleccionada para generar MDT 25
Foto 26. Datos LIDAR seleccionados para generar el MDT 25
Foto 27 Datos LIDAR clasificados y ajustados para generar el MDT en conjunto con la información de la Top Batimetría 26
Foto 28. Modelo Digital de Terreno (MDT) sin puentes del área aferente de la quebrada Machángara 26
Foto 29. Consolidación del área de la microcuenca y estructuración del modelo de trabajo 27
Foto 30. Identificación de áreas de interés en relación con la quebrada Machángara 29
Foto 31. Identificación de coberturas en el área de la quebrada Machángara a partir de estudios previos 30
Foto 32. Identificación de coberturas de interés en la zona de estudio 31
Foto 33. Reclasificación de coberturas 31
Foto 34. Visualización de corridas iniciales del modelo 32
Foto 35. Sección hidráulica de la quebrada Machángara en puntos de interes 33
Foto 36. Esquematización y espacialización de puntos de aporte 34
Foto 37. Visualización de condiciones de acumulación de agua en escenarios preliminares 34

Foto 38. Identificación de flujos a partir del empleo del MDT 35
Foto 39. Chequeo de condiciones de posibles aportes de caudal 36
Foto 40. Identificación de áreas del sistema esquematizado. 36
Foto 41. Localización del río Cauca en relación con la zona de estudio 37
Foto 42. área de estudio con transectos establecidos en campo 38
Foto 43. Desarrollo de la jornada con participación del Luis Eduardo López Vargas (Unicauca) 38
Foto 44. Algunos datos de interés del levantamiento de campo del componente ecosistémico 39
Foto 45. Aspecto Comité Técnico No 2 40
Foto 46. Aspecto de la quebrada Machángara en sus inicios de recorrido y localización de tuberías ... 42

INTRODUCCIÓN

El desarrollo coordinado de las diferentes actividades previstas en el contrato de consultoría CRC No 0635 de 2025, buscan establecer el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada Machángara, para lo cual se ha avanzado en el desarrollo de algunas de las fases establecidas en la Guía para el acotamiento de rondas hídricas en Colombia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se precisa indicar que, si bien la fase 0 denominadas "Acciones Previas" se encuentra encaminada hacia la compilación y análisis de información secundaria de los aspectos físico – bióticos y socio – económicos del área e interés, que permiten la construcción del estado del arte de la microcuenca y sus niveles de intervención antrópica; esta será una instancia que se mantendrá vigente a los largo del proyecto, producto del aporte de información que puedan brindar los diferentes actores sociales de manera escalonada en el tiempo.

De igual manera se avanza en la fase 1 denominada "Acotamiento del cauce permanente o de la línea de mareas máximas" , la cual involucra la articulación de los resultaos preliminares obtenidos en los componentes geomorfológico, hidrológico – hidráulico y ecosistémico; a la par que se avanzó en el desarrollo de actividades de levantamiento de información primaria relacionada con el levantamiento topo batimétrico del cauce de la quebrada Machángara desde el punto en el cual se hace visible hasta su desembocadura al río Cauca

A continuación, se presentan de manera resumida algunos de los resultados obtenidos.

I. EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES PREVISTAS

Con la finalidad de dar cumplimiento a las obligaciones contractuales previstas en el contrato de consultoría No 0635 de 2025, y acorde al plan de trabajo previsto, y aprobado por la Corporación, a continuación, se establecen las actividades previstas

1. Trabajos de campo

Con la finalidad de reafirmar algunas condiciones del área de influencia de la quebrada Machángara, se efectuó un recorrido rápido que permitió verificar y validar algunos aspectos que acontecen en su franja de protección, condiciones estas que permitieron aterrizar algunos conceptos e identificar in situ las situaciones de antropización de la franja de protección de la quebrada, cuyos aspectos se presentan de manera resumida en las siguientes imágenes (Ver Foto 1)

Foto 1 afectaciones evidenciadas



Fuente: PROAGUA, 2026

1.1. Componente geomorfológico

El profesional encargado de este componente efectuó el análisis de información secundaria suministrada por la CRC correspondiente al informe "elaboración de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, incorporando la gestión del riesgo en la planificación territorial en municipios priorizados en el departamento del Cauca" el cual arrojó como resultado que, los elementos geomorfológicos

más susceptibles por avenida torrencial a nivel urbano corresponden a cauce aluvial, cauce aluvial de montaña, cauce aluvial de piedemonte, cauce aluvial de quebrada, plano de inundación, escarpe de terraza de acumulación reciente, escarpe de terraza aluviotorrencial reciente, terraza de acumulación, terraza de acumulación reciente, terraza aluviotorrencial reciente y escarpe de terraza de acumulación subcreciente (Consorcio AVR Cauca 2023, 2023).

En este mismo campo se contó con información relacionada con la clasificación de susceptibilidad por inundación de los elementos geomorfológicos en la cabecera municipal de Popayán, correspondiendo a susceptibilidad alta el cauce aluvial, cauce aluvial de montaña, cauce aluvial de quebrada, plano de inundación, escarpe de terraza de acumulación reciente, escarpe de terraza aluviotorencial reciente. (Consorcio AVR Cauca 2023, 2023)

De igual manera se efectuaron verificaciones en campo que permitieron sustentar algunas apreciaciones generadas a partir de la lectura de la información secundaria, así como recibir los aportes por parte de los habitantes del sector. (ver Foto 2)

Foto 2. Reconocimiento de aspectos geomorfológicos

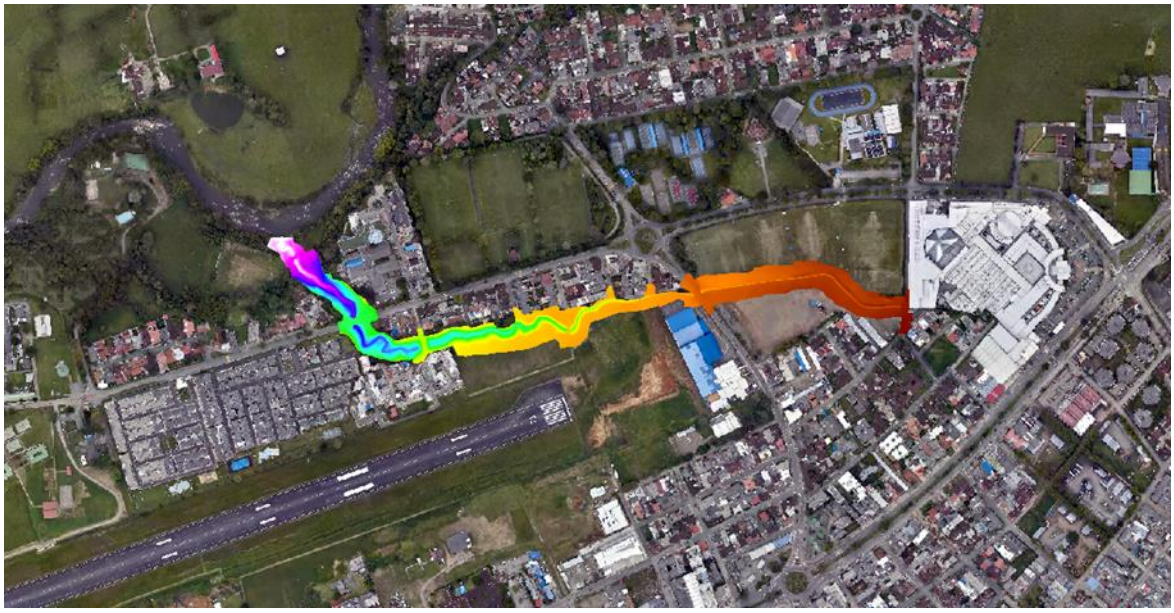


Fuente: PROAGUA, 2026

1.2. Levantamiento topo batimétrico

Como insumo para el desarrollo del acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada Machángara y en atención a las obligaciones contractuales establecidas en el contrato CRC No 0635 de 2025, se llevó a cabo el levantamiento topo batimétrico de la quebrada en el área de interés, el cual inicia desde la zona posterior al Centro Comercial Campanario y culminada en la desembocadura de la quebrada al río Cauca en el sector denominado La Cabaña, en una longitud aproximada de 1.100 metros como se presenta en la Foto 3

Foto 3. Localización zona de levantamiento quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

En desarrollo de la actividad fueron empleados los equipos que se relacionan a continuación:

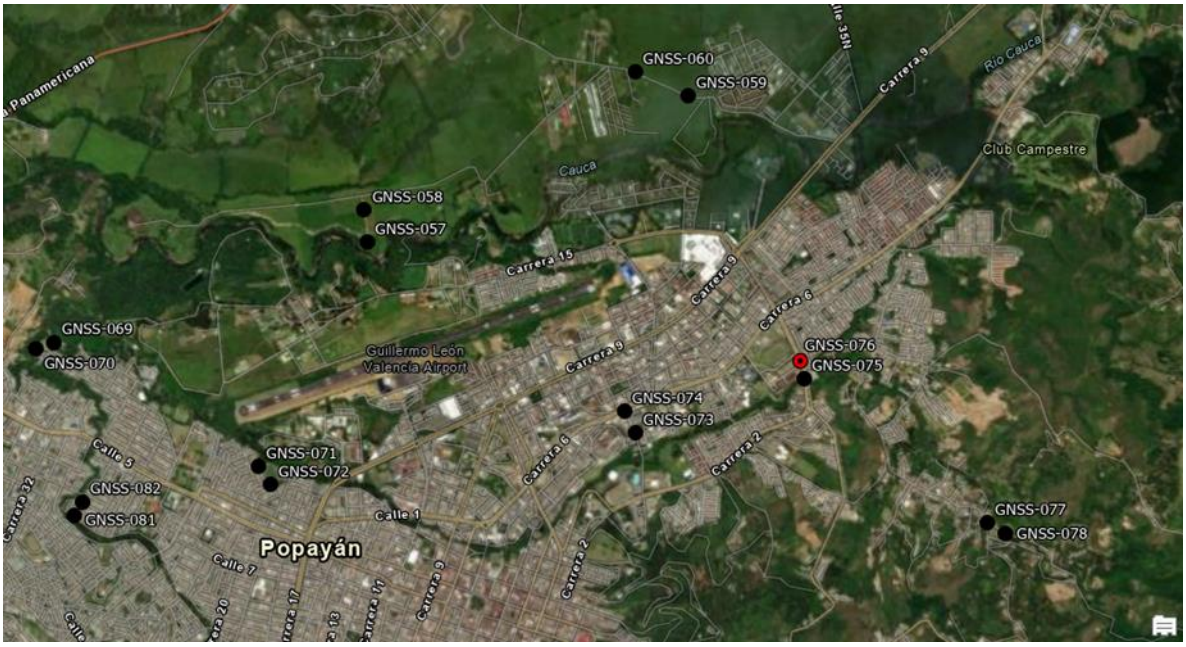
- GNSS de doble frecuencia marca Leica modelo GS10 y SINO T30 MARS PRO
- Estación total South N3
- Herramienta menor

1.2.1. Metodología para la toma de datos

Para realizar la topo batimetría en la quebrada Machángara, inicialmente se realiza el amarre a coordenadas del lugar, para este caso específico se realizó con la red de mojones materializados y georreferenciados en el año 2021 en un proyecto de la CRC de toma de fotografías aéreas y datos LIDAR. El sistema de coordenadas de referencia es Magna Colombia Oeste.

De esta red de mojones se escogió uno de los principales el cual es denominado el GNSS-076. A partir de este mojón se colocaron dos puntos principales, el GPS-1 en cual está localizado al inicio de la quebrada Machángara y el GPS-2 a aun lado del puente sobre la carrera 18N (ver Foto 4). Con el punto GPS-02 cercano al área de la topo batimetría se realizó la georreferenciación de 16 puntos GPS más a lo largo de la quebrada Machángara hasta la desembocadura (ver Foto 5)

Foto 4. Localización red de mojones de la CRC cercanos al área de la topo batimetría



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 5. Puntos GPS georreferenciados a lo largo de la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

1.2.2. Georreferenciación de puntos de apoyo

Para la georreferenciación de los puntos GNSS ubicados en la zona de estudio, localizados generalmente a lo largo de la quebrada, se tomó como punto de apoyo (amarre) el mojón base denominado GNSS-076 de la red de mojones de CRC del proyecto LIDAR de 2021 (ver Foto 6)

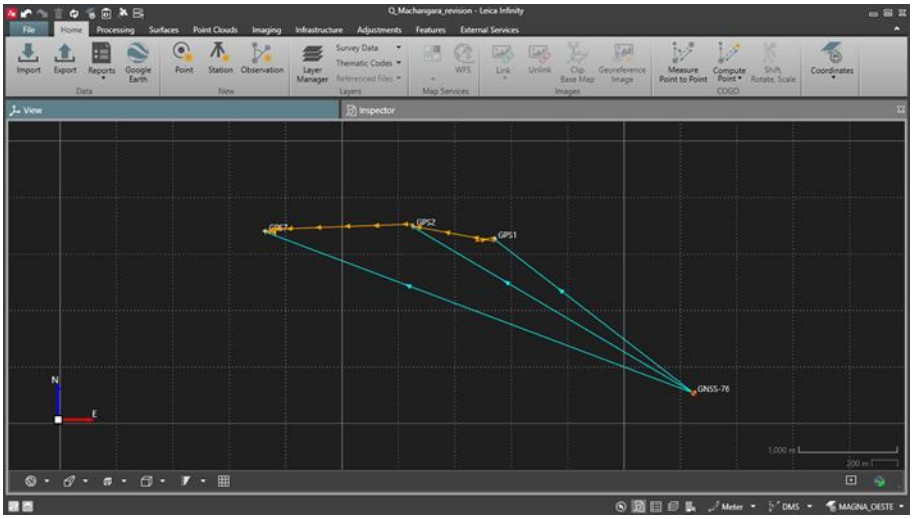
Foto 6. Mojón base GNSS-076



Fuente: PROAGUA, 2026

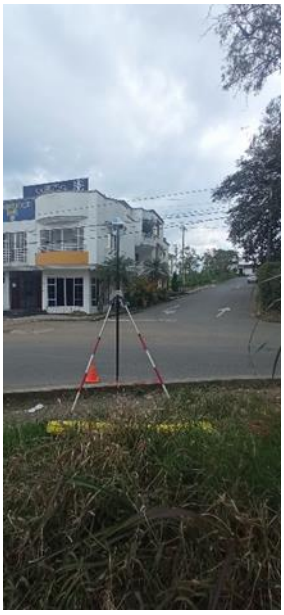
Estos puntos fueron georreferenciados de modo estático, con un tiempo de toma promedio de una hora, con distancia de línea base que no superó los 1600 metros. Ver Foto 7, Foto 8, Foto 9 y Foto 10

Foto 7. Distribución y líneas base de los deltas georreferenciados a partir del punto base GNSS-076



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 8. Georreferenciación de los puntos GPS (a) GPS 01 (b) GPS 02 y (c) GPS 07

(a)  **(b)**  **(c)** 

Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 9. Georreferenciación de los puntos GPS (d) GPS 03 (e) GPS 04 y (f) GPS 11

(d)  (e)  (f) 

Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 10. Georeferenciación de los puntos GPS (g) GPS 10 (h) GPS 09 y (i) GPS 15

(g)  (h)  (i) 

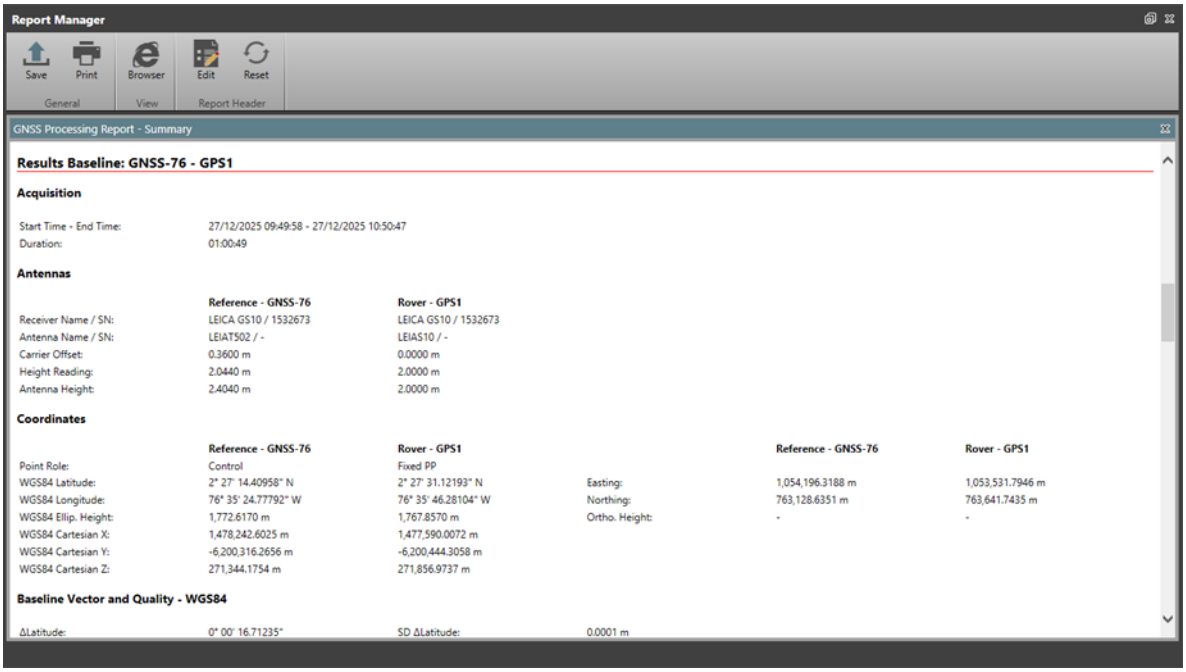
Fuente: PROAGUA, 2026

1.2.3. Procesamiento de los deltas tomados en campo

El post proceso realizado se enfocó en el amarre principal, el cual se hizo desde el GNSS-076, desde este mojón se ajustaron los puntos GPS-01, GPS-02 y GPS-07. Este ajuste se realiza con el software Leica Infinity (v3.1), con los datos tomados en campo tanto para la base como para los puntos GPS a georreferenciar.

La corrección y ajuste se realiza directamente con los archivos nativos de Leica, a continuación, se muestra el reporte de la línea base ajustada. (ver Foto 11)

Foto 11. Reporte de la línea base GNSS-076 a GPS-01



Fuente: PROAGUA, 2026

Debido a que la red de mojones de la CRC implementada en el 2021 ya había sido ajustada la cota elipsoidal con el geoide GEOVALLE-2015, no se hace necesario volver hacer el ajuste, solo se calcula la diferencia de cota elipsoidal y cota ortométrica del mojón GNSS-076 y se aplica la misma diferencia de ondulación al GPS-01, GPS-02 y GPS-07.

1.2.4. Coordenadas finales puntos GPS

Una vez implementadas las diferentes interacciones, se obtiene como resultado las coordenadas finales de los puntos GPS, las cuales se utilizan como base para la toma en modo RTK con el GNSS o en la estación total para realizar el levantamiento topo batimétrico detallado. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 1. Valor de coordenadas obtenidos

Nombre	C. Norte	C. Este	Cota. Orto métrica
GPS_01	763641.705	1053531.788	1738.339
GPS_02	763682.767	1053259.809	1735.445
GPS_03	763634.518	1053060.43	1733.242
GPS_04	763616.367	1052985.215	1732.29
GPS_05	763620.807	1052909.687	1731.244

GPS_06	763653.546	1053029.768	1732.174
GPS_08	763684.543	1052757.429	1725.599
GPS_09	763642.001	1052783.616	1726.939
GPS_10	763619.064	1052853.697	1729.41
GPS_11	763645.496	1052880.933	1730.459
GPS_12	763673.409	1052832.456	1729.164
GPS_07	763667.139	1052761.539	1726.14
GPS_13	763713.129	1052718.766	1721.181
GPS_14	763737.717	1052684.126	1716.963
GPS_15	763748.28	1052664.994	1715.973
GPS_16	763770.494	1052650.48	1713.61
GPS_17	763653.66	1052750.947	1725.81
GPS_18	763612.584	1052780.885	1724.683

Fuente: PROAGUA, 2026

1.2.5. Toma de datos con GNSS en modo RTK

Uno de los objetivos principales de los puntos GPS cercanos al área del levantamiento topo batimétrico es poder tener la base de corrección en tiempo real (RTK) cerca de la zona que se esté levantando (Foto 12).

El área total aproximada a realizar la topo batimetría fue de 38,082 metros cuadrados, unos 3.08 hectáreas. Con esta tecnología de GNSS en modo RTK se realizaron la toma de 23,912 metros cuadrados, es decir, 2.39 hectáreas aproximadamente, lo que equivale a un 62.8%. (Foto 13 y Foto 14)

Foto 12. Área realizada de topo batimetría



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 13. Área levantada con tecnología GNSS en modo RTK



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 14. Toma de datos de la topo batimetría con sistema GNSS en modo RTK.



Fuente: PROAGUA, 2026

1.2.6. Toma de datos con estación total

Posterior a la toma de todas las áreas despejadas donde la precisión fue optima con el sistema GNSS, se realiza la toma con estación total, apoyándose en los puntos GPS colocados previamente (ver Foto 15 y Foto 16).

Con estación total se realizó la toma de 14,170 metros cuadrados, es decir, 1.41 hectáreas aproximadamente, lo que equivale a un 37.2%.

Uno de los inconvenientes principales de realizar levantamientos con estación total, es la necesidad de contar con una visual muy clara, y al poseer el área final de trabajo una cobertura más densa, se hizo necesario efectuar un despeje, teniendo la precaución de no afectar cobertura vegetal de gran porte o que con la acción desarrollada se afectara especies de alto valor. El desarrollo de esta actividad se trató fuera lo menos invasiva posible. (ver Foto 17)

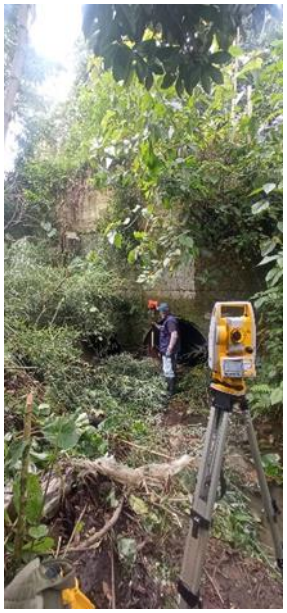
Foto 15. Área levantada con estación total



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 16 Toma de datos con estación total en diferentes sitios de la quebrada Machángara







Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 17. Toma de datos con estación total en diferentes sitios de la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

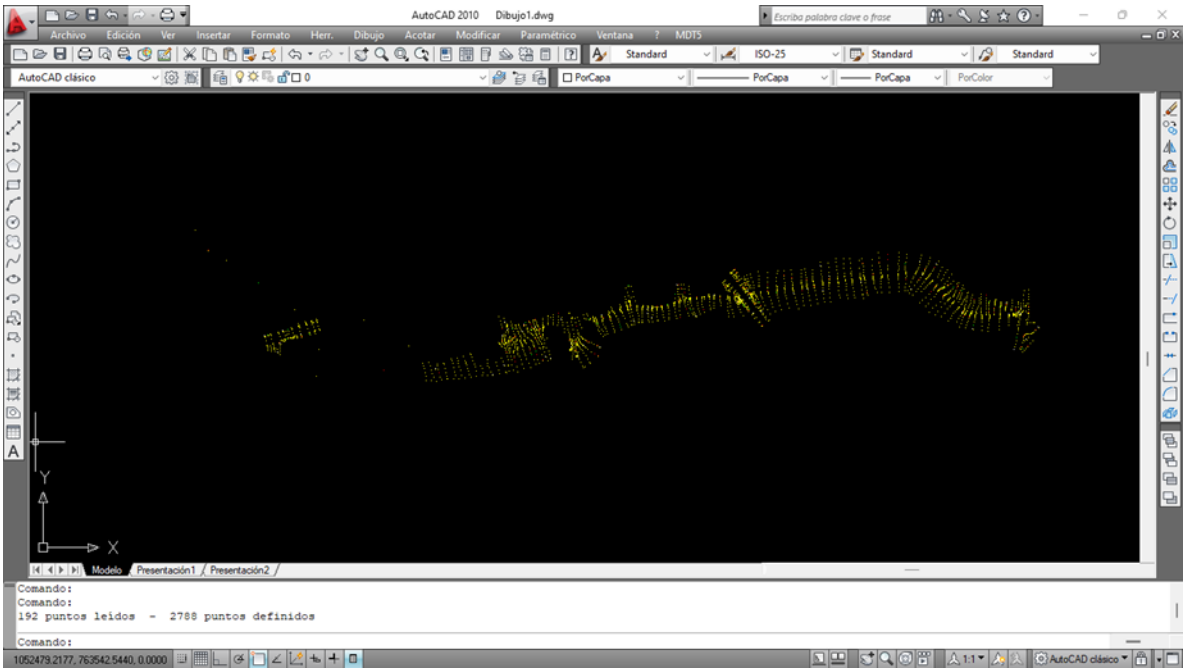
1.2.7. Procesamiento y dibujo

La información tomada con GNSS RTK fue descargada diariamente para verificar la calidad de la toma, verificando que los registros no superen los valores de precisión determinados para el proyecto, los cuales para el presente estudio correspondían a 5 cm; aunque esto se hace

directamente en campo se revisa nuevamente en el procesamiento. Dentro del procesamiento igualmente se revisa y verifica que no se dejen zonas sin tomar datos.

Una vez la información ha sido verificada y validada, es ingresada en la herramienta de diseño CAD, la cual permitió realizar el respectivo dibujo (ver Foto 18)

Foto 18. Procesamiento y descarga de los puntos tomados con GNSS



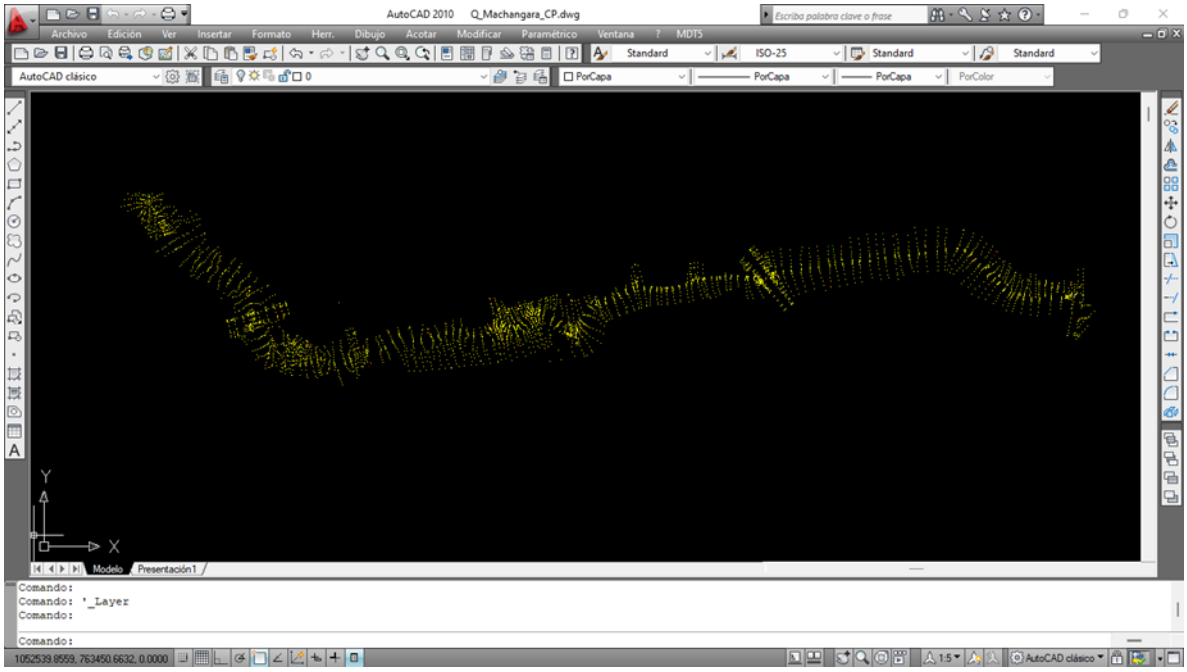
Fuente: PROAGUA, 2026

La información capturada con estación total es igualmente es descargada a diario y es procesada en Topcon Link para revisar y corregir errores de alturas de prisma y códigos principalmente. Posteriormente a se lleva la nube de puntos a formato CAD para realizar el correspondiente dibujo (ver Foto 19).

Luego de tener la nube de puntos con los datos tomados en campo, se realiza el dibujo, uniendo puntos de acuerdo con su código correspondiente, es decir, los puntos que sean vía, anden, paramento, etc.

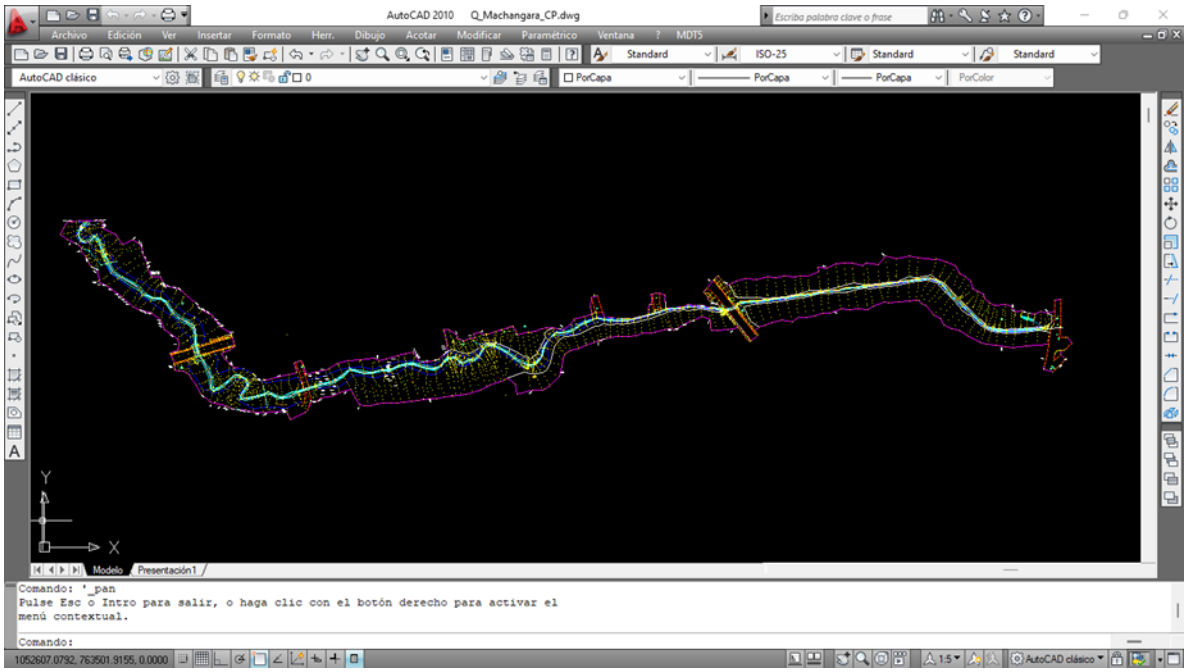
El dibujo planimétrico luego será un insumo para la generación de la superficie de terreno, dado que las líneas dibujadas sirven como líneas de rotura para una mejor interpolación y generación de la superficie de terreno (ver Foto 20)

Foto 19. Nube de puntos del levantamiento topo batimétrico de toda la zona



Fuente: PROAGUA, 2026

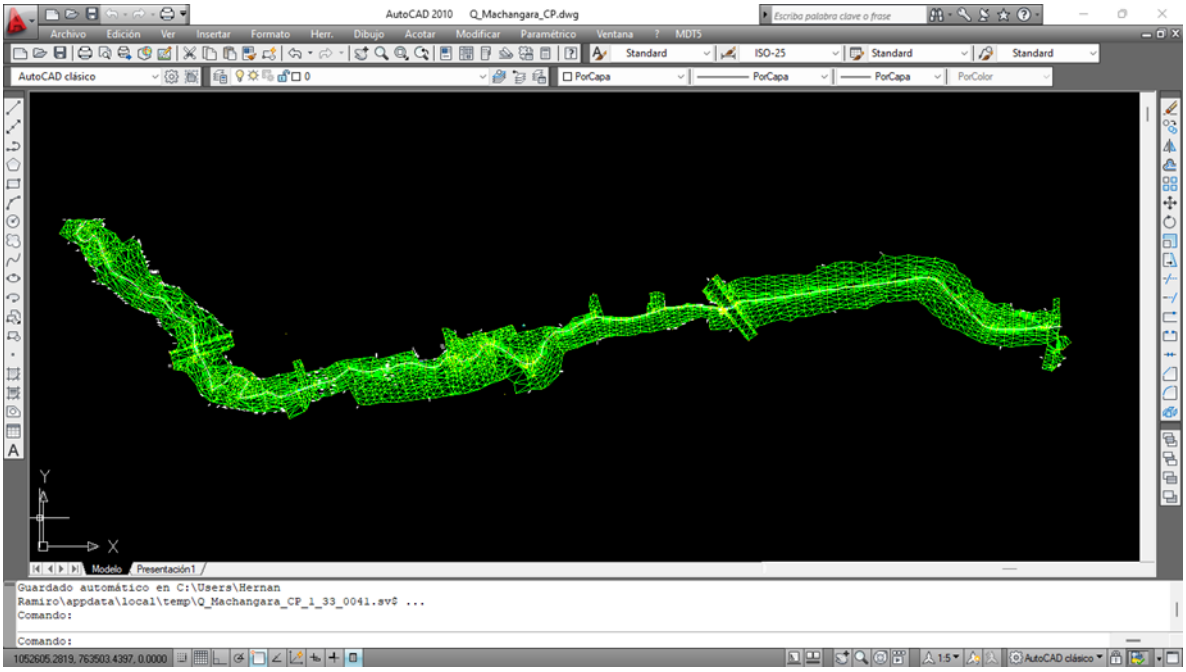
Foto 20. Dibujo planimétrico del levantamiento



Fuente: PROAGUA, 2026

Una vez se cuenta con el dibujo planimétrico terminado, se genera la superficie del terreno, para poder generar las curvas de nivel. (ver Foto 21)

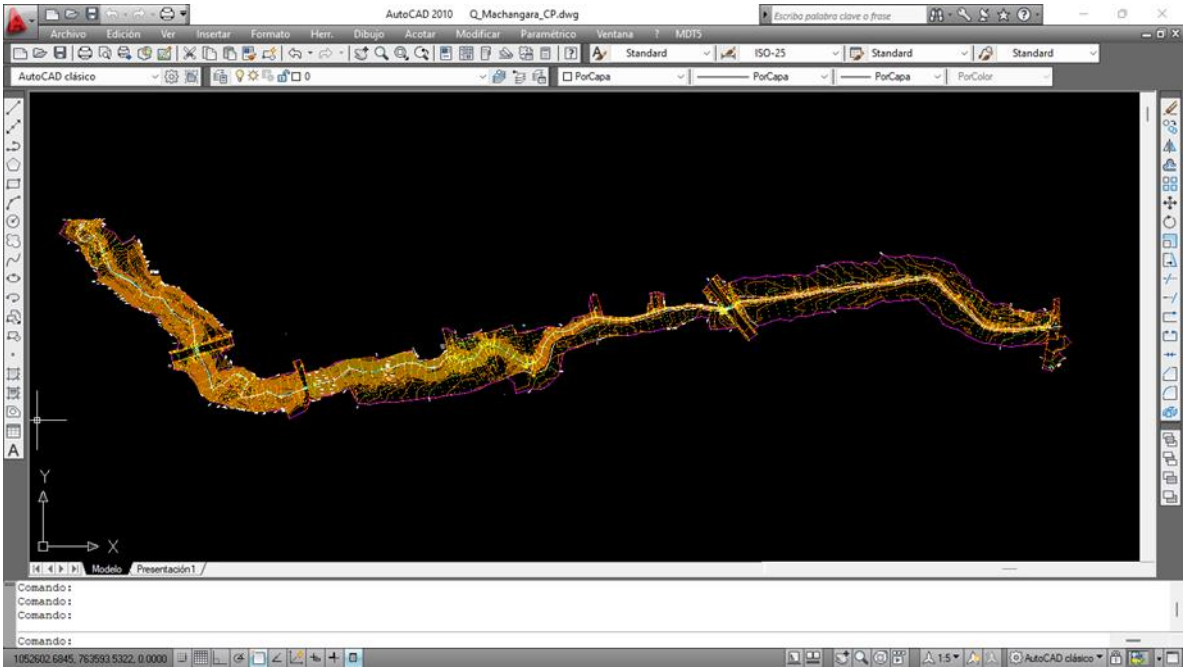
Foto 21. Plano de curvas de nivel del área de estudio



Fuente: PROAGUA, 2026

Una vez efectuado el procedimiento, queda terminado la totalidad del plano Planimétrico y Altimétrico del área de estudio. (ver Foto 22)

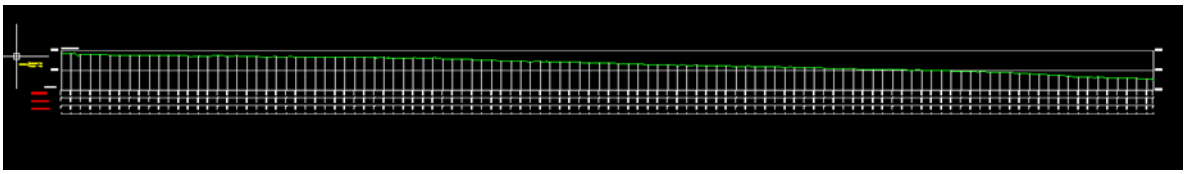
Foto 22. Plano Planimétrico y Altimétrico del área de estudio



Fuente: PROAGUA, 2026

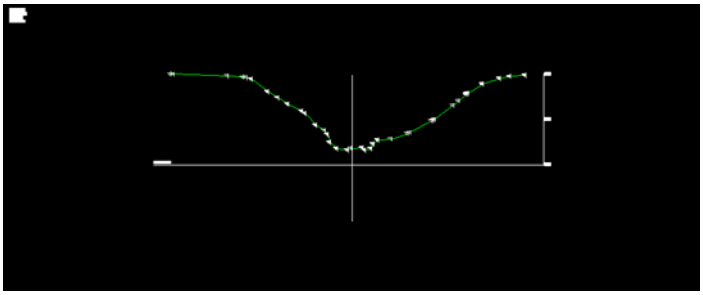
Se trazo el eje de la quebrada y se obtuvo el perfil longitudinal con una longitud de 1116 metros lineales (Foto 23). Cabe indicar que, producto del ejercicio realizado fue posible obtener secciones transversales cada 20 metros; en la Foto 24, se evidencia el dibujo de una de las secciones generadas a partir de la información procesada.

Foto 23. Perfil longitudinal de la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 24. Sección transversal del Pk 0+780 de la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

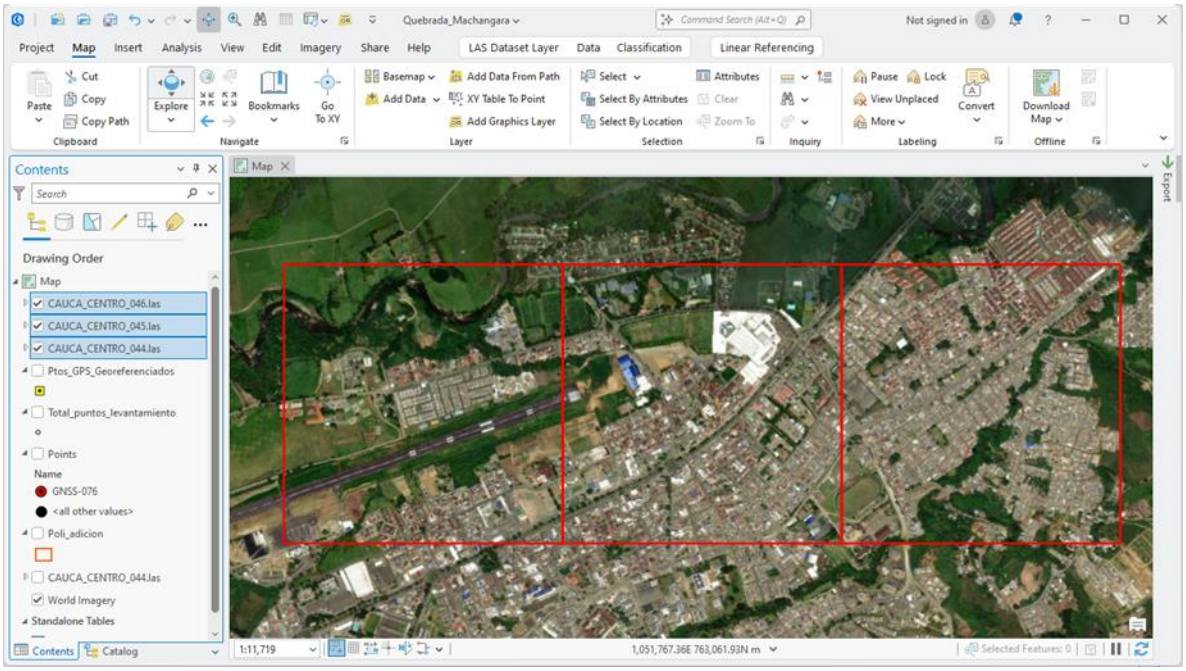
1.2.8. Generación del modelo digital de terreno (MDT)

Para la generación del Modelo Digital de Terreno (MDT) fue necesario tomar la información de los datos LIDAR generados en desarrollo del proyecto de la CRC de 2021, de los cuales se trabajó con los archivos "CAUCA_CENTRO_044.las", "CAUCA_CENTRO_045.las" y "CAUCA_CENTRO_044.las". (ver Foto 25).

Con el área aferente aportada por el equipo de modelado hidráulico se dejó la información necesaria; igualmente fue descartada aquella información que no coincidía con la topo batimetría; esto con la finalidad de generar un modelo digital mucho más ajustado a la realidad. (ver Foto 26)

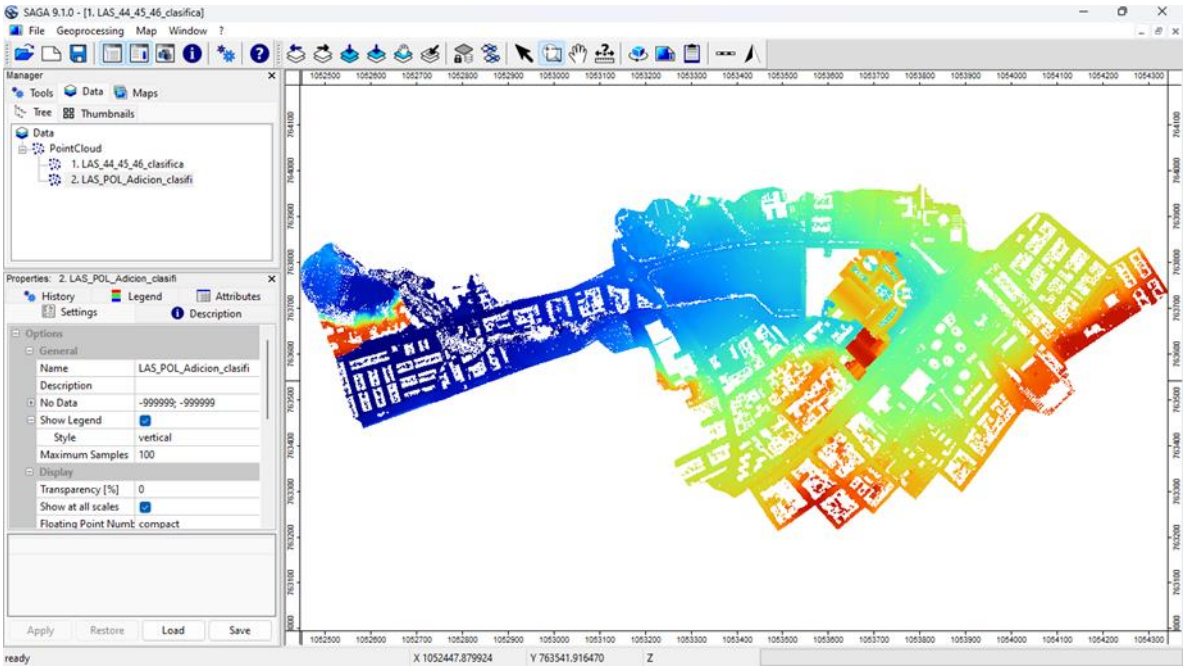
La información LIDAR seleccionada fue clasificada dejando solo los puntos tipo "GROUND", luego se redujo la cota elipsoidal promedio de la zona, la cual tiene un valor de 29,45

Foto 25. Información LIDAR seleccionada para generar MDT



Fuente: PROAGUA, 2026

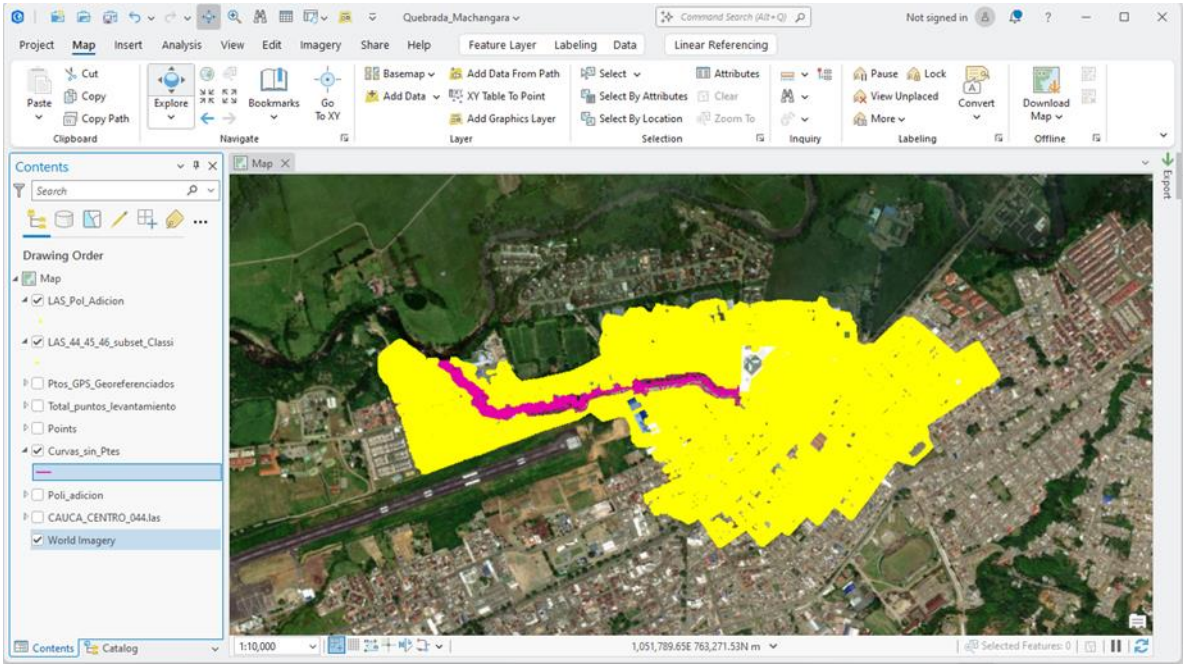
Foto 26. Datos LIDAR seleccionados para generar el MDT



Fuente: PROAGUA, 2026

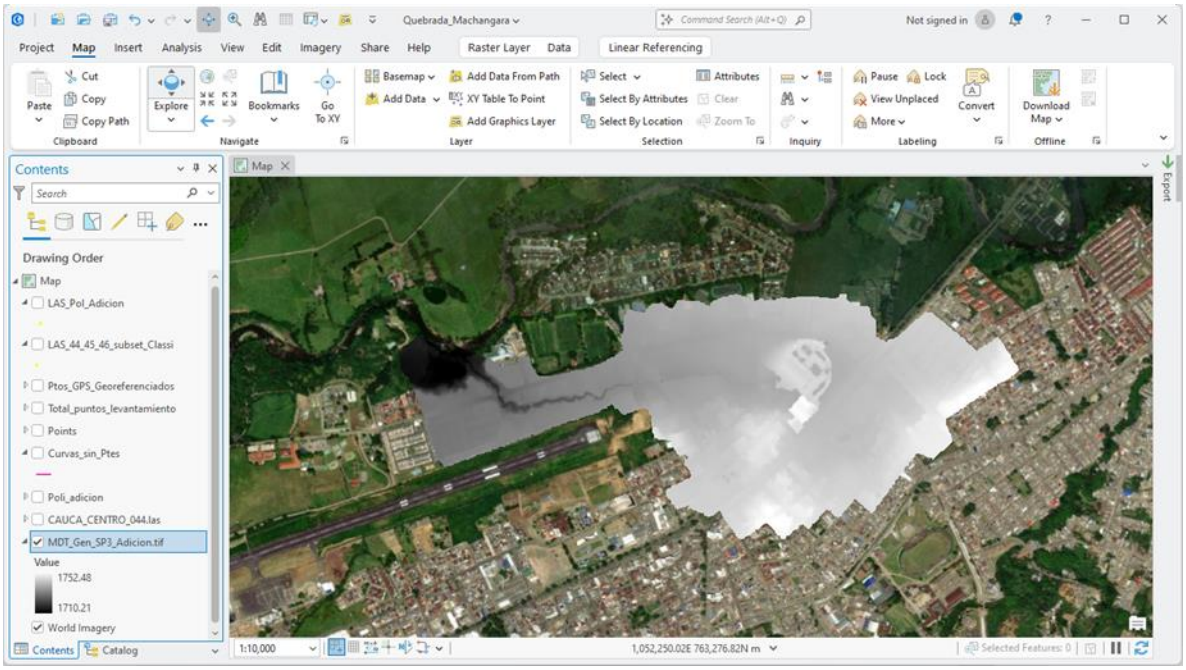
Para generar el MDT se hizo necesario procesar la información LIDAR y topo batimétrica en ArcGIS y generar el ráster final, tal como se presenta en la Foto 27 y Foto 28.

Foto 27 Datos LIDAR clasificados y ajustados para generar el MDT en conjunto con la información de la Top Batimetría



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 28. Modelo Digital de Terreno (MDT) sin puentes del área aferente de la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2026

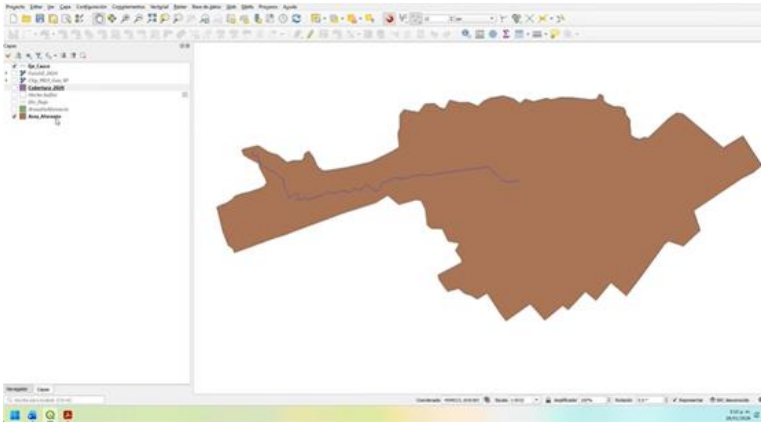
1.3. Componente hidrológico e hidráulico

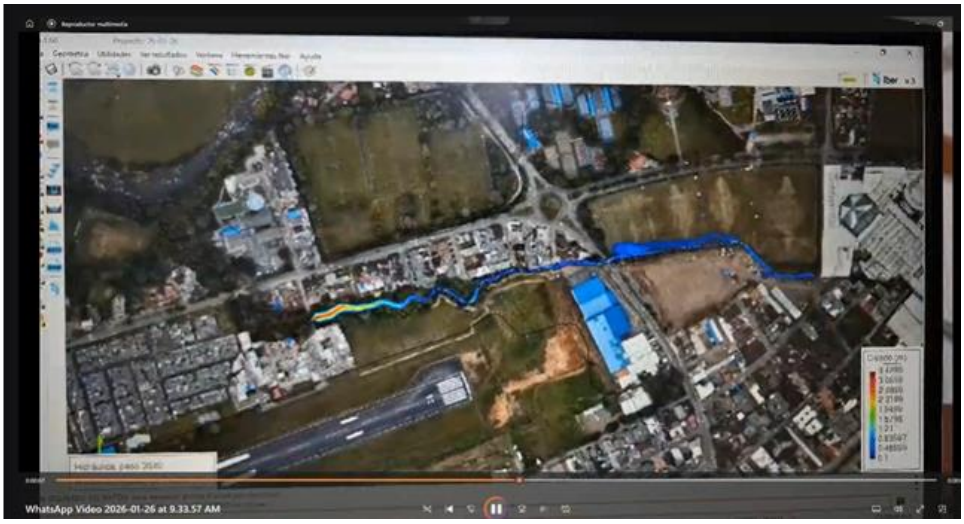
En relación a ese componente se precisa indicar que fue entregado en el mes de diciembre un documento denominado "Componente Hidráulico – informe de Climatología", en el cual se presenta de manera detallada el manejo y análisis de información climatológica del área de estudio a partir del análisis de las variables meteorológicas de precipitación y temperatura, considerando tanto su comportamiento temporal como su distribución espacial.

Para tal fin fueron analizados los registros de las estaciones climatológicas disponibles y se espacializarón permitiendo representar de manera continua el régimen climático, proporcionando una base sólida para la interpretación climática y el desarrollo de análisis posteriores. Se logró la consolidación del área de la microcuenca a través de reuniones sostenidas con la supervisión del contrato (CRC), logrando establecerse las áreas que posiblemente aporta caudal a la quebrada (Ver Foto 29).

Se avanzo en la esquematización de la maqueta (estructura) del área de estudio con fines de avanzar en el componente hidráulico, el cual tuvo como soporte el empleo del modelo IBER, el cual involucra un módulo hidrodinámico que permite la simulación de flujos de cauces naturales, permitiendo así el cálculo de avenidas e inundaciones y la delimitación de zonas inundables

Foto 29. Consolidación del área de la microcuenca y estructuración del modelo de trabajo





Fuente: PROAGUA, 2026

Cabe indicar que, la precisión en los resultados dependerá en gran medida de la definición de las fronteras que se establezcan, es decir, la identificación de las zonas aportantes que permitan establecer el tránsito de caudal para diferentes periodos de retorno.

Frente a esta condición se tiene que, debido a que el cauce de la microcuenca se hace visible en la parte posterior del Centro Comercial Campanario, se requiere la toma de decisiones frente al porcentaje (%) del agua que recogen las cubiertas del centro comercial entran al sistema, así como de aquellas que en la actualidad ocasionan inundación en la parte del centro comercial que se localizan sobre la vía panamericana (calle 25 Norte), denotándose de manera a priori que estas últimas por efectos de condiciones topográficas y de conectividad hidráulica, no llegan hasta el punto donde el cauce de la quebrada se hace visible.

Es por demás indicar que las interacciones internas del modelo para establecer el tránsito de caudal toman tiempos prolongados, lo que hace que la definición de la ronda asociada al componente hidrológico – hidráulico tome más tiempo del esperado.

La importancia y complejidad de este componente ha conllevado al desarrollo de reuniones tanto internas del equipo de trabajo, como con profesionales de la supervisión a cargo de la CRC, permitiendo en cada una de ellas, tomar decisiones en relación con las diferentes variables que intervienen en el ejercicio particular.

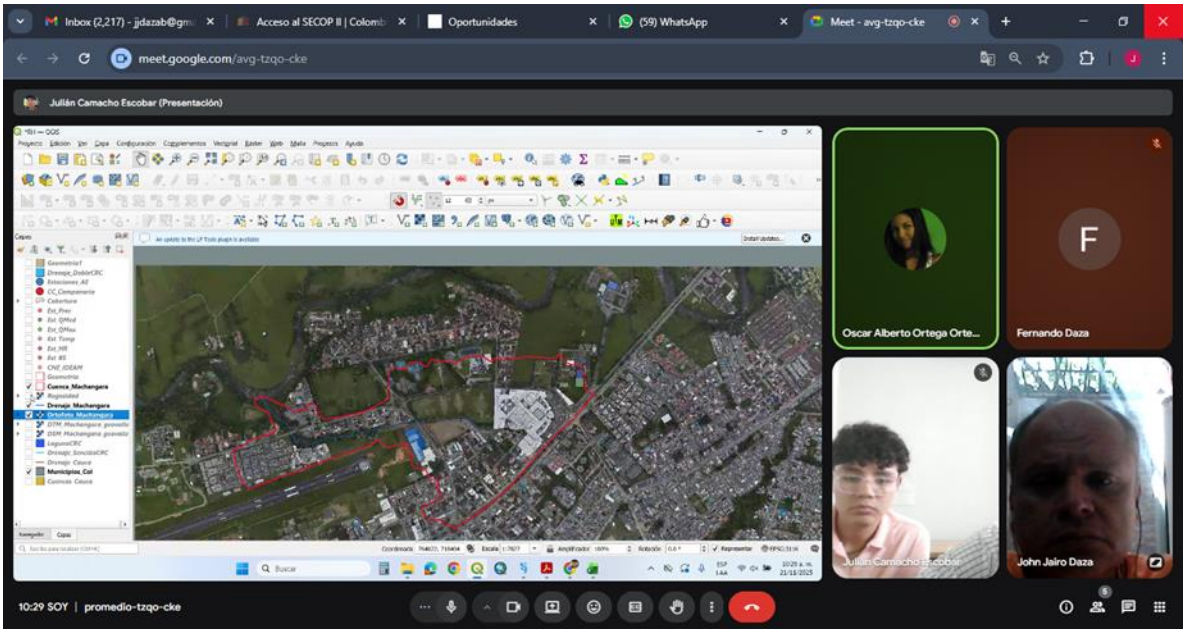
1.3.1. Reuniones internas del equipo de trabajo

Tal como se indicó en el apartado anterior, la definición de aspectos de interés e importancia en el componente hidrológico – hidráulico han suscitado el desarrollo de numerosas reuniones,

en las cuales el profesional encargado del componente ha expuesto al equipo profesional involucrado en el desarrollo del proyecto, algunas consideraciones, permitiendo llegar a consensos que permitan avanzar en el ejercicio.

Las primeras de ellas orientadas a establecer algunas consideraciones contempladas en estudios existentes que involucraban de manera directa o indirecta el área de estudio del presente contrato, los cuales fueron objeto de compilación y análisis, tal es el caso de delimitaciones preliminares de áreas de interés, tal como se presenta en la Foto 30.

Foto 30. Identificación de áreas de interés en relación con la quebrada Machángara



Fuente: PROAGUA, 2025

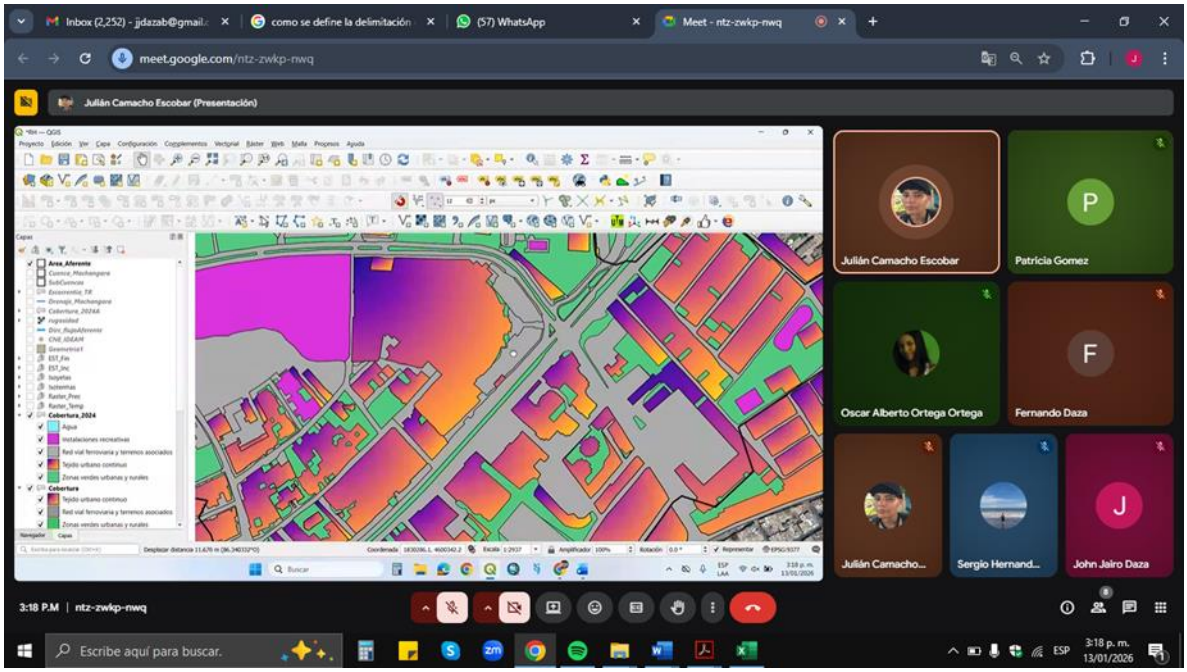
Debido a que el modelo involucra la asignación de coeficientes de rugosidad, fua abordado en algunas de las reuniones el tema de las coberturas presentes dentro del área de análisis, haciéndose necesario mejorar el nivel de precisión en cuanto a la información consignada en el estudio desarrollado por la empresa INGEOVISTA para la CRC en el año 2021

En el tema de las coberturas adicional a la ortofoto proporcionada por la CRC, la información fue complementada con una imagen de Google Earth del año 2024, permitiendo realizar en esta última, una extensión hacia la zona de aferencia marcada como cuenca, pudiéndose evidenciar que la coherencia con la información contenida en el estudio del año 2021. (ver Foto 31 y Foto 32)

Se reviso el tema de las curvas a nivel contenidas en estudio realizado por la universidad del Cauca, y las cuales son de gran similitud a las contenidas en el estudio de INGEOVISTA realizado en el año 2021.

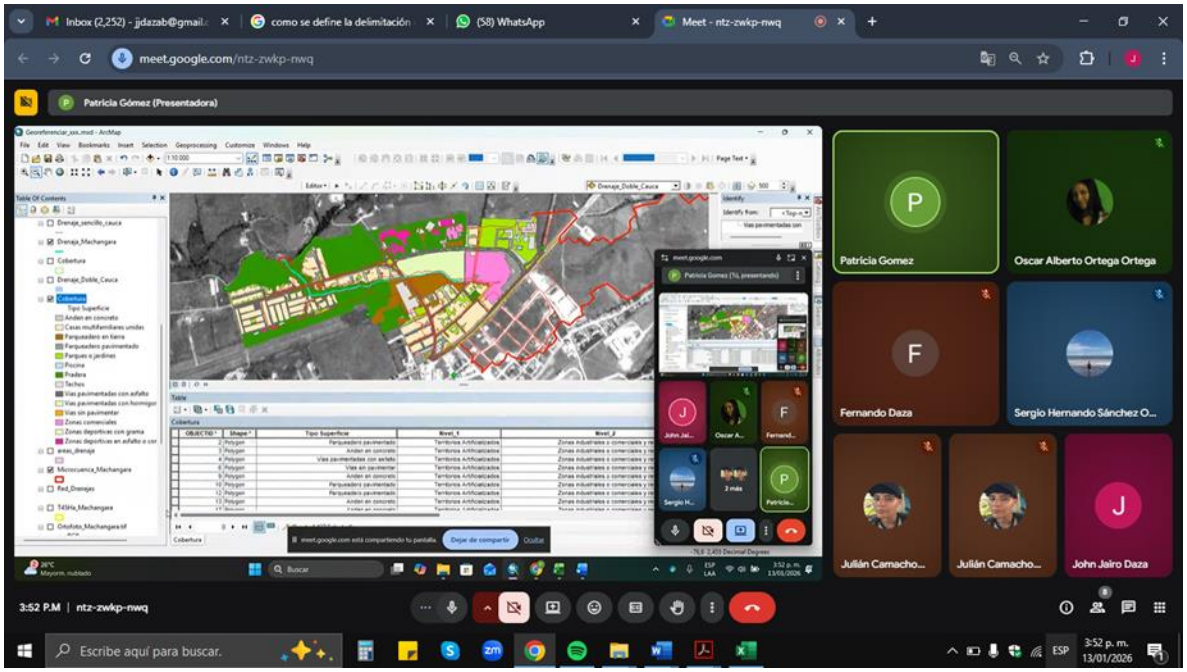
Como resultado de la jornada realizada se consensuo sobre la necesidad de una reclasificación de la cobertura que existe en la ribera de la quebrada, teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover y tomando como soporte el trabajo de campo realizado desde el componente ecosistémico (ver Foto 33)

Foto 31. Identificación de coberturas en el área de la quebrada Machángara a partir de estudios previos



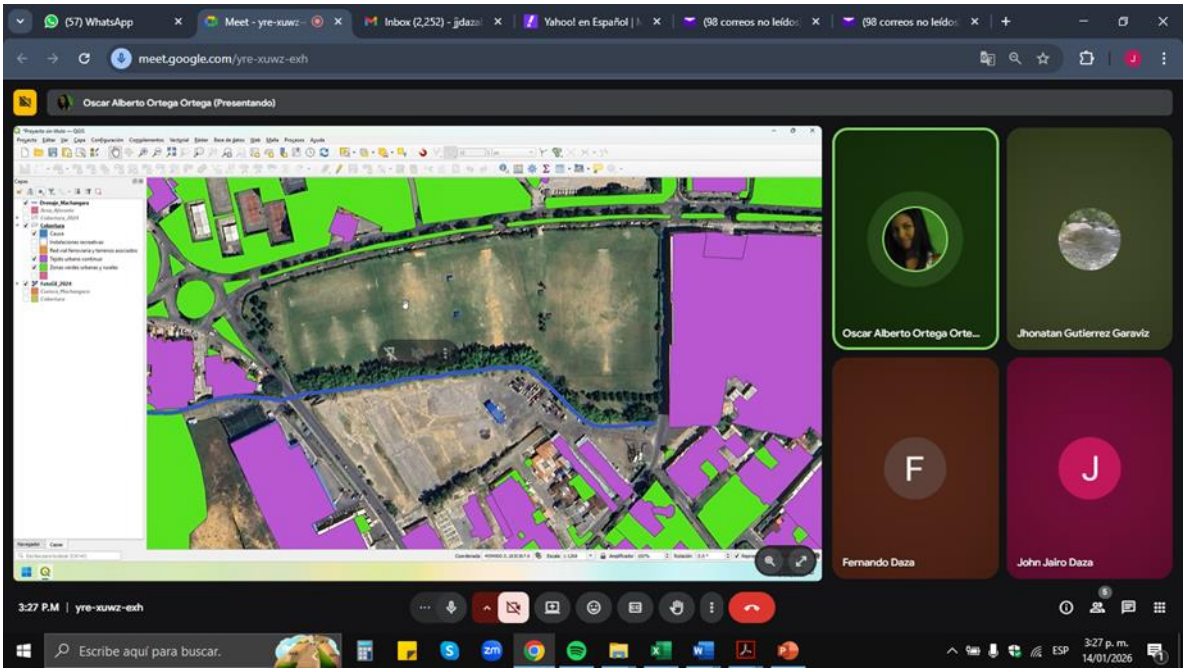
Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 32. Identificación de coberturas de interés en la zona de estudio



Fuente: PROAGUA, 2026

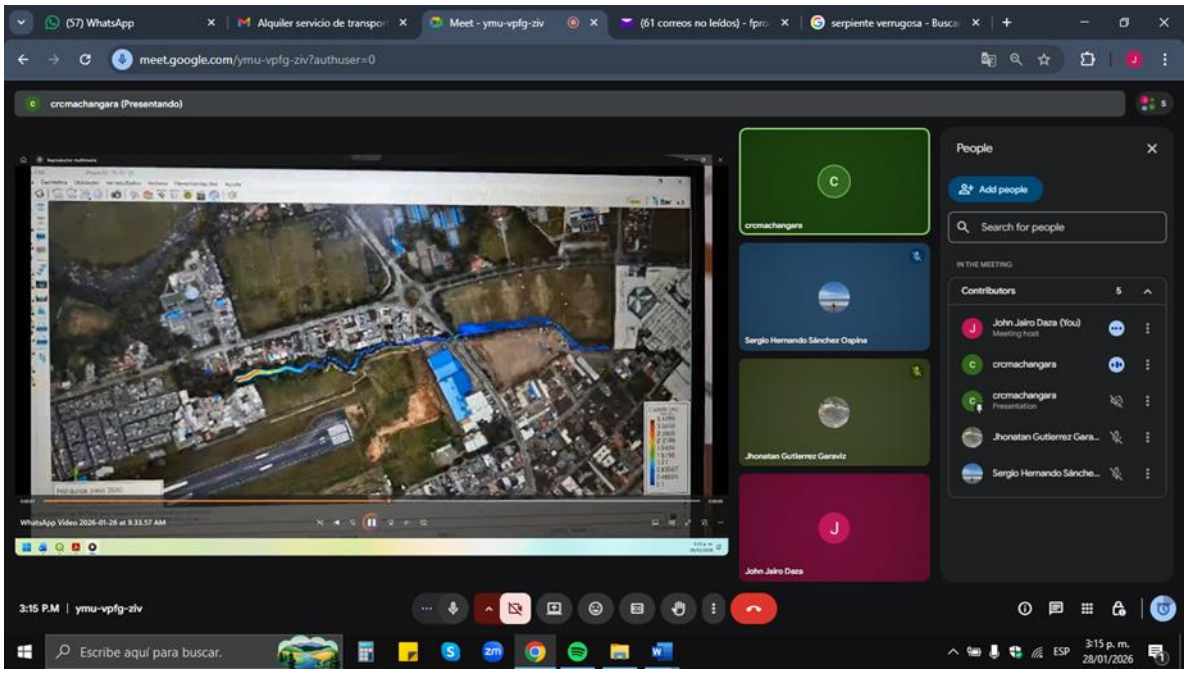
Foto 33. Reclasificación de coberturas



Fuente: PROAGUA, 2026

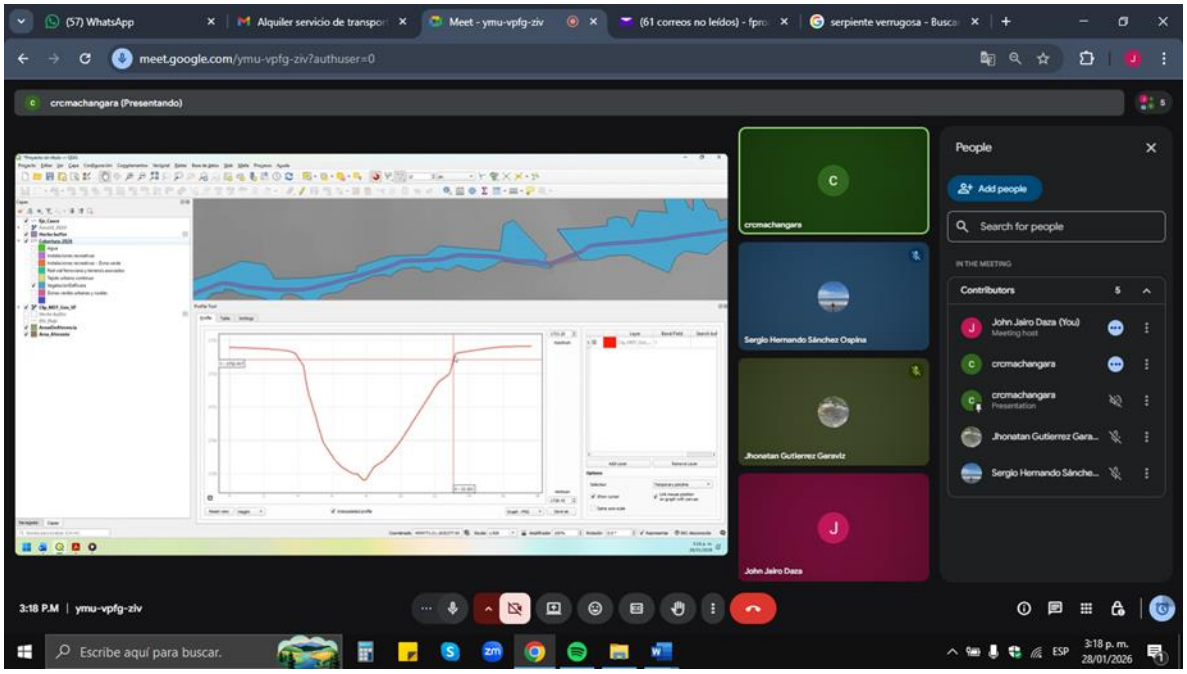
Integrando la información topo batimétrica al desarrollo del componente hidrológico – hidráulico, se hizo necesario ajustar algunos polígonos de las áreas de aferencia esquematizados, permitiendo con ello que el modelo esquematizado pudiera correr en sus instancias iniciales (ver Foto 34) y contrastarlo con las secciones hidráulicas levantadas en unos sitios de interés (ver Foto 35).

Foto 34. Visualización de corridas iniciales del modelo



Fuente: PROAGUA, 2026

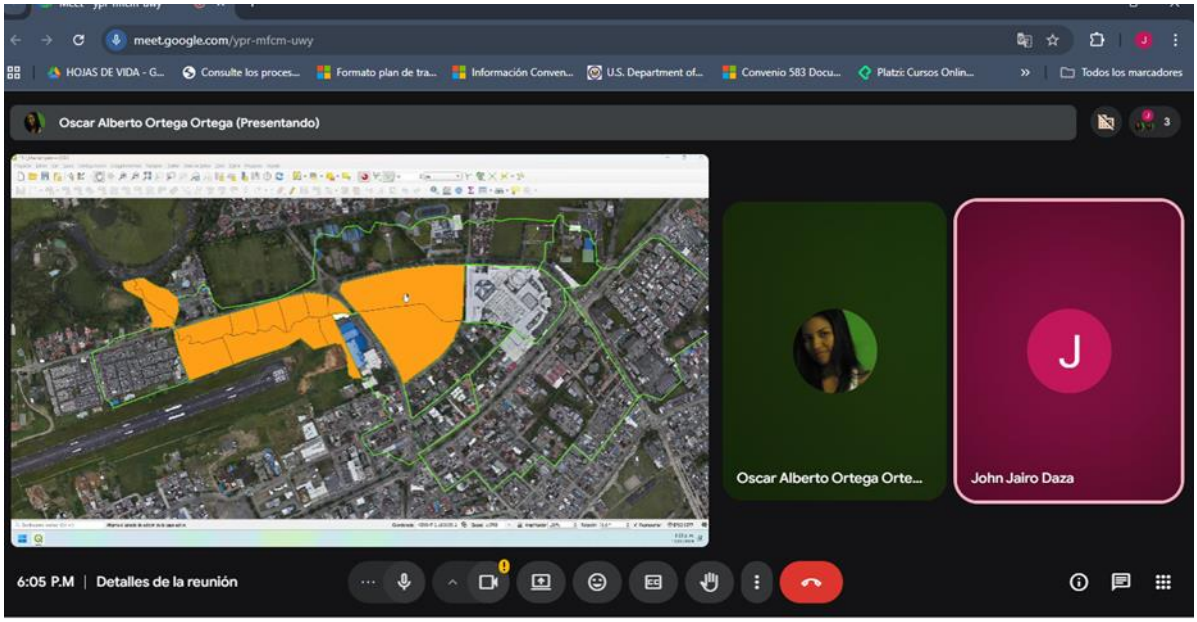
Foto 35. Sección hidráulica de la quebrada Machángara en puntos de interes



Fuente: PROAGUA, 2026

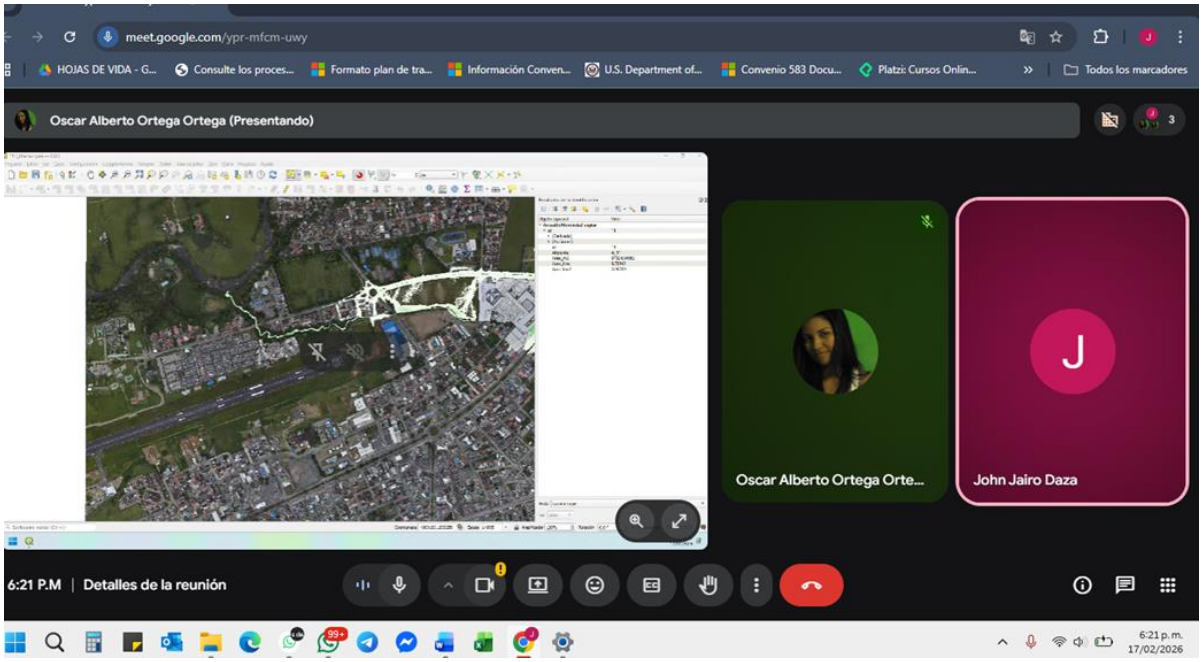
Se continúa avanzando para definir con precisión las zonas aportantes de caudal asociado a las precipitaciones, que permitan que el modelo responda a las condiciones evidenciadas en campo, guardando coherencia con los flujos de caudal y la llegada de ellos hasta el cauce de la quebrada Machángara en sus diferentes puntos de interés y análisis; condiciones preliminares que se ilustran en la Foto 36 y Foto 37.

Foto 36. Esquematización y espacialización de puntos de aporte



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 37. Visualización de condiciones de acumulación de agua en escenarios preliminares

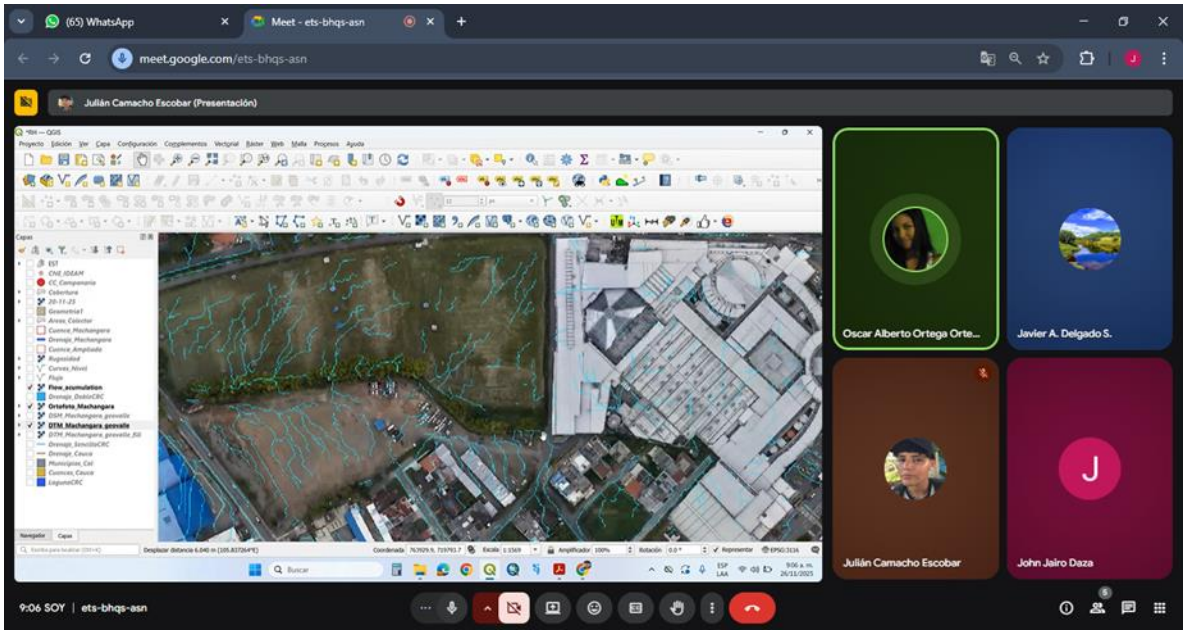


Fuente: PROAGUA, 2026

1.3.2. Reuniones con el equipo de supervisión del proyecto

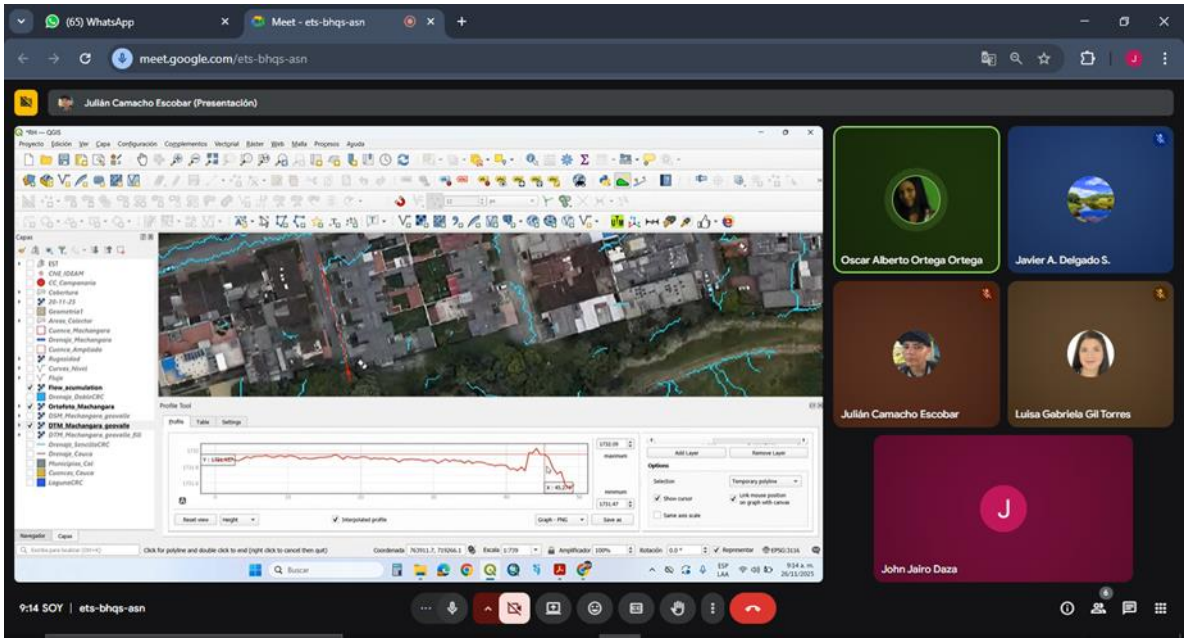
De manera paralela y a través de reuniones virtuales y presenciales desarrolladas en diferentes instantes, se han sostenido acercamientos con los profesionales de la Corporación en harás de dar a conocer los avances en el componente hidrológico – hidráulico principalmente, permitiendo con ello recibir aportes, generar consensos y avanzar en primeras de lo que fue el acotamiento del área de la microcuenca de la quebrada Machángara, permitiendo a partir de ello y soportados en el modelo digital del terreno, establecer posibles entradas de agua al sistema (ver Foto 38); frente a esta condición se precisa indicar que debido a los procesos de antropización a los cuales ha sido sometida la franja de protección de la quebrada fueron realizados verificaciones en campo, permitiendo nutrir y/o validar los resultados de la esquematización. (ver Foto 39, Foto 40 y Foto 41)

Foto 38. Identificación de flujos a partir del empleo del MDT



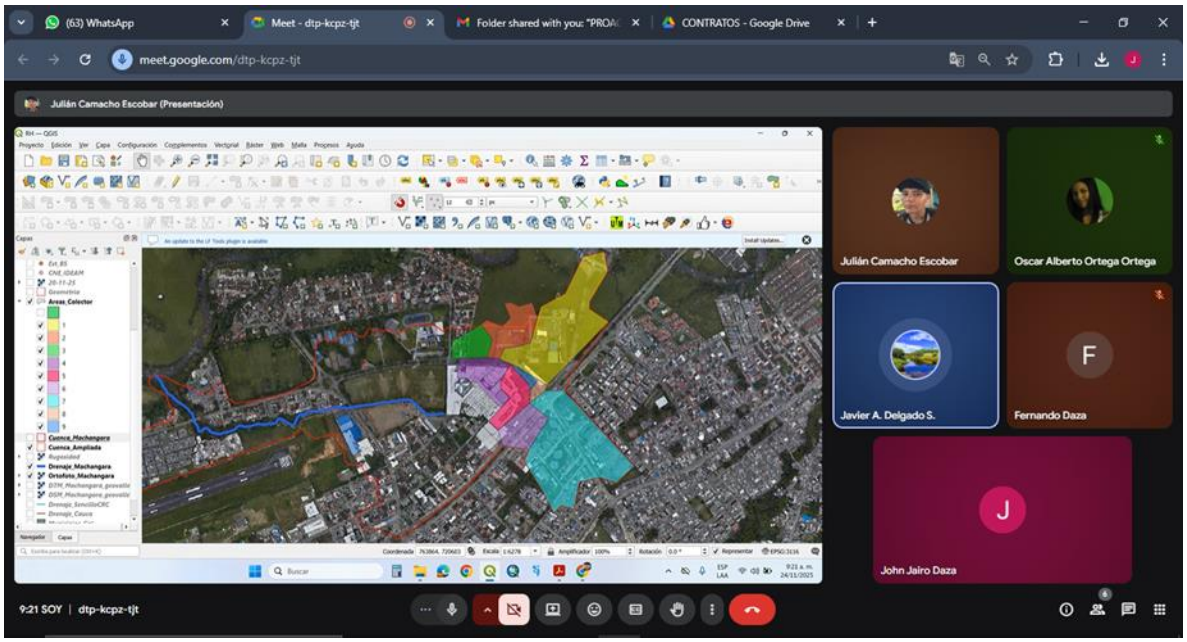
Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 39. Chequeo de condiciones de posibles aportes de caudal



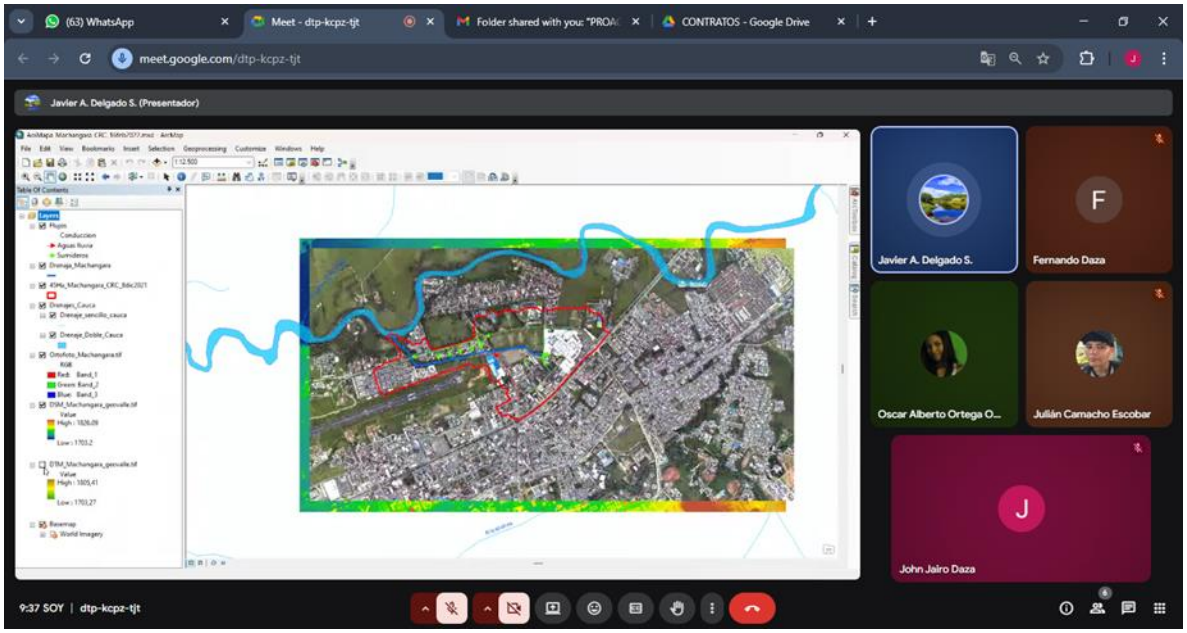
Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 40. Identificación de áreas del sistema esquematizado.



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 41. Localización del río Cauca en relación con la zona de estudio



Fuente: PROAGUA, 2026

1.4. Componente Ecosistémico

Al igual que para el resto de los componentes, el punto de partida para los análisis consistió en el acopio de información secundaria que diera cuenta de las condiciones ambientales del área de la microcuenca o de áreas cercanas a ella.

Se efectuaron igualmente los recorridos preliminares de campo para definirlo los transectos de trabajo, tal como se presenta en la Foto 42, en los cuales se monitorearon las condiciones asociadas a la flora, es decir establecimiento de alturas predominantes, tal como lo establece la Guía para el acotamiento de rondas hídricas en Colombia del MADS.; algunos aspectos de la jornada se presentan en la Foto 43.

Foto 42. área de estudio con transectos establecidos en campo



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 43. Desarrollo de la jornada con participación del Luis Eduardo López Vargas (Unicauca)



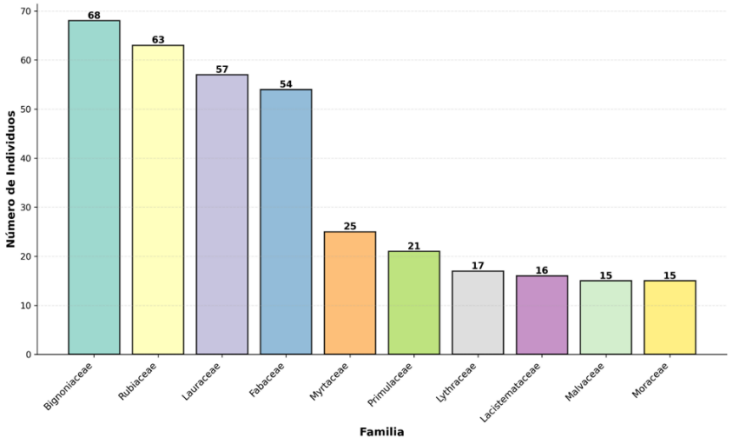


Fuente: PROAGUA, 2026

A partir de la información primaria levantada en campo y atendiendo las directrices de la Guía para el acotamiento de rondas hídricas en Colombia (MADS), se encontró que la existencia de 477 individuos distribuidos en 33 familias (Bignoniaceae con 68 individuos (14,26% del total), Rubiaceae con 63 individuos (13,21%), Lauraceae con 57 individuos (11,95%) y Fabaceae con 54 individuos (11,32%) = 50,74%) 46 géneros y 60 especies (ver Foto 44). El documento del componente ecosistémico está en proceso de construcción, en el cual se detallarán aspectos del ejercicio de campo y así como la definición de la ronda hídrica desde este componente.

Foto 44. Algunos datos de interés del levantamiento de campo del componente ecosistémico

Categoría Taxonómica	Número
Individuos	477
Familias	33
Géneros	46
Especies	60

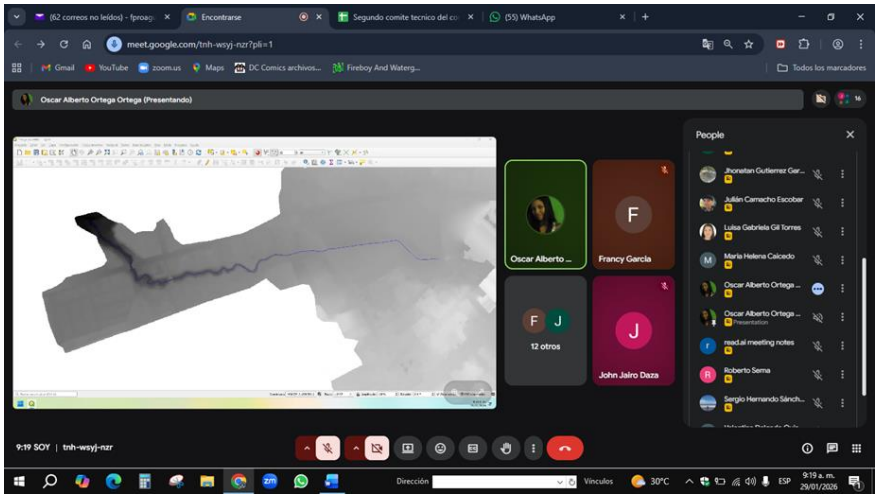


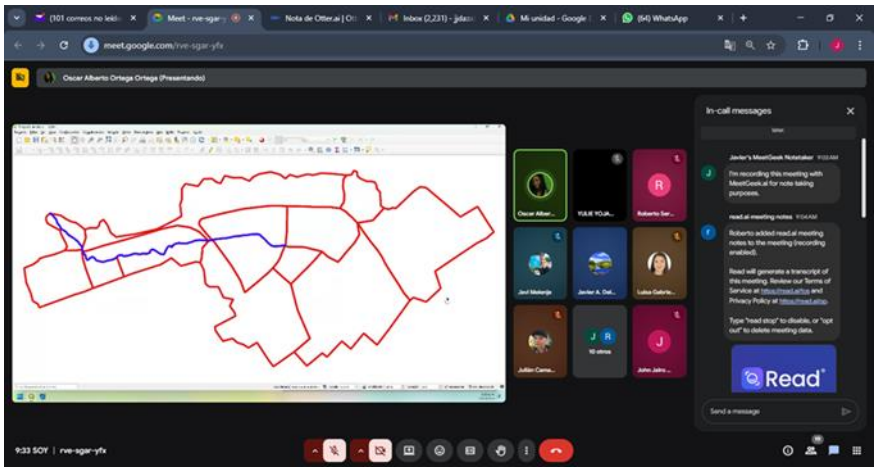
Fuente: PROAGUA, 2026

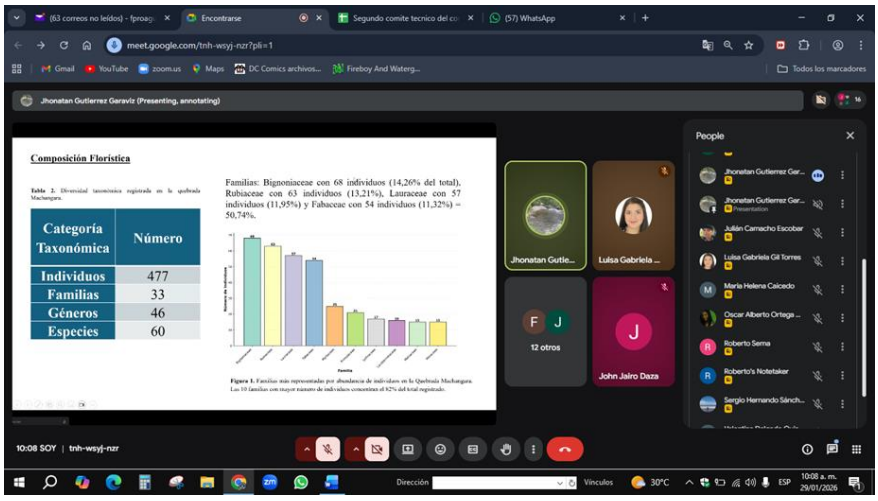
2. COMITES TECNICOS

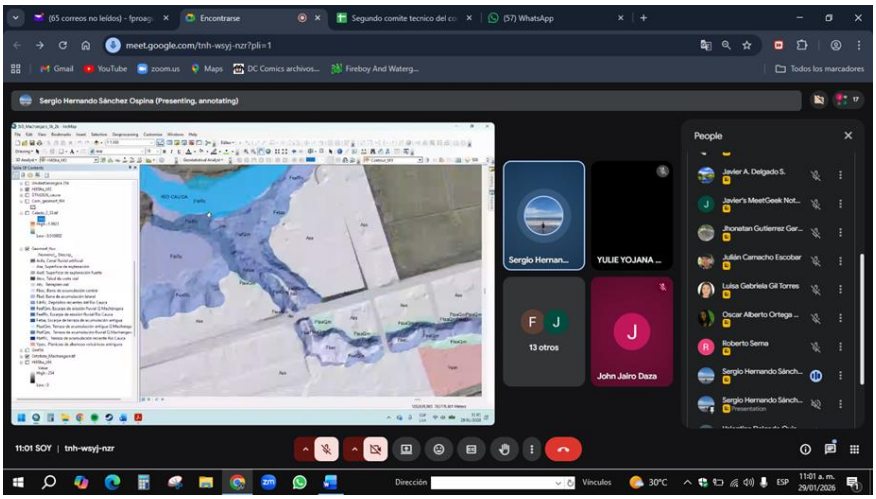
Como parte del seguimiento que realiza la Corporación al desarrollo del ejercicio, fue realizado el comité técnico No 2 realizado a finales del mes de enero de 2026, sirvió para evidenciar los planteamientos (esquematizaciones) del modelo hidráulico para el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada Machángara, los aspectos del desarrollo del componente ecosistémico, cuyos aspectos técnicos se sustentaron en los lineamientos de la Guía para el acotamiento de Rondas Hídricas de Colombia (MADS), en la cual se contemplan solo aspectos relacionados con la flora (vegetación y alturas presentes en las unidades geomorfológicas identificadas) y los aspectos propios del componente geomorfológico (ver Foto 45)

Foto 45. Aspecto Comité Técnico No 2









Fuente: PROAGUA, 2026

3. COMENTARIOS FINALES

Si bien se ha avanzado con pasos firmes en la definición de aspectos técnicos que permitan soportar el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada Machángara en cada uno de sus componentes, acorde a los lineamientos establecidos en la guía técnica para el acotamiento; en el caso del componente hidrológico- hidráulico, la esquematización (maqueta) del modelo hidrodinámico empleado ha tomado más tiempo de los previsto, producto de tomar decisiones frente a la definición del volumen de agua a ingresar al sistema en su parte inicial; lo que ha conllevado al planteamiento de un número mayor de posibles escenarios

En este mismo sentido los tiempos de las corridas del modelo para los diferentes escenarios son prolongados, lo que ha conllevado a que hasta el momento la envolvente resultante no se ha podido establecer, tema de alto interés, si se toma en consideración que sobre esta se deben establecer las medidas de manejo, las cuales deben ser trabajadas de manera articulada con los actores sociales.

Basado en el trabajo realizado a la fecha y teniendo de referente lo que aún falta por desarrollar, como lo es la determinación de la envolvente final que dará origen al acotamiento de la ronda hídrica y el trabajo con los actores sociales para la esquematización de posibles medidas de manejo, se prevé que los tiempos contractuales son insuficientes, situación está que fue avizorada desde el mismo inicio de ejecución del proyecto.

Es destacar que, a finales del mes de enero de 2026, se sostuvieron llamadas telefónicas con personal del centro comercial, en procura de conocer el manejo de las aguas lluvias de las cubiertas del establecimiento, indicándose por parte de quien atendió la llamada[1], que el agua generada en la zona de parqueaderos descubiertos, esta se direccionada hacia un tanque desde el cual era bombeada hacia el canal (tubería) de manejo de aguas lluvias que posee el acueducto del municipio de Popayán y cuyo trazado es paralelo a la vía Panamericana, el cual descarga sus aguas finalmente al río Cauca.

Con relación al agua de las cubiertas, el 80% va a la tubería que descarga finalmente al inicio de la quebrada Machángara, cuya ubicación se presentan a continuación (ver Foto 46):

Foto 46. Aspecto de la quebrada Machángara en sus inicios de recorrido y localización de tuberías





Fuente: PROAGUA, 2026

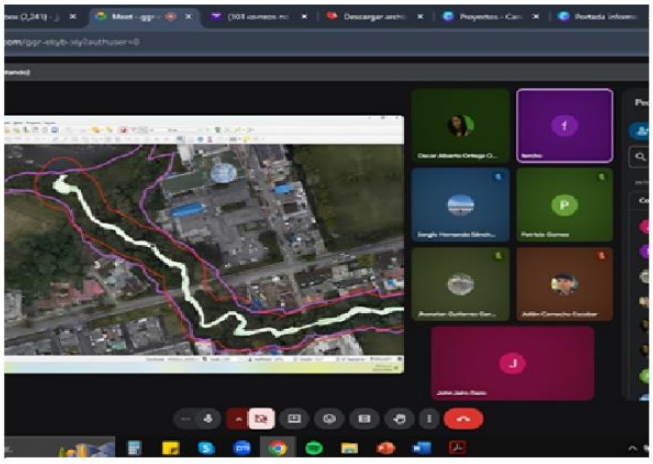
[1] William Henao: personal de mantenimiento del Centro Comercial Campanario, a quien se le informo nuevamente sobre la importancia de contar con información relacionada con la quebrada Machángara



Fuente: Proagua 2026



Fuente:Proagua 2026



Fuente: Proagua 2026

REALIZAR EL ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DE LA CORRIENTE PRIORIZADA QUEBRADA MACHÁNGARA (SENTENCIA EN SEGUNDA INSTANCIA) CONFORME A LA GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA DISPUESTA POR EL MADS, EN EL MARCO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO GESTIÓN DE LA GOBERNANZA DEL AGUA PARA LA ORDENACIÓN, EVALUACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DEL AGUA

INFORME FEBRERO DE 2026

FEBRERO DE 2026

Contrato CRC No 0635 de 2025

"Realizar el acotamiento de la ronda hídrica de la corriente priorizada quebrada Machángara (sentencia en segunda instancia) conforme a la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de rondas hídricas en Colombia dispuesta por el MADS, en el marco de la ejecución del proyecto Gestión de la Gobernanza del Agua para la Ordenación, Evaluación y Reglamentación del Agua".

Contrato de Consultoría No 0635 de 2025

INFORME MES FEBRERO DE 2026

SUPERVISOR CRC:
Yulie Yojana Manquillo C.
Subdirección de Gestión Ambiental
Apoyo a la Supervisión
Javier Delgado
Gabriela Gil

REPRESENTANTE LEGAL FUNDACIÓN PROAGUA:
John Jairo Daza Basto

Febrero de 2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **6**

I. EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES PREVISTAS **7**

1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN JUDICIAL **7**

2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA QUEBRADA MACHÁNGARA EJE DEL CAUCE Y COBERTURA **22**

2.1. Metodología y fuentes de información 22

2.2. Georreferenciación y rectificación 23

2.3. Consideraciones técnicas – análisis multitemporal del cauce 25

2.4. Construcción eje del cauce 26

2.5. Conclusiones preliminares asociadas al eje del cauce 29

3. COMPONENTE HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO **30**

3.1.1. Reuniones internas del equipo de trabajo 31

3.1.2. Reuniones con el equipo de supervisión del proyecto 34

4. COMENTARIOS FINALES **35**

LISTADO DE FOTOS

Foto 1. Condiciones de las imágenes aéreas 23
Foto 2. Postproceso implementado en la imagen aérea. 24
Foto 3. Estructura GDB 25
Foto 4. Información empleada en la restitución del cauce – foto año 1970 26
Foto 5. Información empleada en la restitución del cauce – foto año 1987 27
Foto 6. Información empleada en la restitución del cauce – ortofoto año 2021 28
Foto 7. Información empleada en la restitución del cauce – ortofoto año 2021 28
Foto 8. Multitemporal eje del cauce de la quebrada Machángara, sobre ortofoto 2021 30
Foto 9. Visualización de condiciones de acumulación de agua en escenarios preliminares 31
Foto 10. Superposición preliminar de las rondas establecidas por componente 33
Foto 11. Aspecto reunión presenciales 35
Foto 12. Listado de asistencia 35

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Documentos proceso sancionatorio relacionados con Norbey Martin Muñoz Orozco, ARINSA O Centro comercial Campanario. 10
Tabla 2. Documentos proceso sancionatorio a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán. 17
Tabla 3. Documentos proceso sancionatorio relacionado con el Conjunto Residencial Quintas de Machángara 20
Tabla 4. Diferencias asociadas al cauce en función de la información comparada 29

INTRODUCCIÓN

Conforme al plan de trabajo previsto para el desarrollo del contrato de consultoría CRC No 0635 de 2025 que tiene por objeto " ***"Realizar el acotamiento de la ronda hídrica de la corriente priorizada quebrada Machángara (sentencia en segunda instancia) conforme a la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de rondas hídricas en Colombia dispuesta por el MADS, en el marco de la ejecución del proyecto Gestión de la Gobernanza del Agua para la Ordenación, Evaluación y Reglamentación del Agua",*** se avanzó en el desarrollo de actividades de gabinete, las cuales están encaminadas hacia la estructuración de documentos parciales, el avance en la definición de la ronda hídrica para los diferentes componentes y en la consolidación de conceptos de la envolvente final.

Se abordó el análisis de la información jurídica que reposa en cuatro (4) grandes expedientes a saber: **Expediente OAJ 0125 - 2015 ARINSA SA; Expediente OAJ 009 – 2018 Norvey Martín Muñoz O y Manuel Enrique Caicedo; Expediente OAJ 001 – 2019 Acueducto de Popayán y Expediente OAJ 0017 – 2022 Conjunto Quintas de Machángara.**

De igual manera se avanzó en actividades de gabinete asociadas a reuniones internas del grupo de profesionales del proyecto y espacios de interacción con los profesionales de la supervisión.

A continuación, se presentan de manera resumida algunos de los resultados obtenidos.

I. EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES PREVISTAS

Para dar cumplimiento a las obligaciones contractuales previstas en el contrato de consultoría No 0635 de 2025, y acorde al plan de trabajo previsto, y aprobado por la Corporación, a continuación, se establecen las actividades implementadas para el periodo del mes de febrero de 2026.

1. Revisión de información judicial

La Quebrada Machángara ha sido intervenida en su área forestal protectora por diversas construcciones realizadas especialmente para urbanizaciones y para localización de obras de alcantarillado y drenaje pluvial, ocupación con parqueo de vehículos sobre el área de protección de la quebrada Machángara produciendo modificaciones en los taludes laterales, rellenos en el talud, perfilamiento en el fondo del cauce, obstrucción por la instalación de guadua, estacas o troncos de madera puestos trasversalmente sobre el cauce, estancamiento de aguas lluvia, modificaciones en la topografía, las condiciones de flujo de agua, la pérdida de resistencia y cambios en los estados de esfuerzo.

Sobre la distancia del área o franja forestal protectora, se han tenido diferentes versiones siendo estas de 11.4m determinada en el año 2016 aunque se aclara en el informe técnico que la determina que debe ser el municipio quién la incorpore en sus instrumentos de planificación, 21.7m determinada en el año 2017 y 20m determinada en el POT en 2002, como determinante ambiental en el proceso de ordenamiento territorial.

Reposan expedientes en la CRC, sobre infracciones de la franja forestal protectora de la quebrada, siendo los de mayor relevancia los llevados a cabo en relación con el centro comercial Campanario, urbanización Quintas de Machángara y contra la Empresa Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. ESP.

Exp. 1252015: Proceso Sancionatorio Construcci6n del Centro Comercial Campanario en contra de ARINSA SA., **Exp. 0092018** Proceso sancionatorio contra Martin Muñoz y Familia Caicedo Mosquera, Exp. 0012019: Proceso sancionatorio en contra del Acueducto de Popayán, Obra de la empresa de acueducto y alcantarillado.

Las instancias judiciales a resaltar en relación con el proceso que involucra el deterioro de la quebrada son

1. Juzgado Segundo Administrativo de Popayán, por medio del expediente 2007-0015200 de mayo 6 de 2015, determinó para el tramo 3 de la Quebrada Machángara una franja de protección de 30m (desde la vía Batallón frente a la clínica Santa Gracia hasta la desembocadura de Quebrada Machángara al río Cauca).

2. Acción Popular del ciudadano Jesús Hugo López Díaz, pretende el cese de actividades de la empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. ESP por cambio de alcantarillado en tubería que genera mal olor. La CRC remitió en noviembre de 2019 concepto técnico con radicado SDP24092.

3. Juzgado Octavo Administrativo de Popayán que resuelve la Acción Popular del ciudadano Javier Darío Palomino Oquendo mediante Sentencia No. 304 de veinte (20) de octubre de dos mil diez (2010) con el fin de obtener la protección de los derechos e intereses colectivos presuntamente vulnerados por el municipio de Popayán - oficina de Planeación, ARINSA arquitectos e ingenieros s.a., Corporación Autónoma Regional del Cauca, Curaduría urbana no. 2 de Popayán, Empresa Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. ESP y Carrefour Popayán Campanario.

4. Demanda de noviembre 22 de 2018 del centro comercial Campanario contra Norbey Martin Muñoz Orozco realizó daño ambiental a la quebrada Machángara por adelantar obras civiles. Falla que se abstenga el señor Muñoz de realizar conductas iguales o semejantes a las que dieron lugar al proceso y a que permita el ingreso a su predio, a la CRC realizar limpieza y visitas anuales y al centro comercial Campanario que informe al tribunal cuando la CRC o el señor Muñoz incumplan. Absuelve a la Empresa Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. ESP

5. Acción Popular del ciudadano Michelle Stefany Romero Trejos solicita protección de la quebrada Machángara, lo cual fue contestado por la CRC en noviembre de 2019

6. Tribunal Administrativo del Cauca mediante sentencia del 09 de febrero del año 2023, resuelve la Acción Popular Campanario Radicado 2007-152-00, la cual, entre otros aspectos particulares, pretendía ordenar la recuperación del Zanjón Machángara, ubicado en la zona sur del centro comercial, para efectos de poder evacuar eficientemente las aguas lluvias tanto de la copropiedad como de la zona comercial residencial colindante y adicionalmente se instruyera a la C.R.C., para efectos de determinar la responsabilidad en el taponamiento y sellamiento del drenaje natural de la Quebrada Machángara, aspecto que derivó en inundación del centro comercial.

7. Consejo de Estado con sentencia del 14 de marzo del año 2024, dentro del radicado 19001-23-33-000-2018-00336-01, que resuelve el auto del 18 de agosto de 2023, sobre la impugnación del fallo de la sentencia del 09 de febrero del año 2023. En esta sentencia confirma algunos puntos de la sentencia del 9 de febrero de 2023, pero modifica otros así: conformar un comité técnico para la verificación del acatamiento de la sentencia, ordena a la CRC estudios técnicos que permitan formular un diagnóstico sobre el estado ecosistémico del zanjón Machángara, ordena cumplimiento de las medidas, preventivas, correctivas y compensatorias o indemnizatorias que la autoridad ambiental estime pertinentes.

En el proceso que adelanta la fundación PROAGUA para determinar la ronda hídrica de la quebrada se revisó la carpeta digital **OAJ 0009-2018 NORVEY MARTIN MUÑOZ O Y MANUEL ENRIQUE CAICEDO M**., que contenía varios archivos en pdf., con información, autos, pruebas, cargos, descargos, sentencias y resoluciones. La situación hace referencia a un tendido de tubería de 24" sobre el canal abierto para evacuar el exceso de aguas pluviales y de escorrentía provenientes de la avenida papal y sus alrededores, estas actuaciones se relacionan con un convenio entre la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán, Comfacauca, Gobernación del Cauca y Arinsa Arquitectos e Ingenieros S.A. Se cita la Resolución 9346 del 04 de agosto de 2016 como titular de la autorización de ocupación de cauce a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán.

También contiene documentos referentes a la afectación ambiental de Martín Muñoz Orozco en el predio con código predial No.010201850008000 inmerso en la matricula inmobiliaria No. 120-8593, parqueadero Catay, donde se incurrió en explanación de la franja de protección de la quebrada Machángara, lo cual constituye un área de especial importancia ecológica y además se incumplieron las medidas preventivas de suspensión de actividades y amonestación escrita impuesta, siendo necesario realizar acciones de restauración, reforestación y aislamiento de la faja paralela de la quebrada en todo el tramo ubicado en este predio ribereño. A esta infracción ambiental se vincularon a los hermanos: Manuel Enrique y Tomás Caicedo Mosquera e Ileana Mosquera de Caicedo y a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán por incumplimiento de carácter eminentemente administrativo. En esta infracción se ha pretendido atribuir la responsabilidad a ARINSA SA frente a los hechos ejecutados por Martín Muñoz Orozco y se relacionan actuaciones del Centro Comercial Campanario. A continuación, se resumen los hitos de mayor relevancia.

Tabla 1. Documentos proceso sancionatorio relacionados con Norbey Martin Muñoz Orozco, ARINSA O Centro comercial Campanario.

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Septiembre de 2011	Tomás Caicedo Mosquera	Derecho de petición a CRC para determinar el área de protección de dos lotes en la parte posterior del centro Comercial Campanario y la pista del aeropuerto Guillermo León V.	07373
Septiembre 2015	Arinsa arquitectos	Solicitan permiso de ocupación de cauce y Envían un oficio a la CRC sobre el proyecto de ampliación del centro Comercial Campanario, explican el drenaje pluvial y sanitario.	07590
Octubre de 2015	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Solicita a la CRC permiso de ocupación de cauce, playas y lechos, para optimizar el colector Machángara en el sector calle 18N con carrera 15, posterior a las canchas de Villa Olímpica	08040
Diciembre de 2015	Municipio de Popayán	Se informa a la CRC que la quebrada Machángara tiene una franja de protección de 20 m a cada lado de su cauce	10861
Agosto 2016	CRC	Permiso de ocupación de cauce a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán de carácter permanente para una tubería enterrada de 24 pulgadas. el desarrollo de las obras y duración del permiso para su ejecución son por el término de la construcción del proyecto	Resolución 9345
Marzo 2018	COMFACAUCA	Queja ante CRC por el taponamiento del cauce de la quebrada Machángara en un tramo de aproximadamente 118 metros, instalación de una tubería de 36" que desvió el flujo de las aguas y canalizó la quebrada Machángara e invadiendo el predio de la Villa Olímpica,	SGA-02133 del 2018 queja recibida telefónicamente y radicado D-142, con queja escrita por Comfacauca
Marzo de 2018	Alcaldía de Popayán	Solicita a CRC determinante ambiental de zanjón y/o quebrada Machángara en un predio	SGA 03070 2018
Marzo de 2018	CRC	Legalización de una medida preventiva al parqueadero Catay, consistente en suspensión de la actividad de explanación dentro de la franja de protección y el cauce de la quebrada Machángara. Se aclara que previamente la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de	Resolución 0397 el 16 de marzo de 2018 modificada por la Resolución 0802

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		Popayán S.A. E.S.P. había solicitado y obtenido ante la CRC la correspondiente autorización de ocupación de cauce mediante Resolución No. 9345 del 2016, cuyo objeto fue ocupar la quebrada Machángara en dos puntos mediante la instalación de una tubería de la red de alcantarillado en el marco de las obras de optimización de colector Machángara. Esta obra no corresponde en modo alguno al desvío, canalización ni relleno del cauce de la quebrada Machángara, sino la instalación de una tubería paralela a la misma que ocupa su cauce en dos puntos.	del 24 de mayo de 2018,
Marzo 2018	CRC	Oficio que consta que la CRC había realizado visita de seguimiento para verificar el cumplimiento de Empresa de Acueducto y Alcantarillado en la resolución de permiso de ocupación de cauce. Constató la CRC que las dimensiones de la tubería instalada eran de 27 pulgadas y no de 24 pulgadas, también se solicitó a la empresa que explicara las razones por las cuales permitió o fue aquiescente a que el señor Norbey Martin Muñoz Orozco instalara una tubería adicional a la autorizada en la resolución 9345 del 2016 para a partir de allí canalizar, desviar y rellenar el cauce de la misma, también debía informar sobre los diseños con los cuales dicho particular realizó los trabajos adicionales mencionados.	solicitud de cumplimiento ambiental,
Abril 2018	CRC	Se le informa al Municipio de Popayán, oficina de Planeación que el determinante ambiental del POT para la franja de protección de la quebrada Machángara es de 20 m, según informe interno radicado SGA05362-2018	SGA 0574
Mayo de 2018	Municipio de Popayán, oficina de Planeación	Informan al particular Jorge Mario Jaramillo que el determinante ambiental del POT para la franja de protección de la quebrada Machángara es de 20 m	20181910200341

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Mayo de 2018	Empresa de Acueducto y Alcantarillado	Respuesta a oficio de CRC	oficio DAL-3691 del 08 de mayo del 2018
Mayo de 2018	CRC	Procedimiento sancionatorio ambiental en contra de Manuel Enrique Caicedo Mosquera y a la sociedad Inversiones Inmobiliarias CIVERIN S.A.S en su calidad de propietarios del predio con matrícula 120-8593 y al señor Norbey Martin Muñoz	Auto No.00340
Abril 2018	CRC	Informe interno sobre el acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada Machángara	Radicado SGA 05362 de 2018
julio del 2018	CRC	Cesa el procedimiento en contra de la sociedad CIVERIN S.A.S. debido a que se encontraba en liquidación, siendo representada legalmente por el señor Norbey Martin Muñoz Orozco. Se formulan cargos contra Muñoz Orozco y Caicedo Mosquera, se endilgó desviación y ocupación del cauce de la quebrada Machángara sin permiso de la autoridad ambiental y explanación realizada a la franja protectora de la quebrada Machángara.	auto No.00475 del 23 de julio del 2018, revocado mediante auto No.0381 del 24 de mayo del 2019
Agosto 2018	CRC	Imposición de medida preventiva por movimiento de material orgánico y excavación, ocasionado por Arinsa Arquitectos S.A, debido a la instalación de tubería de 24" para evacuar aguas pluviales. Se suspende la obra dentro de los 20 m del área de protección de la quebrada	Resolución 01410 de agosto de 2018
Septiembre 2018	CRC	Notificación a la firma Arinsa Arquitectos e Ingenieros S.A.	Oficio
Noviembre 2018	CRC	Informe técnico sancionatorio por incumplimiento de la medida de suspensión	Informe CRC
Marzo 2019	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán y Arinsa Ingenieros	Donde se envía a CRC 4 folios del convenio 010 de 2015 entre Arinsa Arquitectos e Ingenieros S.A y Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán. El convenio tiene como objeto realizar las obras de optimización colector Machángara existente Campanario – Glorieta Villa Olímpica desde la Cámara 52 a la 62.	STO 02094 y OAJ 2291
Marzo 2019	CRC	Solicitan copia integra de los anexos del convenio 010 de 2015 y planos. También la	Radicado de CRC OAJ 64544

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		copia de los permisos otorgados por los propietarios de los predios donde se realizarán las obras	
Abril 2019	CRC	Informe interno de la CRC atendiendo el oficio OAJ 04542, 030773, 17763, 03074, recopilando información del caso, informe de visita y concepto técnico	---
Abril 2019	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Informa que recopilará la información solicitada en el radicado de CRC OAJ 64544por la CRC en un plazo de 15 días hábiles.	STO 03117
Abril de 2019	CRC	Resolución de medida preventiva de amonestación escrita a Norvey Martín Muñoz Orozco y Manuel Enrique Caicedo Mosquera, para restablecer el cauce de la quebrada Machángara.	Medida preventiva con resolución 00683 del 2019
Mayo de 2019	Norvey Martín Muñoz Orozco	Entrega un informe de cumplimiento parcial de la medida preventiva	OAJ 04115
Septiembre de 2019	CRC	Visita técnica, que constató persistencia del material de relleno en el cauce de la quebrada. Se determinó en CRC pérdida de capacidad hidráulica y riesgo de inundación sobretodo en Campanario	SDP 20827
Octubre 2019	CRC	se reconoció al Centro Comercial Campanario como tercero interviniente	Auto No.0771 del 09 de octubre del 2019
Diciembre de 2019	CRC	Se formularon cargos en contra de los señores Norbey Martín Muñoz Orozco, Manuel Enrique Caicedo Mosquera, Tomas Caicedo Mosquera, Ileana Mosquera de Caicedo y María José Caicedo Mosquera, la Empresa De Acueducto Y Alcantarillado de Popayán Sa Esp, Y La Sociedad Arinsa Arquitectos Ingenieros S.A. por infringir presuntamente la normatividad ambiental con diferentes acciones y/u omisiones relacionadas con la afectación ambiental de la quebrada Machángara.	Auto No.00992 del 31 de diciembre de 2019
Febero de 2020	Maicol Andrés Rodríguez	Oficio a la CRC con los descargos al auto 992 de diciembre de 2019	OAJ 01117

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Febrero 2020	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Descargos al Auto No.00992 del 31 de diciembre de 2019. Solicita se vincule a Comfacauca y a la Gobernación del Cauca y solicita no sancionar a la empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Sin número
Febrero 2020	Maicol Andrés Rodríguez	Derecho de petición, obra como apoderado de Norbey Martín Muñoz Orozco	1280
Marzo 2020	CRC	Objeto del contrato: "Acciones de protección y vigilancia tendientes a la recuperación de la quebrada Machángara ordenada como actuación de oficio en el ejercicio de la autoridad ambiental", en este contrato se procedió al retiro del material de relleno en 113m. Este contrato no se logró finalizar a cabalidad a por la cuarentena decretada por la pandemia de Covid-19.	Contrato de obra 144 de 2020
Mayo 2020	Policía Nacional de Colombia	Informe sobre ejecución de despacho comisorio dirigido a la CRC DTC08453 de 2018	024870
Febrero del 2021	ARINSA Arquitectos e Ingenieros S.A. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán SA ESP	Recurso de reposición	radicado C.R.C. OAJ-01330-2021 y radicado C.R.C. OAJ-01321- 2021
Junio 15 de 2021	Juan Pablo Paz Concha	Informe Pericial en el marco del Proceso Sancionatorio Ambiental N° 009-2018, prueba solicitada el 11 de febrero de 2021 en auto 0036 por la CRC	Informe electrónico
Junio de 2021	Alexander Palta	Informe Pericial prueba solicitada el 11 de febrero de 2021 en auto 0036 por la CRC	Informe electrónico
Junio de 2021	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Prueba pericial de topografía y batimetría	Informe electrónico
Junio de 2021	CRC	Se impone una medida preventiva de suspensión de actividades y obras en el cauce de la quebrada Machángara desde el sitio ubicado frente a la entrada del parqueadero	Resolución 667 del 18 de junio de 2021

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		subterráneo del centro comercial Campanario, hasta su desembocadura en el rio Cauca y en su zona protectora	
Junio de 2021	Procurador Vll judicial ambiental y agrario	Informa de la medida preventiva	OAJ 8214
Julio 2021	CRC	Mesa inter institucional entre la CRC, Gobernación, Alcaldía, Policía	acta
Julio 2021	Policía Nacional	Informe a CRC de las actuaciones adelantadas por unidades del grupo de protección ambiental	OAJ 5693
Julio de 2021	Representante del centro comercial Campanario	Recurso de reposición contra auto 0278 de junio de 2021 por violación al debido proceso	OAJ 5114
Agosto de 2021	Policía Nacional	Informe a CRC de las actuaciones adelantadas por unidades del grupo de protección ambiental en atención a solicitud de la CRC sobre la quebrada Machángara	GS 2021-037878
Mayo 2022	CRC	Solicita a la Fiscalía General de la Nación información en fraude a resolución administrativa	OAJ 9302
Noviembre 2022	Fiscalía General de la Nación	Realiza inspección al proceso sancionatorio para decisiones de fondo	Orden de policía judicial 8501158
Diciembre de 2022	CRC	Se rechaza por improcedente un recurso de reposición del centro comercial Campanario y se fija fecha para fecha de dictámenes periciales	Auto 100 de 2022
Febrero 2023	CRC	Audiencia de sustentación de dictámenes periciales	---
Abril 2023	CRC	Realiza visita en compañía de varios actores y constata la ocupación de la faja protectora por parte del parqueadero Catay	---
Agosto 2023	CRC	Oficio interno que solicita cálculo de multas, medidas compensatorias y preventivas del expediente de Martín Muñoz Orozco y otros, por explanación de predio que ocasionó el relleno de la quebrada Machángara, se canalizó y desvió y se explanó el área forestal protectora.	Oficio OAJ 24699 de 2023 con 7 puntos de infracción en congruencia con los cargos endilgados

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
			mediante el auto No.00992 del 31 de diciembre de 2019
Diciembre de 2023	CRC	Comunicación interna sobre determinación de la sanción por obras de canalización, desviación y relleno desarrolladas en la quebrada Machángara implicados: Norbey Martin Muñoz O, Manuel y Tomás Caicedo Mosquera, María José Caicedo Mosquera E Ileana Mosquera de Caicedo, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán SA ESP., Arinsa Arquitectos e Ingenieros S.A.S.	SDP 25920
Febrero 2024	CRC	Por la cual se impone sanción a las implicadas personas naturales, demolición de obra y medidas de recuperación. Impone sanción a la empresa de Acueducto y Alcantarillado y a Arinsa Arquitectos e Ingenieros. Proceden los recursos de reposición de los implicados	Resolución 0137
Mayo 2024	ARINSA Arquitectos e Ingenieros S.A.S	Recurso de reposición en contra de la resolución No 0137 del 09 de febrero de 2024 notificada el día 23 de abril de 2024 por la cual se impone una sanción dentro del expediente radicado 009-2018.	OAJ 4759 – 2024.
Junio 2024	CRC	Se suspende un procedimiento sancionatorio	Auto 0365
Junio 2024	CRC	Informe de calidad del agua e Identificación de posibles vertimientos líquido. Se recomienda que la Subdirección de Defensa del Patrimonio de la CRC solicite a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Popayán y Comfacauca eliminación de la conexión errada de aguas residuales domésticas y copia del permiso de ocupación de cauce para la descarga del colector pluvial	SDP-6711-2024
Junio 2025	CRC	Informe técnico de ocupación de cauce, menciona Urbanización Bosques de Machángara, Urbanización Quintas de Machángara, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la Caja de	SDP 8387

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		Compensación Familiar del Cauca – COMFACAUCA, y ARINSA S.A.	

Fuente: PROAGUA, 2026

- Se revisó la carpeta denominada **OAJ001-2019** Acueducto de Popayán, donde se encontraron 260 folios con los documentos relacionados al proceso sancionatorio de la CRC a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, por omisión del permiso de ocupación de cauce para la ejecución de obras de alcantarillado (colector Machángara de tipo combinado, descarga en el río Cauca con aliviadero en predios del Centro Comercial Campanario) que ocasionaron disposición de residuos sobre el cauce y la franja de la quebrada Machángara. A continuación, se listan los documentos citados, presentando un breve resumen de ellos (Tabla 2).

Tabla 2. Documentos proceso sancionatorio a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Septiembre 2018	Habitantes de Santa Clara Popayán, Nueva IPS, constructora Alpes	Instauran un derecho de petición a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán por las inundaciones de la zona, que transporta además lodo y fango	E-2018-465493. Solicitan obras para destapar y ampliar las cañerías
Agosto 2018	CRC	Visita por actividades de cambio de tubería de un colector mixto con excavación de la empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán con disposición de residuos sobre el cauce y la franja de la quebrada Machángara.	Resolución 01314 de 2018. Se inicia medida preventiva, de suspensión de actividades.
Diciembre 2018	Procuraduría	Solicita copia a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, de la respuesta al derecho de petición	P-2018-1185565 E-2018-465493
Diciembre 2018	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Envía copia de la respuesta entregada a la usuaria de la nueva IPS de Popayán, que tiene fecha de Octubre de 2018	Oficio 10315 y copia del oficio DAL 8434
Enero 2019	CRC	La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán continuó con la obra, a pesar de tener una medida preventiva, con la	Documento interno CRC. Se inicia un procedimiento

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		construcción de una cámara de observación sin el permiso de CRC	sancionatorio ambiental
Marzo 2019	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Informan que atendiendo solicitud de Nueva EPS se hizo ampliación de redes para evitar inundaciones. Indica que era imposible suspender la obra, porque se podría generar inundaciones y porque era necesario garantizar las condiciones de salubridad de las personas	Solicita se informe hasta donde va el área de protección de la quebrada y solicita dar por terminado el proceso sancionatorio o se proceda a archivar
Marzo 2019 a octubre de 2019	CRC	Trámites internos para determinar el procedimiento jurídico a seguir en la CRC. Informan de la visita técnica realizada que evidencia la construcción sin permiso de ocupación de cauce. Comenta que según el POT - acuerdo 06 de 5 de agosto de 2002, mapa U23, la franja de protección de la quebrada Machángara corresponde a 20 m.	Ratifican la infracción.
Enero 2019	CRC	Se solicita a Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán que se presente a CRC para notificar el Auto 023 de enero 24 de 2019. Ante la imposibilidad de notificar personalmente, se fija aviso.	Oficio Radicado SQ – 2019. Aviso de notificación de noviembre de 2019
noviembre de 2019	CRC	La CRC formula cargos a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán por no haber tramitado el permiso de ocupación de cauce, por invadir la franja de protección de la quebrada Machángara, por haber almacenado RCD en el cauce	Auto 0853 de noviembre de 2019. Para formular cargos.
Enero de 2020	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Oficio que informa que actuaron en ejecución del PSMV, no actuaron con dolo, que no afectaron la quebrada y que no invadieron la franja	Solicitan no sancionar a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán
Febrero de 2020	CRC	Elabora un informe describen situación ambiental en la zona Solicita a Empresa de	Concluye que como no se presentaron diseños no es

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
		Ratifican la afectación a la quebrada, solicita que la empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán presente los diseños de las obras.	posible determinar si el sistema de alivio es el adecuado.
Mayo de 2020	Juzgado séptimo administrativo del circuito	sentencia 064 de mayo de 2020 Jesús Hugo López contra la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán y la CRC, por daños colectivos. El juzgado afirma que la parte actora no probó la vulneración de los derechos colectivos invocados	Niega las pretensiones de la demanda y conmina ala a Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán a entregar planos, estudios y diseños de las obras
Junio 2020	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Impone recuro de reposición en contra del acto que decreta pruebas - Auto 00216	Solicita práctica de testimonios
Agosto 2020	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán	Remite a CRC planos de diseños en cumplimiento de la sentencia 064 de mayo de 2020 dentro de la acción popular interpuesta por Jesús Hugo López	Envían planta perfil de colectores, cámara 53 a cámara 60 y diseño Machángara final
Agosto 2020	CRC	Oficio a la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Popayán solicitando el cumplimiento de la sentencia	--
Mayo de 2021	CRC	Emite auto de pruebas de proceso	Auto 00216
Julio de 2022	CRC	Se resuelve el recurso de reposición contra el Auto 00216	Niega dos testimonios y decreta recepción de otro testimonio
Agosto de 2022	CRC	Acta de no comparecencia a prueba testimonial	Quien debía dar testimonio no compareció
Noviembre de 2024	CRC	Solicita concepto técnico a funcionario de CRC para determinar si la obra realizada en términos del PSMV requería autorización de ocupación de cauce	CRC conceptúa que si se requería permiso y que no era una obra no contenida en el PSMV

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Julio de 2025	CRC	Auto de traslado para alegatos y notificación electrónica	Dispone las pruebas y corre traslado
Octubre de 2025	CRC	Solicitud de determinación de sanción	Comunicación interna.

Fuente: PROAGUA, 2026

- Con relación a quintas de Machángara, se evidenció en abril de 2022 la construcción de vivienda en el lote 25 de José David Cano Muñoz dentro de la franja de protección de la quebrada Machángara. Se recuerda en oficio enviado por la CRC a Silvio Mora Administrador representante legal Conjunto Quintas de Machángara que existe una medida preventiva en la quebrada y en su zona protectora, legalizada mediante resolución No. 667 del 18 de junio de 2021, por la cual se impone "medida preventiva de suspensión de todo tipo de actividades y obras en el cauce de la quebrada desde el sitio ubicado frente a la entrada del parqueadero subterráneo del centro comercial Campanario, hasta su desembocadura en el rio Cauca y en su zona protectora, la cual de conformidad con el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán (POT) Plano u23, adoptado mediante acuerdo 06 del 05 de agosto de 2002, para la fuente hídrica denominada quebrada Machángara, es una franja no inferior a 20 metros de ancho a cada lado del cauce."(ver *Tabla 3*)

Tabla 3. Documentos proceso sancionatorio relacionado con el Conjunto Residencial Quintas de Machángara

Fecha	Actor	Detalle	Documento o Conclusión
Marzo 2022	CRC	Solicita a la curaduría 2 información de la licencia de construcción	SDP 5642
abril 2022	CRC	Solicitud visita de inspección a obra de construcci6n en el Conjunto Residencial Quintas de Machángara, a la secretaria de planeación del municipio	SDP 6246
Abril 2022	curaduría 2	Responde a CRC diciendo que la solicitud de licencia de construcción está en trámite	CD-Cu2-100-22
Mayo 2022	Secretaria de planeación municipal	Inspección de policía urbanística informa a la CRC que admite la queja presentada sobre la	SDP 5157

		construcción de vivienda en franja forestal	
junio 2022	Secretaria de planeación municipal	Informe de inspección de policía urbanística informa a la CRC que la vivienda esta al interior de la franja forestal	SDP 5157
Julio 2022	CRC	Por medio del cual se inicia un procedimiento sancionatorio ambiental	Auto 434
Septiembre de 2022	CRC	Por medio del cual se formulan cargos en contra de Jose David Cano Muñoz por construir una vivienda sobre la franja forestal	Auto 649
Octubre de 2022	Quintas de Machángara	Responde a formulación de cargos	Folio 115
Septiembre 2023	CRC	Auto de pruebas	Auto 649
Septiembre 2023	José David Cano Muñoz	Confiere poder a Silvio Ángel Mora	
Octubre de 2023	Quintas de Machángara	Envia documentos a CRC	OAJ 11872
Noviembre 2023	CRC	Corre traslado para alegatos y relaciona las pruebas	Auto 0800
Diciembre 2023	Quintas de Machángara	Sustentación de descargos	
Diciembre 2023	CRC	Oficio interno para solicitud de determinación de sanción	OAJ 24856
Diciembre 2023	Apoderado Silvio Ángel Mora	Presenta los alegatos de conclusión solicita archivar expediente	OAJ 14859
Diciembre 2023	CRC	Determina la sanción	OAJ 25497
Diciembre 2023	CRC	por la cual se impone una sanción por 509,7 UVT a José David Cano y a Quintas de Machángara en 156,04 UVT	Resolución 1938
Enero 2024	Apoderado Silvio Ángel Mora	Recurso que pretende reponer para revocar la Resolución 1938 de 2023 en contra de José David Cano	OAJ 326
Enero 2024	Angie Liseth Grisales	Recurso que pretende reponer para revocar la Resolución 1938 de 2023 en contra de Quintas de Machángara o exonerar de	Folio 329

		responsabilidad sancionatoria ambiental	
Marzo de 2024	CRC	Por medio del cual se resuelve el recurso de reposición resolviendo no reponer la resolución sancionatoria	Resolución 0230

Fuente: PROAGUA, 2026

2. Análisis multitemporal de la quebrada Machángara eje del cauce y cobertura

La quebrada Machángara, ubicada en el municipio de Popayán (Cauca) y con desembocadura en el río Cauca, constituye un elemento estratégico dentro de la estructura ecológica urbana y del sistema hídrico municipal. En el marco del proceso de definición de su ronda hídrica, se hace necesario comprender la evolución histórica del cauce y las transformaciones espaciales que ha experimentado a lo largo del tiempo.

Con este propósito, se desarrolló un análisis multitemporal para el periodo comprendido entre 1970 y 2026, orientado a evaluar los cambios en el eje del cauce y, posteriormente, en la cobertura del suelo del Área de Aferencia de la quebrada Machángara. El análisis busca establecer un marco técnico de referencia que permita identificar posibles variaciones en la trayectoria del cauce, pérdida de tramos naturales, procesos de intervención antrópica y modificaciones asociadas al crecimiento urbano.

El presente documento expone los resultados del análisis multitemporal del eje del cauce, apoyado en aerofotografías históricas, cartografía oficial, levantamientos LiDAR y estudios topobatimétricos recientes. El componente de coberturas del suelo se encuentra en proceso de construcción y será incorporado en una fase posterior del estudio.

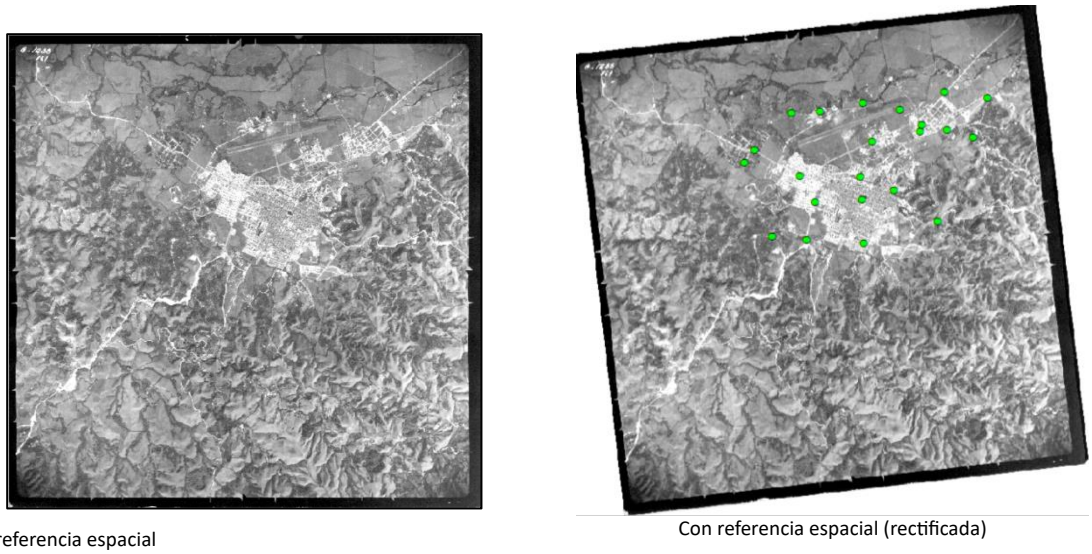
2.1. Metodología y fuentes de información

El análisis multitemporal avanza con base en los siguientes insumos cartográficos y técnicos:

- Fotografía aérea Vuelo C1288 – IGAC, Foto 161 (1970).
- Fotografía aérea Vuelo C2318 – IGAC, Foto 59 (1987).
- Cartografía CRC – Ingeovista (2021), soportada en tecnología LiDAR y Ortofoto.
- Imagen base World Imagery (04 febrero 2020).
- Fotografía aérea referenciada por Proagua (1970 Y 1987).
- Levantamiento topobatimétrico Proagua – CRC (2026).

Las fotografías aéreas de 1970 y 1987, localizadas en el archivo cartográfico de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), se encontraban sin referenciar y fueron digitalizadas mediante escáner, realizándoseles un proceso de rectificación de 3er orden para ambas imágenes.

Foto 1. Condiciones de las imágenes aéreas



Sin referencia espacial

Con referencia espacial (rectificada)

Fuente: PROAGUA, 2026

2.2. Georreferenciación y rectificación

A las fotografías aéreas de 1970 y 1987 se les realizó un proceso de rectificación polinómica de tercer orden, empleando 22 puntos de control.

Los puntos de control fueron definidos tomando como referencia:

- La ortofoto CRC – Ingeovista 2021.
- La imagen World Imagery de febrero 4 de 2020.

Posteriormente, se extrajo para la foto aérea de 1970, únicamente el área correspondiente a la zona de estudio de la quebrada Machángara y se realizó una segunda rectificación, con el fin de mejorar la precisión espacial del sector analizado, dado su dificultad de encontrar puntos de referencia, tal como se presenta en la Foto 2.

Foto 2. Postproceso implementado en la imagen aérea.

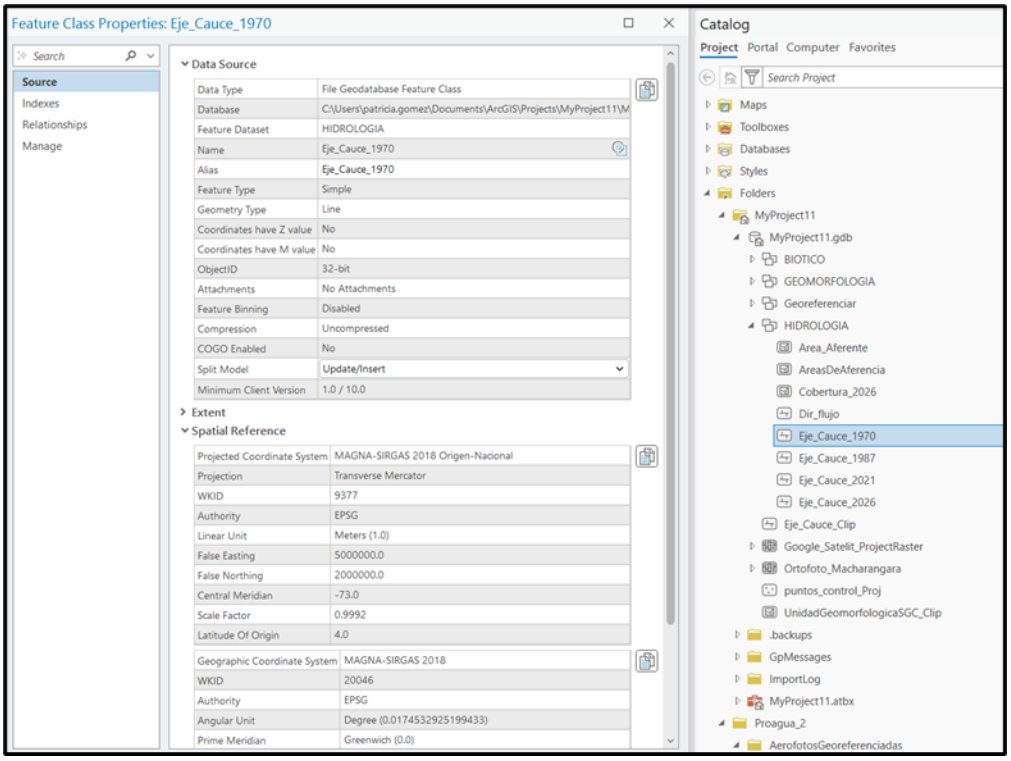


Fuente: PROAGUA, 2026

Se observa al fondo el mapa base de World Imagery, luego la foto aérea IGAC-CVC de 1970 y encima la ortofoto de CRC - INGEOVISTA de 2021. Los puntos verdes son los usados en la rectificación

Las fuentes de información y los vectores multitemporales se encuentran en una base de datos geográfica en formado geodatabase con Sistema de Referencia Espacial MAGNA-SIRGAS 2018 Origen-Nacional (WKID:9377), tal como se ilustra en el Foto 3.

Foto 3. Estructura GDB



Fuente: Base de datos geográfica en formado geodatabase con Sistema de Referencia MAGNA-SIRGAS 2018 Origen-Nacional (WKID:9377)

Es importante señalar que, pese a los procesos de rectificación, las aerofotografías históricas presentan limitaciones inherentes asociadas a escala, calidad del escaneo y errores acumulados en la georreferenciación, por lo cual su uso se orienta principalmente a interpretación visual comparativa y no a análisis geométrico de alta precisión.

2.3. Consideraciones técnicas – análisis multitemporal del cauce

Para la construcción del eje del cauce se dispuso de información correspondiente a cuatro periodos diferentes (1970, 1987, 2021 y 2026), levantados mediante tecnologías distintas.

Los insumos más recientes (2021 y 2026) presentan mayor precisión técnica debido al uso de tecnología LiDAR y levantamientos topobatimétricos, mientras que los años 1970 y 1987 corresponden a interpretación visual sobre fotografías aéreas históricas.

En este sentido, no resulta técnicamente procedente comparar directamente la geometría detallada del eje levantado mediante topobatimetría (2026) con la interpretación derivada de

fotografías aéreas generales, dado que estas últimas incorporan errores asociados a escala, resolución y georreferenciación.

2.4. Construcción eje del cauce

En desarrollo del ejercicio fueron tenidos en cuenta los siguientes referentes:

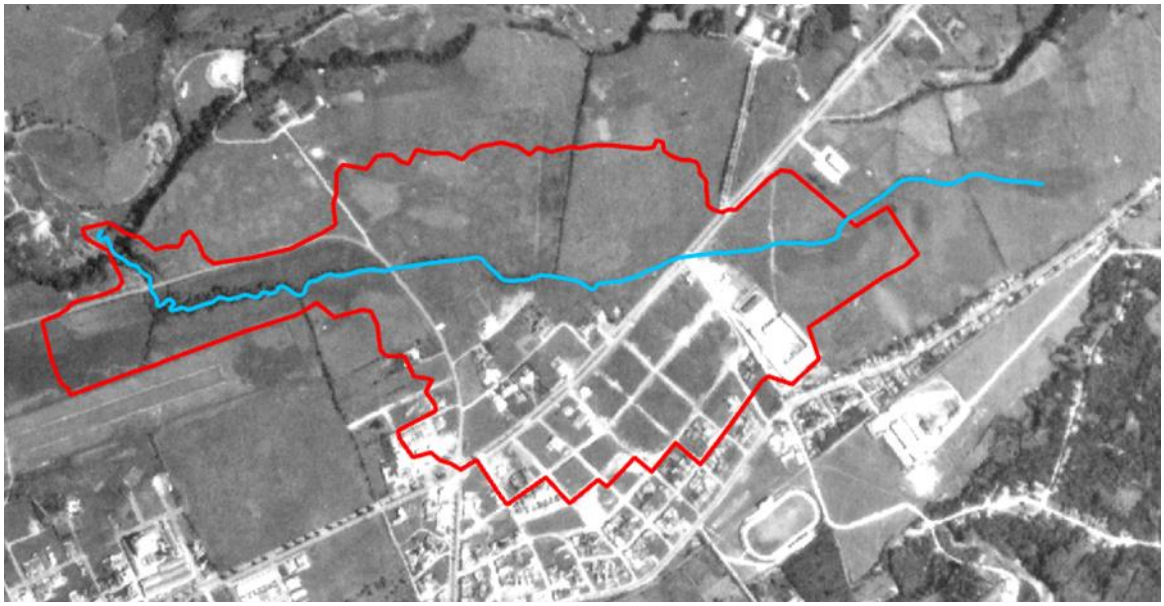
- **Eje 2026:** Se adoptó el eje construido por Proagua – CRC, soportado en levantamiento topobatimétrico y datos LiDAR, considerándose como la representación más precisa del estado actual del cauce.

- **Eje 2021**: Se tomó del estudio CRC – INGEOVISTA (2021), el cual difiere del eje 2026 debido a que en ese momento no se contaba con levantamiento topográfico actualizado ni datos batimétricos detallados.

- **Ejes 1970 y 1987:** Fueron trazados mediante interpretación visual de las fotografías aéreas rectificadas. Para garantizar coherencia técnica en el tramo final cercano a la desembocadura, se adoptó el tramo final de 1103,43 m correspondiente al eje 2026 – Proagua.

Aspectos del procedimiento efectuado se presenta en las Foto 4, Foto 5 y Foto 6.

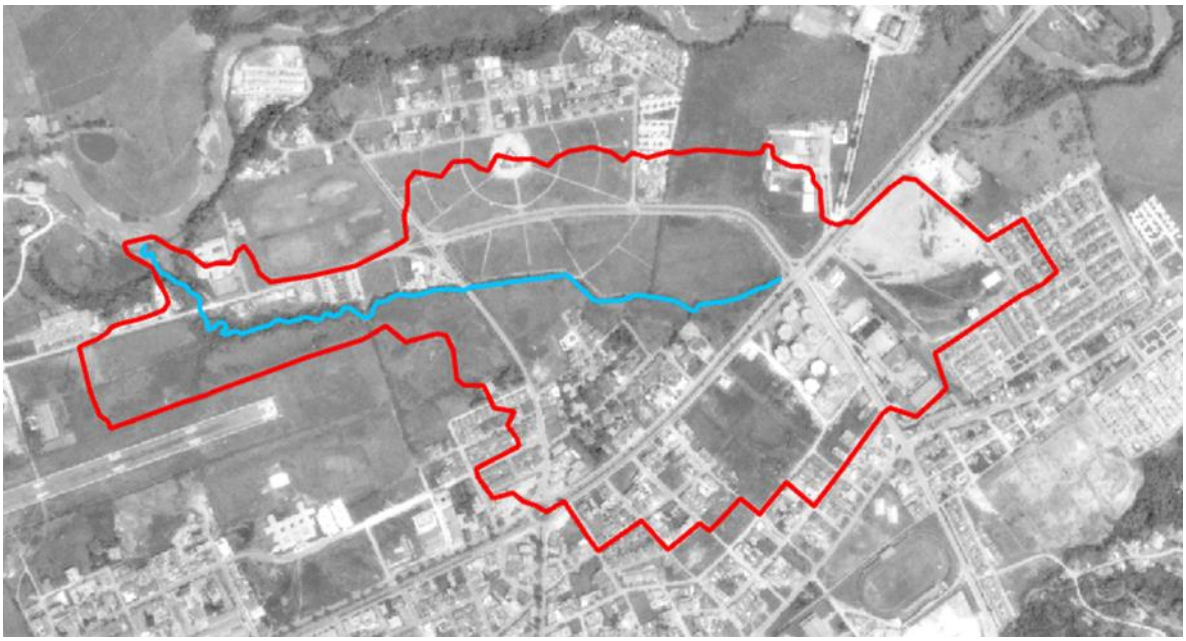
Foto 4. Información empleada en la restitución del cauce – foto año 1970



Fuente: Proagua, 2026. Foto aérea del año 1970. Vuelo C1288 del IGAC, fotografía #161 del año 1970, archivo cartográfico de CVC. Se observa el Cauce de la quebrada Machángara en color azul y el Área Aferente el polígono

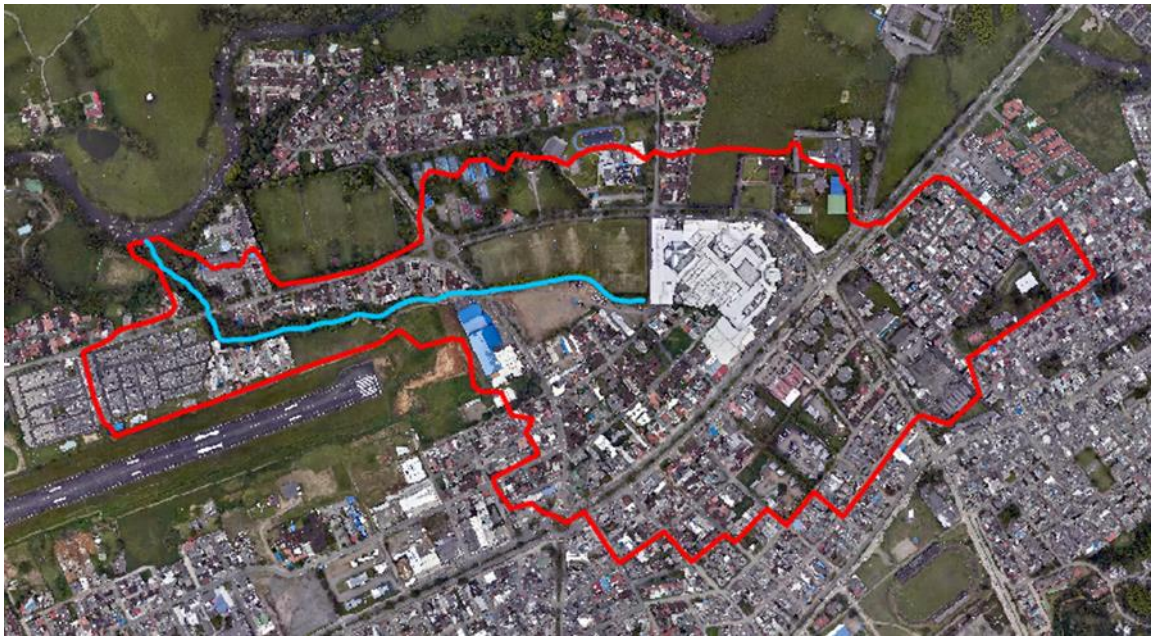
rojo elaborado por Proagua. Para definir el cauce del año 1970 se ha tomado como base el cauce de 2026 y se ha continuado con fotointerpretación.

Foto 5. Información empleada en la restitución del cauce – foto año 1987



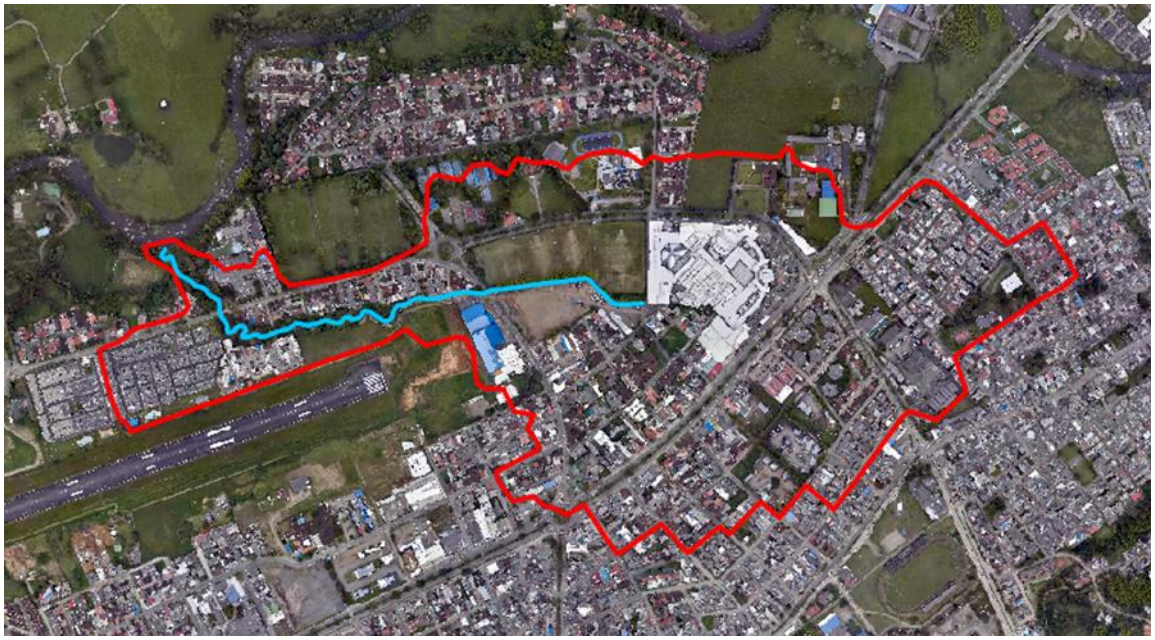
Fuente: Proagua, 2026. Foto aérea del año 1987, Vuelo C2318, Foto #59 del año 1987 IGAC, archivo cartográfico CVC. Se observa el Cauce de la quebrada Machángara en color azul y el Área Aferente el polígono rojo elaborado por Proagua. Para definir el cauce del año 1987 se ha tomado como base el cauce de 2026 y se ha continuado con fotointerpretación

Foto 6. Información empleada en la restitución del cauce – ortofoto año 2021



Fuente: Proagua, 2026 Ortofoto del año 2021, CRC – INGEOVISTA. Se observa el Cauce de la quebrada Machangara en color azul levantado por Ingeovista y el Área Aferente el polígono rojo elaborado por Proagua. El cauce fue levantado a partir de la información Lidar del año 2021

Foto 7. Información empleada en la restitución del cauce – ortofoto año 2021



Fuente: Proagua, 2026 aérea del año 2021, CRC – INGEOVISTA. Se observa el Cauce de la quebrada Machángara en color azul y el Área Aferente el polígono rojo elaborado por Proagua. El cauce se ha delimitado con la información LiDAR del año 2021 enriquecido con el levantamiento topobatimétrico del año 2026 de Proagua

Los resultados del ejercicio desarrollado permiten establecer que la principal diferencia identificada entre los años analizados se encuentra asociada a la longitud total interpretada del cauce, especialmente en el tramo inicial o nacimiento de la quebrada se presentan en la Tabla 4, las cuales se encuentran en función de que:

- En la fotografía aérea de 1987 el nacimiento de la quebrada ya presenta alteraciones significativas asociadas al crecimiento urbano.

- Para el año 2021 no se identifica rastro claro del nacimiento original observado en 1970, lo que sugiere procesos de ocupación, canalización o transformación antrópica del tramo superior.

Tabla 4. Diferencias asociadas al cauce en función de la información comparada

Eje del Cauce	Longitud (m)	Observación
Eje_Cauce_1970	2260.80	Tramo final de 1103.43 m tomado del eje 2026 – Proagua
Eje_Cauce_1987	1421.09	Tramo final de 1103.43 m tomado del eje 2026 – Proagua
Eje_Cauce_2021	1028.64	Construido con datos LiDAR – CRC/Ingeovista
Eje_Cauce_2026	1103.43	Construido con topobatimetría y LiDAR – Proagua

Fuente: Proagua, 2026

La variación en la longitud del cauce interpretado entre 1970 y 2026 evidencia una reducción significativa del tramo visible o funcional del sistema hídrico, especialmente en su parte alta.

2.5. Conclusiones preliminares asociadas al eje del cauce

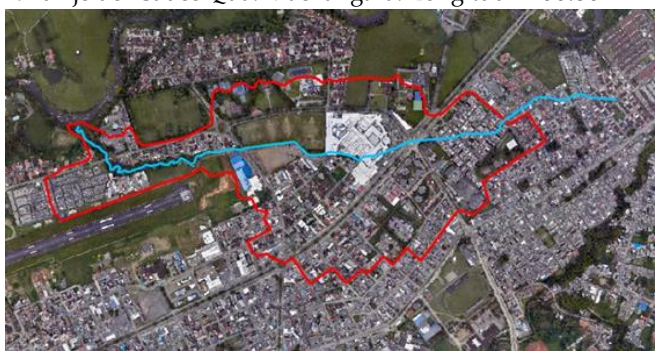
A partir de la información analizada y procesada se puede establecer de a priori las siguientes condiciones, las cuales se ilustran en la Foto 8.

1. El análisis multitemporal permitió reconstruir la evolución espacial de la quebrada Machángara entre 1970 y 2026, evidenciando transformaciones importantes en su tramo superior.
2. La mayor diferencia identificada corresponde a la pérdida o alteración del nacimiento original de la quebrada, fenómeno asociado al crecimiento urbano progresivo en la zona.
3. La información de 2026, soportada en topobatimetría y tecnología LiDAR, constituye la base técnica más confiable para la definición actual del eje del cauce y para futuros procesos de delimitación de la ronda hídrica.

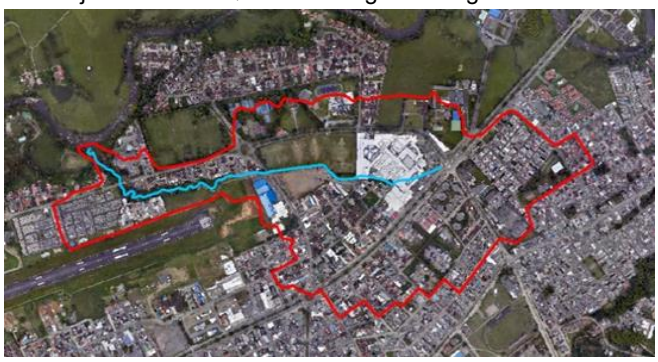
4. Las fotografías aéreas históricas, aunque presentan limitaciones geométricas, resultan fundamentales para comprender la extensión original del sistema hídrico y respaldar técnicamente decisiones de ordenamiento ambiental.

Foto 8. Multitemporal eje del cauce de la quebrada Machángara, sobre ortofoto 2021

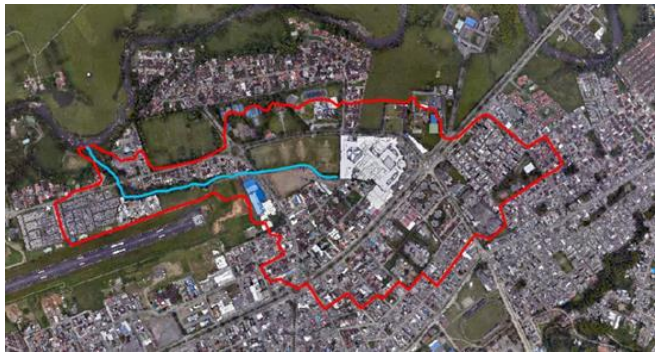
7970 Eje del Cauce Qda. Machángara. Longitud 2260.80m



1987 Eje del Cauce Qda. Machángara. Longitud 1421.09m



2021 Eje del Cauce Qda. Machángara. Longitud 1028.64 m.



2026 Eje del Cauce Qda. Machángara. Longitud 1103.43m.



Fuente: Proagua, 2026

El análisis de cobertura del suelo del Área de Aferencia, actualmente en construcción, permitirá complementar estos resultados, estableciendo la relación entre la transformación del territorio y la reducción o modificación del sistema hídrico.

3. Componente hidrológico e hidráulico

Si bien no existe una prelación o grado o importancia ente los tres (3) componentes involucrados en la determinación de la envolvente final, los resultados del componente hidrológico – hidráulico, se constituyen de alto valor, toda vez que, el planteamiento de escenarios asociados a caudales para diferentes periodos de retorno termina de algún modo por visibilizar de manera cercana o no a lo que acontece en el área más próxima de la quebrada Machángara en periodos de tiempo en los cuales se presentan eventos de precipitación de

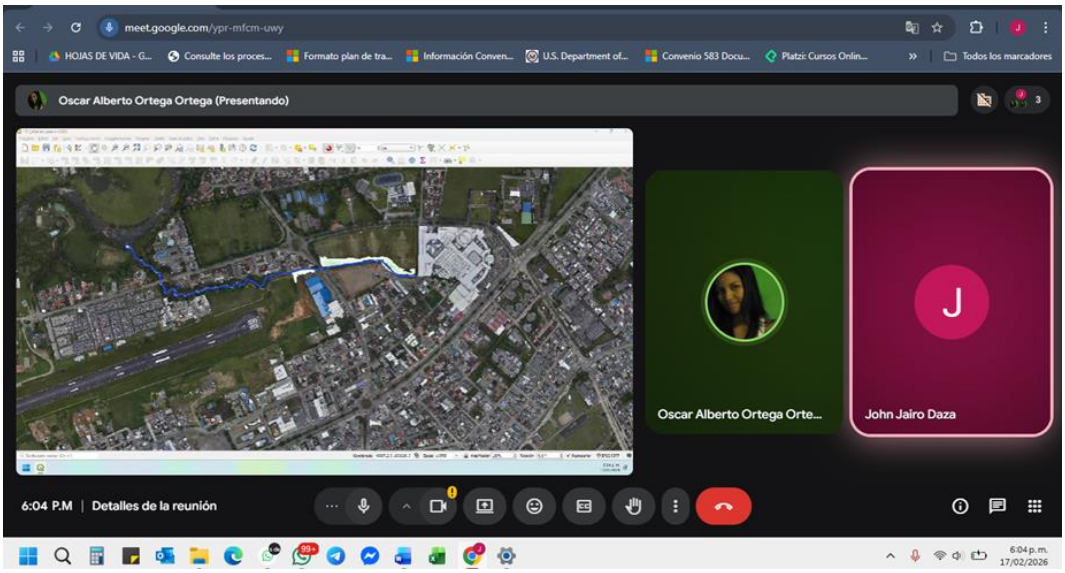
consideración, razón por la cual la toma de decisiones en relación con los elementos que permiten el planteamiento de escenarios debe estar fundamentada técnicamente, condición esta que ha conllevado al desarrollo de múltiples reuniones del equipo de trabajo y de la consultoría con los profesionales de la supervisión..

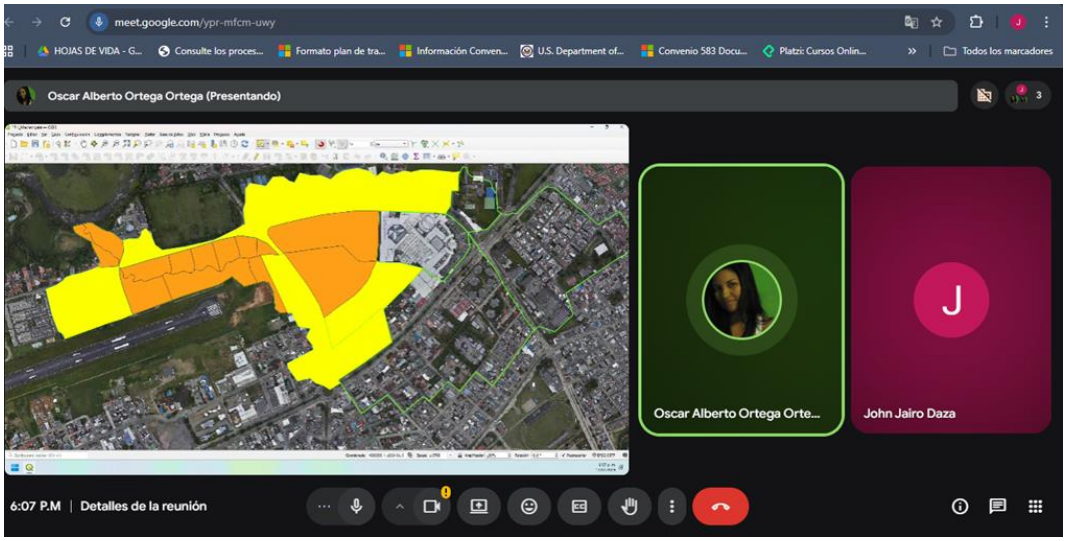
3.1.1. Reuniones internas del equipo de trabajo

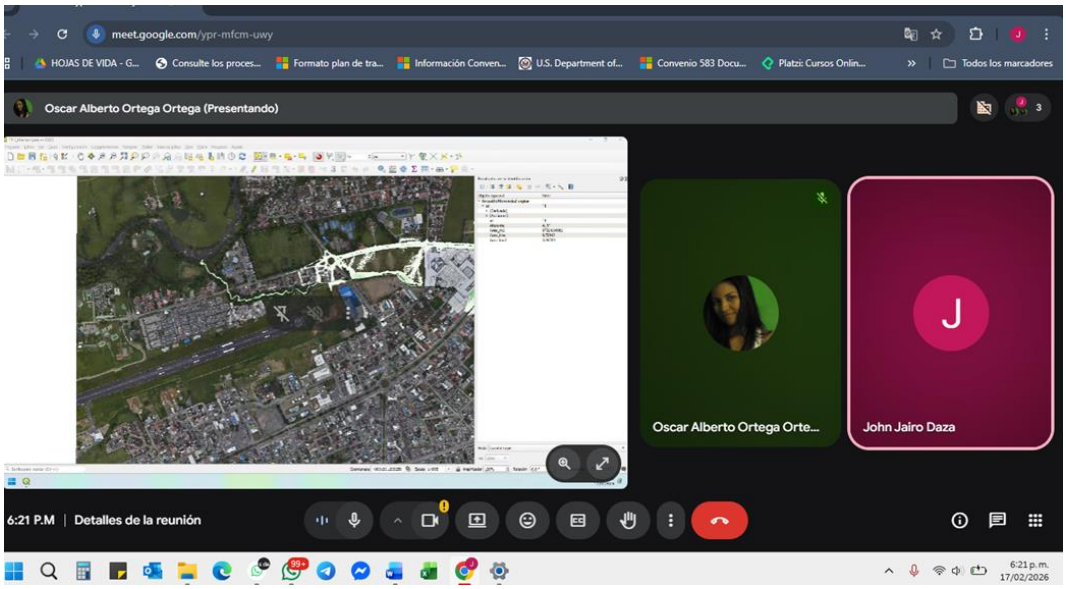
Tal como se indicó en el apartado anterior, la definición de aspectos de interés e importancia en el componente hidrológico – hidráulico han suscitado el desarrollo de numerosas reuniones, en las cuales el profesional encargado del componente ha expuesto al equipo profesional involucrado en el desarrollo del proyecto, algunas consideraciones, permitiendo llegar a consensos que permitan avanzar en el ejercicio.

Cabe resaltar que en el componente se ha integrado la información topo batimétrica, permitiendo realizar ajustes a los polígonos de las áreas de aferencia, los resultados en este componente se ilustran en la Foto 9.

Foto 9. Visualización de condiciones de acumulación de agua en escenarios preliminares







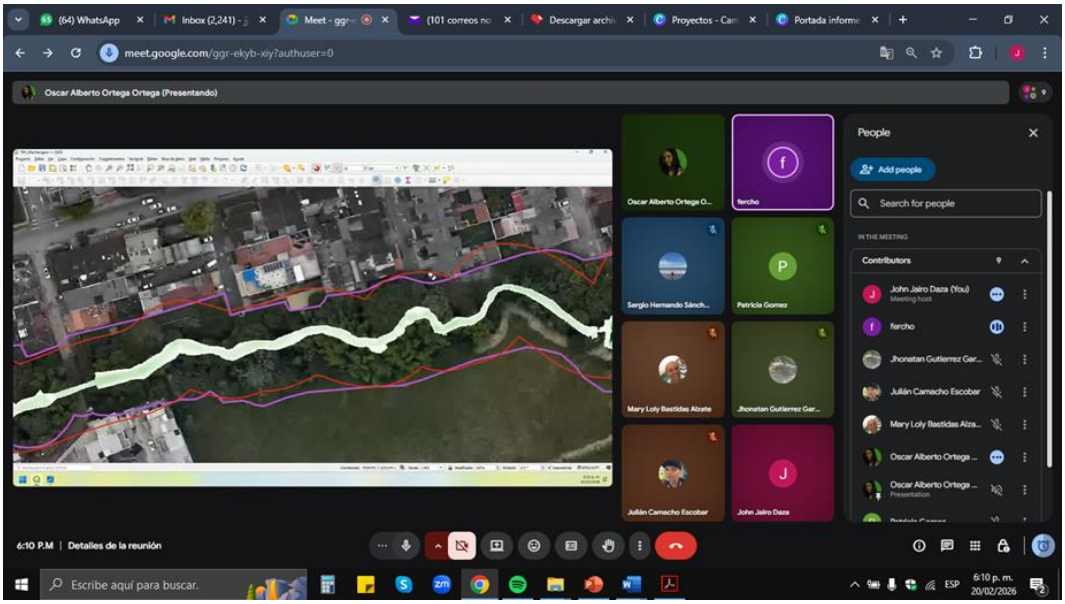
Fuente: PROAGUA, 2026

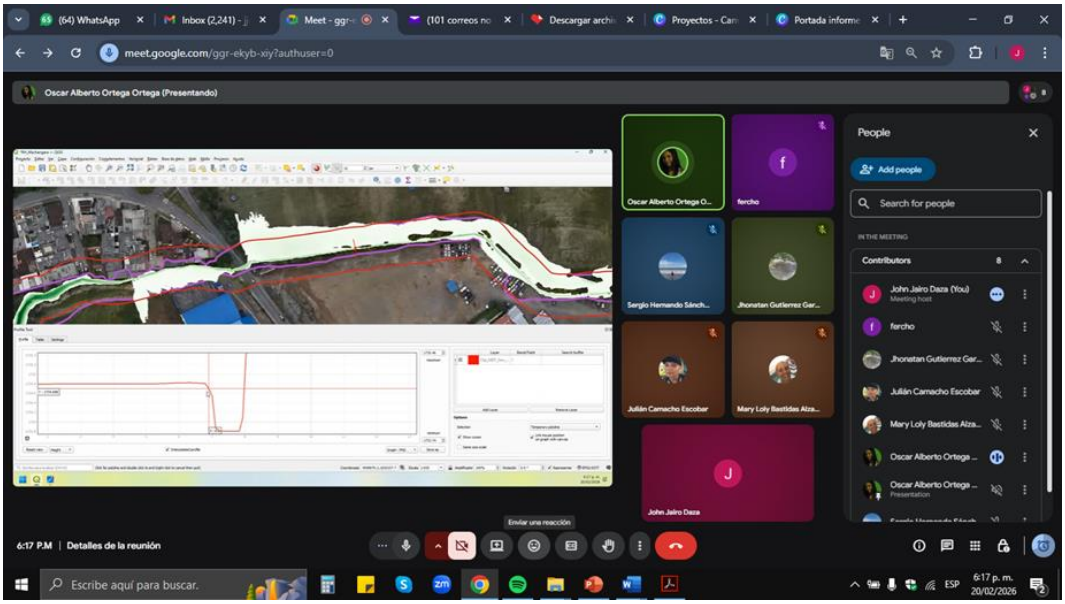
En algunos de los espacios desarrollados ha sido considerado para efectos del componente hidrológico – hidráulico, la localización del Centro Comercial Campanario como la gran barrera que impide que el agua de escorrentía asociada a precipitaciones de cierta magnitud llegue hasta la quebrada, generando las condiciones de inundación que se reportan a través de las redes sociales y diferentes medios de comunicación.

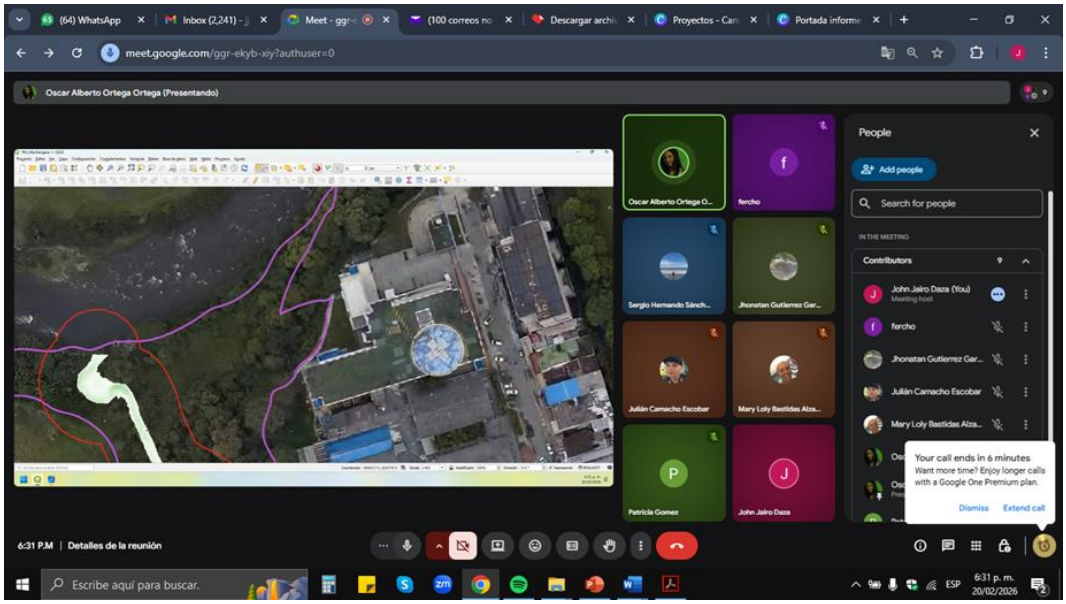
Frente a este componente es claro indicar también que, los datos ingresados al modelo responden a un análisis serio frente a las posibilidades de ocurrencia. De igual manera se han realizado espacios de trabajo en los cuales ha sido presentada la superposición de las

envolventes preliminares para cada uno de los componentes trabajados denotándose en algunos casos la superposición de la ronda del componente ecosistémico con la del geomorfológico. A continuación (ver Foto 10), se presentan algunas imágenes que han sido base para las discusiones generadas a nivel grupal.

Foto 10. Superposición preliminar de las rondas establecidas por componente







Fuente: PROAGUA, 2026

3.1.2. Reuniones con el equipo de supervisión del proyecto

De manera paralela y a través de reuniones desarrolladas a través de plataformas de trabajo virtual y presencial han sido desarrolladas reuniones con el equipo de profesionales de la supervisión, estableciéndose en cada una de ellas, una serie de acuerdos que han permitido avanzar.

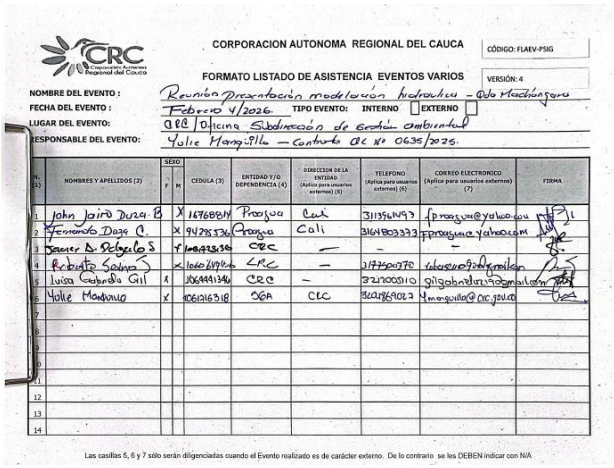
La última jornada de trabajo presencial (ver Foto 11 y Foto 12) continúan centrándose en la definición de algunos temas de interés, reincidiendo siempre en la necesidad de definir las áreas de aferencia y los caudales de aportes asociadas a ellas; el espacio igualmente sirvió para dar a conocer la información entregada por el señor William Henao de manera verbal, quien indico que el 80% de las aguas que caen a las cubiertas del centro comercial llegan hasta la tubería que descarga a la quebrada Machángara y el agua de los parqueadero descubierto son conducidas hasta un tanque subterráneo y posteriormente se bombeo hasta una tubería de 45 pulgadas para finalmente descargar al rio Cauca a través de un colector operado por el acueducto.

Foto 11. Aspecto reunión presenciales



Fuente: PROAGUA, 2026

Foto 12. Listado de asistencia



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA — CÓDIGO: FLAEV-PSIG

FORMATO LISTADO DE ASISTENCIA EVENTOS VARIOS — VERSIÓN: 4

NOMBRE DEL EVENTO: Reunión Presentación modelación hidraulica - Qda Machángara

FECHA DEL EVENTO: Febrero 4/2026. TIPO EVENTO: INTERNO ☐ EXTERNO ☐

LUGAR DEL EVENTO: QBC / Oficina Subdirección de Gestión Ambiental

RESPONSABLE DEL EVENTO: Julie Manguilla — Contrato QBC Nº 0635/2025.

No. (1)	NOMBRES Y APELLIDOS (2)	SEXO F	SEXO M	CEDULA (3)	ENTIDAD Y/O DEPENDENCIA (4)	DIRECCION DE LA ENTIDAD (Aplica para usuarios externos) (5)	TELEFONO (Aplica para usuarios externos) (6)	CORREO ELECTRONICO (Aplica para usuarios externos) (7)	FIRMA
1	John Jairo Duque B		X	16768814	Proagua	Cali	3113561493	proagua@yahoo.com	
2	Fernando Daza C.		X	94285336	Proagua	Cali	3164803373	fpproagua.yahoo.com	
3	Javier D. Rebolledo S		X	16842836	CRC	—	—	—	
4	Roberto Salinas J		X	16662197	CRC	—	3137500770	robertosalinas@hotmail.com	
5	Luisa Gabriela Gil	X		1064991346	CRC	—	3127005110	gilgabriela13@gmail.com	
6	Julie Manguilla		X	1061216318	QBA	CLC	3142869027	jmanguilla@crc.gov.co	
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

Las casillas 5, 6 y 7 sólo serán diligenciadas cuando el Evento realizado es de carácter externo. De lo contrario se les DEBEN indicar con N/A

Fuente: PROAGUA, 2026

A pesar de los esfuerzos técnicos que desde la consultoría se han realizado en el desarrollo de la actual consultoría, continúan algunos aspectos por resolver; sin desconocer que los tiempos que el modelo se toma para correr los diferentes escenarios planteados son prolongados.

4. COMENTARIOS FINALES

Se requiere el desarrollo de algunos espacios de trabajo y concertación con los profesionales de la Corporación que permitan el afinamiento de los avances en lo que se refiere a las rondas hídricas preliminares establecidos para algunos de los componentes trabajados.

Se está en el proceso de consolidación del documento asociado al componente ecosistémico, el cual de alguna manera deberá evidenciar los servicios ecosistémicos que oferte la franja de protección de la quebrada y que necesariamente deberán ser consideradas dentro del planteamiento de las medidas de manejo de la ronda hídrica.

Se continua en el planteamiento de algunos escenarios desde el componente hidrológico – hidráulico, que permita contar con un abanico amplio de posibilidades ajustadas a las realidades propias del acontecer en el entorno de la quebrada Machángara.