



Levantamiento topobatimétrico del río del Hato a partir del uso de estación total y GNSS, orientado a la generación y validación de un Modelo Digital de Elevación (DEM), mediante su comparación con información topográfica previamente existente en el municipio de Piedecuesta, 2026.

Proyecto de Investigación

Sergio Andrés Mejía Alfonso
1095840992

Juan David Rodríguez Velandia
1097491696

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Levantamientos Topográficos
Bucaramanga 20 de agosto de 2026



Levantamiento topobatiométrico del río del Hato a partir del uso de estación total y GNSS, orientado a la generación y validación de un Modelo Digital de Elevación (DEM), mediante su comparación con información topográfica previamente existente en el municipio de Piedecuesta, 2026.

Proyecto de Investigación

Sergio Andrés Mejía Alfonso

1095840992

Juan David Rodríguez Velandia

1097491696

**Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogos en Levantamientos Topográficos**

DIRECTOR

M.Sc Héctor Alfonso Correa Rangel

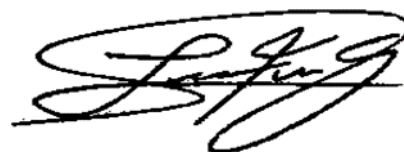
Grupo de Investigación en Medio Ambiente y Territorio – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Tecnología en Levantamientos Topográficos
Bucaramanga 20 de agosto de 2026**

Nota de Aceptación

APROBADO

En cumplimiento de los requisitos exigidos por las
Unidades Tecnológicas de Santander para optar al
título de Tecnólogo en Levantamientos Topográficos
según acta # 28 del comité de proyectos de grado
del programa, el día 25 de septiembre del 2026



Leonardo Favio Gómez Mejía

Firma del Evaluador



Héctor Alfonso Correa Rangel

Firma del Director

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las Unidades Tecnológicas de Santander y al programa de Tecnología en Levantamientos Topográficos, por la formación académica y los conocimientos adquiridos durante el proceso que hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de grado.

De manera especial, agradecen al M.Sc. Héctor Alfonso Correa Rangel, director del proyecto, por su orientación, acompañamiento y aportes durante las diferentes etapas de desarrollo del trabajo.

Asimismo, se expresa un agradecimiento especial a la M.Sc. Diana Alexandra Sánchez Virviescas, representante legal de DS Ambiental S.A.S., por facilitar la información topográfica y cartográfica previamente disponible para el Río del Hato, la cual fue utilizada como insumo de referencia para complementar y comparar los resultados obtenidos durante el levantamiento realizado.

Finalmente, los autores agradecen a todas las personas que brindaron apoyo durante las actividades de campo, el procesamiento de la información y la elaboración del documento final.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>9</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>10</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>12</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	13
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4. ESTADO DEL ARTE	15
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>17</u>
2.1. MARCO TEÓRICO	17
2.1.1. TOPOGRAFÍA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	17
2.1.2. PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA	18
2.1.3. BATIMETRÍA	19
2.1.4. LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS	19
2.1.5. GEODESIA, MAGNA-SIRGAS Y SISTEMA DE REFERENCIA	20
2.1.6. SISTEMAS GNSS	21
2.1.7. ESTACIÓN TOTAL	22
2.1.8. PROCESAMIENTO DE OBSERVACIONES Y GENERACIÓN DEL DEM	22
2.1.9. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y VALIDACIÓN	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL	24
2.3. MARCO LEGAL	25
2.4. MARCO AMBIENTAL	27
2.5. MARCO HISTÓRICO	28
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>30</u>
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>33</u>
<u>5. RESULTADOS</u>	<u>42</u>

5.1.	CONTROL TOPOGRÁFICO Y CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN	42
5.2.	RESULTADO DEL LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO	44
5.3.	CURVAS DE NIVEL	47
5.4.	PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE	48
5.5.	SECCIONES TRANSVERSALES.....	49
5.6.	SUPERFICIE TIN.....	50
5.7.	MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM).....	51
5.8.	ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	53
5.9.	COMPARACIÓN CON LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA EXISTENTE	54
5.9.1.	COBERTURA Y RELACIÓN ENTRE LOS LEVANTAMIENTOS.....	55
5.9.2.	COMPARACIÓN EN LA ZONA DE TRASLAPE.....	57
5.9.3.	APORTE Y AMPLIACIÓN DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA EXISTENTE.....	61
5.9.4.	INTEGRACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INFORMACIÓN	63
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>65</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>67</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>69</u>
9.	<u>ANEXOS</u>	<u>71</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de control BM-1 y BM-2.....	43
Figura 2. Distribución de los puntos obtenidos durante el levantamiento topobatimétrico	44
Figura 3. Levantamiento de información mediante receptor GNSS RTK	45
Figura 4. Levantamiento de información mediante estación total	46
Figura 5. Curvas de nivel generadas para el tramo levantado del Rio del Hato....	47
Figura 6. Perfil longitudinal del tramo levantado del Rio del Hato	48
Figura 7. Secciones transversales generadas del tramo levantado del Rio del Hato	49
Figura 8. Superficie TIN generada del tramo levantado del Rio del Hato.....	50
Figura 9. DEM generado del tramo levantado del Rio del Hato	52
Figura 10. Valores de elevación del DEM.....	53
Figura 11. Cobertura de la información topográfica existente y del levantamiento realizado en el Río del Hato.....	56
Figura 12. Comparación de las curvas de nivel y representación del cauce en la zona de traslape	58
Figura 13. Comparación de los Modelos Digitales de Elevación en la zona de traslape.....	60
Figura 14. Ampliación de la información topográfica y elementos incorporados en el levantamiento realizado	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normativa y referentes técnicos relacionados con el desarrollo del proyecto	26
Tabla 2. Coordenadas de puntos de control materializados en MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional.....	43

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Información del control topográfico.....	71
Anexo B. Planos topográficos del levantamiento del Río del Hato	72
Anexo C. Información topográfica utilizada para la comparación.....	75
Anexo D. Registro fotográfico de las actividades de campo	77

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tuvo como propósito realizar un levantamiento topobatimétrico en un sector del Río del Hato, en el municipio de Piedecuesta, mediante el uso combinado de estación total y receptor GNSS, con el fin de generar un Modelo Digital de Elevación (DEM) y compararlo con información topográfica previamente disponible.

El levantamiento se apoyó en control topográfico referenciado al vértice PIED-01 y al sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional. En campo se utilizó GNSS en zonas con adecuada recepción satelital y estación total dentro del cauce y en sectores con limitaciones de señal. La información fue procesada en ArcMap 10.8 y AutoCAD Civil 3D para generar curvas de nivel, perfil longitudinal, secciones transversales, superficie TIN y DEM.

Como resultado se obtuvo una base topobatimétrica de aproximadamente 580 m. La comparación con la información existente mostró correspondencia general en las elevaciones y una diferencia localizada en la posición horizontal del cauce en el sector inicial de traslape.

El levantamiento permitió ampliar y complementar la información disponible, incorporando nuevos sectores y elementos del entorno, y constituye un insumo útil para futuros estudios topográficos, hidráulicos y de gestión del riesgo.

PALABRAS CLAVE. Levantamiento topobatimétrico, GNSS, estación total, Modelo Digital de Elevación, Río del Hato.

INTRODUCCIÓN

La información topográfica y topobatimétrica constituye un insumo fundamental para representar la geometría de los cauces, sus márgenes y el relieve del terreno asociado. Este tipo de información es utilizada en estudios hidráulicos, hidrológicos, de inundación y de gestión del riesgo, donde la adecuada representación del terreno influye directamente en la calidad de los análisis posteriores. Diferentes estudios han mostrado la importancia de complementar la información cartográfica con mediciones obtenidas directamente en campo, especialmente cuando se requiere caracterizar con mayor detalle la forma de los cauces y sus zonas próximas (Alcaldía Municipal de Cajicá, 2021; Losada et al., 2018).

El desarrollo de tecnologías como los sistemas GNSS, la estación total y los métodos de generación de Modelos Digitales de Elevación ha permitido mejorar la captura y representación de la información del terreno. Sin embargo, la existencia de modelos digitales o levantamientos previos no elimina la necesidad de verificar su correspondencia con las condiciones observadas en campo. La validación mediante mediciones directas permite reconocer diferencias en posición, elevación y configuración de las superficies, aspecto que ha sido considerado en investigaciones orientadas a evaluar modelos del terreno mediante diferentes técnicas de levantamiento (Cueva & Ulco, 2024; Irwin et al., 2021).

En el Río del Hato, localizado en el municipio de Piedecuesta, se contaba con información topográfica y un Modelo Digital de Elevación generados previamente; no obstante, dicha información no cubría la totalidad del sector de interés para el presente proyecto. A partir de esta situación se planteó realizar un nuevo levantamiento topobatimétrico que, además de ampliar la cobertura disponible, permitiera establecer una zona común para comparar ambos trabajos. Este enfoque

representa un aporte al disponer de información actualizada sobre un nuevo tramo del cauce y, al mismo tiempo, analizar su relación con la topografía existente, en lugar de considerar los productos generados como fuentes independientes. La información previa utilizada en el proyecto permitió precisamente definir el tramo de ampliación y la zona de traslape destinada a la comparación.

Para el desarrollo del trabajo se empleó una metodología de carácter descriptivo y aplicado, basada en mediciones directas de campo y en el análisis comparativo de la información obtenida. El levantamiento se realizó mediante el uso conjunto de receptor GNSS y estación total, estableciendo el control topográfico a partir del vértice geodésico PIED-01 y trabajando bajo el sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional. Posteriormente, los datos fueron procesados mediante herramientas topográficas y Sistemas de Información Geográfica para generar curvas de nivel, perfil longitudinal, secciones transversales, superficie TIN y un Modelo Digital de Elevación. Finalmente, estos productos fueron revisados de manera conjunta y comparados con la información previamente disponible en el sector de traslape, con el propósito de identificar su correspondencia, diferencias y utilidad como complemento para futuros estudios del Río del Hato.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La información topográfica es fundamental para representar adecuadamente la geometría de los cauces, sus márgenes y el relieve del terreno cercano. En el caso del río del Hato, ubicado en el municipio de Piedecuesta, existe información topográfica previa; sin embargo, las condiciones del cauce pueden cambiar con el tiempo debido a procesos de erosión, sedimentación, crecimiento de vegetación e intervención del entorno.

Además, algunos modelos digitales existentes pueden presentar limitaciones en la representación del lecho del río, especialmente cuando fueron elaborados con menor densidad de puntos o sin un levantamiento directo dentro del cauce. Esto puede generar diferencias en las cotas, los perfiles, las secciones transversales y la forma general del terreno.

Ante esta situación, se realizó un levantamiento topobatimétrico mediante estación total y receptor GNSS, con el fin de obtener información actualizada y de mayor detalle. A partir de estos datos se generó un Modelo Digital de Elevación del tramo estudiado, junto con curvas de nivel, perfil longitudinal y secciones transversales.

La comparación de este modelo con la información topográfica previamente existente permite identificar diferencias y valorar la utilidad del nuevo levantamiento como insumo para futuros estudios del río del Hato.

¿Qué diferencias existen entre el Modelo Digital de Elevación generado a partir del levantamiento topobatemétrico realizado en un tramo del río del Hato y la información topográfica previamente disponible para el mismo sector?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del levantamiento topobatemétrico en un tramo del río del Hato se justifica por la necesidad de contar con información actualizada y detallada sobre la geometría del cauce, sus márgenes y el relieve del terreno cercano. La obtención de datos directos en campo permite representar con mayor precisión las condiciones del sector y reducir las limitaciones que pueden presentar los modelos elaborados con información de menor resolución o sin mediciones dentro del cauce.

El uso complementario de estación total y receptor GNSS permite obtener información planimétrica y altimétrica en sectores con diferentes condiciones de acceso, cobertura vegetal y recepción satelital. A partir de estos datos se pueden generar curvas de nivel, perfiles, secciones transversales y un Modelo Digital de Elevación, productos que sirven como base para la caracterización del terreno y para futuros estudios técnicos sobre el río del Hato.

La comparación entre el modelo generado y la información topográfica previamente disponible permite identificar diferencias en cotas, formas del cauce y configuración del terreno. Este análisis aporta criterios para valorar la precisión y utilidad del nuevo levantamiento y para establecer si la información obtenida puede emplearse como insumo confiable en estudios posteriores.

Para las Unidades Tecnológicas de Santander, el proyecto fortalece la aplicación de los conocimientos adquiridos en el programa de Tecnología en Levantamientos Topográficos y aporta a las líneas de investigación del grupo GRIMAT. Asimismo,

contribuye al campo de la topografía aplicada a fuentes hídricas y demuestra la importancia del trabajo de campo en la generación y validación de productos cartográficos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el levantamiento topobatimétrico en un sector del río del Hato mediante el uso de estación total y receptor GNSS, con el propósito de elaborar un Modelo Digital de Elevación (DEM) y contrastarlo con la información topográfica y los modelos previamente disponibles, a fin de valorar su precisión y utilidad en análisis territoriales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar información topográfica y batimétrica del tramo seleccionado del río del Hato mediante la aplicación conjunta de estación total y receptor GNSS, con un adecuado nivel de precisión y control geodésico.
- Construir un Modelo Digital de Elevación (DEM) con base en la información recolectada en campo, mediante el uso de herramientas SIG y métodos de interpolación apropiados.
- Contrastar y validar el DEM obtenido con modelos y levantamientos topográficos previos del río del Hato, mediante la evaluación de sus diferencias, nivel de precisión y potencial aplicación en estudios hidrológicos y de gestión del riesgo.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Los levantamientos topobatimétricos se han utilizado como una herramienta técnica para representar la geometría de los cauces y generar Modelos Digitales de Elevación aplicables a estudios hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y territoriales. La combinación de estación total y receptores GNSS permite obtener información planimétrica y altimétrica con un adecuado nivel de detalle, especialmente en sectores donde las condiciones de cobertura vegetal, acceso o recepción satelital dificultan la aplicación de un único método de levantamiento.

En Colombia, el estudio básico de amenaza por inundación desarrollado en el municipio de Cajicá incorporó levantamientos topobatimétricos para la caracterización geométrica de canales y la generación de insumos espaciales utilizados en análisis de inundación. Este antecedente evidenció la importancia de contar con información de campo para representar con mayor precisión la forma de los cauces (Alcaldía Municipal de Cájica, 2021).

De manera similar, en Popayán se compararon resultados de simulaciones de inundación obtenidos a partir de cartografía digital y de información topobatimétrica levantada directamente en campo. Los resultados mostraron que los datos de campo permitieron una representación más confiable del cauce y mejoraron la calidad de los análisis hidráulicos (Losada, Mamián, & Guevara, 2018).

En Ecuador, (Cueva & Ulco, 2024) evaluaron la exactitud de modelos del terreno en orillas de quebradas urbanas mediante estación total, GNSS diferencial y drones. El estudio destacó la necesidad de validar las superficies digitales con datos de campo y mediante indicadores cuantitativos de precisión.

En el ámbito internacional, el Servicio Geológico de los Estados Unidos empleó datos obtenidos con RTK-GNSS para validar superficies topobatiométricas derivadas de LiDAR en el río Kootenai. Este trabajo demostró la utilidad de la información capturada directamente en campo como referencia para verificar modelos de elevación de alta resolución (Irwin, Danielson, Jim, & Fosness, 2021).

Los antecedentes revisados demuestran la importancia de los levantamientos topobatiométricos en la generación y validación de modelos digitales del terreno. No obstante, son menos frecuentes los estudios orientados a comparar un DEM obtenido mediante estación total y receptor GNSS con información topográfica previamente disponible para un mismo tramo de cauce. En este sentido, el presente trabajo aporta una evaluación aplicada al río del Hato, mediante la identificación de diferencias entre el modelo generado y la información existente.

2. MARCO REFERENCIAL

El marco referencial permite contextualizar el proyecto a partir de los conceptos, criterios técnicos y normas vinculadas con las actividades desarrolladas. En este trabajo, el componente principal es el levantamiento topobatimétrico y el procesamiento de la información recolectada en campo, a partir de la cual se generan productos como perfiles, secciones transversales, curvas de nivel y el Modelo Digital de Elevación. Por ello, este capítulo no se enfoca únicamente en presentar definiciones, sino en mostrar la relación que existe entre la topografía, la batimetría, los sistemas de posicionamiento, la estación total y los Sistemas de Información Geográfica dentro del desarrollo del proyecto.

2.1. MARCO TEÓRICO

El levantamiento topobatimétrico permite representar de forma integrada tanto las áreas ubicadas fuera del cauce como la forma y elevación de su fondo. Para ello se combinan datos de posición horizontal y vertical bajo un mismo sistema de referencia, procurando que las mediciones obtenidas en campo mantengan una adecuada calidad. Con esta información se puede generar una superficie continua del terreno que muestre las variaciones del relieve y que, posteriormente, sirva para realizar comparaciones con otros productos topográficos existentes.

2.1.1. TOPOGRAFÍA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

La topografía se ocupa de determinar la posición de puntos sobre el terreno a partir de mediciones de distancias, ángulos y diferencias de nivel (University of Puerto Rico, Mayagüez Campus, s.f.). En la práctica, un levantamiento topográfico comienza mucho antes de tomar el primer punto: primero se revisa el área de

trabajo, se definen los sitios de acceso, se establece el sistema de referencia y se selecciona el equipo más adecuado para cada sector. Después se realiza la captura en campo y, finalmente, se procesa la información para convertir las observaciones en un producto que pueda ser interpretado y utilizado (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2025).

En un corredor asociado a un río, no basta con levantar puntos de forma aislada. Es necesario reconocer los cambios de pendiente, las márgenes, los taludes y las zonas donde la geometría cambia de forma evidente (Griffiths, Topping, Unema, & Kohl, 2026). Estos elementos son los que permiten que la superficie generada conserve la forma real del terreno y no se convierta simplemente en una interpolación uniforme entre puntos (U.S. Army Corps of Engineers, 2007).

2.1.2. PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA

La planimetría permite establecer la ubicación horizontal de los puntos levantados, mientras que la altimetría se encarga de determinar sus elevaciones. Ambas son necesarias para representar el terreno de manera tridimensional. En un levantamiento topobatimétrico, la información planimétrica permite localizar elementos como el eje del cauce, las márgenes y los puntos que conforman cada sección, mientras que la información altimétrica ayuda a reconocer desniveles, pendientes y cambios en la forma del fondo (Coche, 1989).

Con estos datos es posible elaborar perfiles longitudinales y secciones transversales. El perfil longitudinal permite observar cómo varía la elevación a lo largo del cauce, mientras que las secciones transversales muestran su forma en puntos determinados (Coche, 1989). Estos productos facilitan la revisión del levantamiento, ya que permiten identificar cambios en la geometría y verificar la

continuidad de la información con mayor claridad que al analizar únicamente una nube de puntos.

2.1.3. BATIMETRÍA

La batimetría permite conocer la profundidad y la forma que tiene el fondo de un río, quebrada u otro cuerpo de agua. Cuando se trabaja en cauces poco profundos, estas mediciones pueden hacerse directamente con equipos topográficos, siempre que las condiciones permitan ingresar de manera segura y que los puntos tomados queden referenciados con el mismo sistema utilizado en el resto del levantamiento (Barton, Moran, & Berenbrock, 2004).

Esta información es importante porque permite completar la representación del terreno dentro del cauce. Si no se levantan puntos en el fondo, queda un espacio sin información entre las dos márgenes y la superficie generada puede no representar correctamente la forma real del río. Por eso, además de tomar suficientes puntos, es necesario distribuirlos de manera adecuada y registrar con mayor detalle los sectores donde el fondo presenta cambios de pendiente o de forma (U.S. Army Corps of Engineers, 2007).

2.1.4. LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS

El levantamiento topobatimétrico reúne en un mismo trabajo la información de las zonas que se encuentran fuera del agua y los datos tomados directamente en el fondo del cauce. Al integrar ambas partes se obtiene una representación más completa del terreno, que después puede utilizarse para generar modelos digitales, perfiles y secciones, así como para apoyar estudios hidráulicos y el análisis de las características geomorfológicas del cauce (Barton, Moran, & Berenbrock, 2004).

Para que el resultado sea confiable, es necesario revisar que la información obtenida con los distintos equipos pueda integrarse sin problemas. Todos los puntos deben manejar un sistema de referencia compatible y conservar una adecuada correspondencia en sus elevaciones. Si esto no se controla, pueden aparecer discontinuidades o diferencias en la superficie que realmente no corresponden con la geometría del terreno. Por eso, la revisión, organización y control de los datos antes de su integración constituyen una etapa fundamental del procesamiento (Danielson, Miller-Corbett, & Thatcher, 2021).

2.1.5. GEODESIA, MAGNA-SIRGAS Y SISTEMA DE REFERENCIA

La geodesia permite ubicar de forma correcta los puntos levantados dentro de un sistema de referencia común. En Colombia, el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS constituye el datum oficial para el posicionamiento horizontal, permitiendo que la información obtenida con distintos equipos o en diferentes momentos pueda compararse e integrarse de manera coherente, siempre que se mantengan sistemas de referencia compatibles (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2021).

Para representar esta información en planos y mapas es necesario utilizar una proyección cartográfica que permita expresar las posiciones mediante coordenadas planas. En Colombia, el sistema oficial corresponde a MAGNA-SIRGAS / Origen-Nacional, basado en la proyección Transversa de Mercator y codificado como EPSG:9377. Su utilización facilita la homogeneidad y continuidad de la información geográfica y la integración de diferentes productos cartográficos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2021). Por esta razón, definir correctamente el sistema de referencia constituye una parte fundamental del proyecto, ya que de ello depende

que los datos levantados y los productos generados puedan relacionarse adecuadamente entre sí.

2.1.6. SISTEMAS GNSS

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite, conocidos como GNSS, permiten determinar la posición de un punto a partir de las señales transmitidas por diferentes satélites. En los levantamientos topográficos se utilizan métodos de posicionamiento que permiten mejorar la precisión de estas coordenadas. Uno de los más empleados es el posicionamiento cinemático en tiempo real o RTK (Real-Time Kinematic), mediante el cual es posible obtener posiciones tridimensionales con precisiones del orden centimétrico a partir de las correcciones transmitidas desde una estación base al receptor móvil (Henning, 2011).

Sin embargo, en campo no siempre se presentan las condiciones ideales. La presencia de árboles, edificaciones, taludes altos u otros obstáculos puede limitar la recepción de las señales o producir efectos de trayectoria múltiple (*multipath*), afectando la calidad de la posición obtenida. También pueden presentarse pérdidas momentáneas del seguimiento de los satélites o de la solución fija, lo que puede generar variaciones en la precisión de las coordenadas (Henning, 2011). Por esta razón, durante el levantamiento es importante revisar el estado de la solución, las condiciones de recepción y los indicadores de calidad de cada observación, en lugar de considerar que todos los puntos obtenidos mediante GNSS presentan automáticamente la misma precisión.

2.1.7. ESTACIÓN TOTAL

La estación total es un equipo topográfico que permite medir ángulos y distancias para determinar la posición de puntos a partir de estaciones o referencias conocidas. Su utilización resulta especialmente útil en levantamientos que requieren un control detallado de la geometría del terreno y en sectores donde las condiciones dificultan el posicionamiento mediante otros métodos (U.S. Army Corps of Engineers, 2007). En levantamientos de cauces poco profundos, este tipo de equipo puede emplearse directamente para obtener información de las secciones y del fondo cuando las condiciones permiten realizar las mediciones desde puntos accesibles (Barton, Moran, & Berenbrock, 2004).

En los levantamientos realizados sobre cauces, la estación total permite registrar de manera organizada los puntos que conforman las secciones transversales, incluyendo márgenes, taludes y fondo. Para garantizar la calidad de la información es necesario instalar correctamente el instrumento sobre los puntos de control, mantener una adecuada orientación y registrar con precisión tanto la altura del instrumento como la altura del prisma (U.S. Army Corps of Engineers, 2007). Asimismo, debe mantenerse una adecuada línea de visibilidad entre el instrumento y el reflector durante la medición.

2.1.8. PROCESAMIENTO DE OBSERVACIONES Y GENERACIÓN DEL DEM

Una vez termina el trabajo de campo, es necesario revisar y organizar toda la información antes de generar cualquier superficie. En esta etapa se verifica que las coordenadas correspondan al sistema de referencia definido, que las cotas sean coherentes y que los códigos asignados a los puntos estén correctamente identificados. También se revisan posibles valores fuera de lo esperado y se

comprueba que exista continuidad entre los datos obtenidos con los diferentes métodos de levantamiento (U.S. Army Corps of Engineers, 2007).

El Modelo Digital de Elevación permite representar de manera continua las alturas del área levantada. Para generarlo, los valores de elevación se organizan sobre una estructura regular y, cuando es necesario, se estiman valores entre las observaciones disponibles mediante procesos de interpolación. La calidad del modelo no depende únicamente del procedimiento utilizado, sino también de la densidad y distribución de los datos y de la adecuada representación de elementos que producen cambios importantes en la geometría del terreno, como taludes, bordes o líneas de quiebre (U.S. Army Corps of Engineers, 2007).

Por esta razón, utilizar un tamaño de celda muy pequeño no significa necesariamente que el modelo sea más preciso. La resolución del raster debe ser coherente con la densidad y espaciamiento de la información de origen. Además, es recomendable revisar el modelo junto con otros productos derivados del levantamiento, como curvas de nivel, perfiles y secciones transversales, con el fin de identificar posibles discontinuidades o sectores que no representen adecuadamente la geometría observada antes de considerar el DEM como producto final.

2.1.9. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y VALIDACIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica permiten integrar, organizar, visualizar y analizar información espacial dentro de un mismo entorno, incluyendo puntos de campo, secciones, curvas de nivel, modelos de elevación y cartografía de apoyo. Al compartir una referencia geográfica común, estas capas pueden compararse entre sí para identificar coincidencias, diferencias espaciales o posibles inconsistencias

que requieran una revisión más detallada (Federal Geographic Data Committee, 1997).

La validación permite comprobar qué tan bien representa el producto generado las condiciones del terreno o la información utilizada como referencia. Para ello pueden compararse coordenadas, elevaciones, perfiles o superficies con información de control. En este proceso es importante diferenciar la precisión de la exactitud: la precisión se relaciona con la consistencia o calidad del proceso de medición, mientras que la exactitud indica qué tan próximos se encuentran los resultados respecto de valores considerados verdaderos o de referencia (Federal Geographic Data Committee, 1997). Al realizar estas comparaciones también deben considerarse las características de los datos utilizados, incluyendo su origen, calidad y fecha de adquisición.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos que se manejan en el proyecto están relacionados entre sí y hacen parte de un mismo proceso. La topografía permite obtener información de las zonas que se encuentran fuera del agua, mientras que la batimetría se enfoca en representar el fondo del cauce. Al combinar ambos tipos de información se obtiene el levantamiento topobatimétrico, conformado por puntos que contienen su ubicación horizontal y su elevación dentro de un mismo sistema de referencia.

La georreferenciación permite que cada punto levantado tenga una ubicación definida dentro del espacio. Para esto se trabaja con un datum y una proyección cartográfica. En Colombia, MAGNA-SIRGAS corresponde al marco de referencia utilizado, mientras que las coordenadas planas facilitan el manejo de distancias, áreas y demás elementos dentro de la cartografía. A su vez, los puntos de control

ayudan a comprobar que las observaciones mantengan una ubicación correcta dentro de ese sistema.

Para obtener la información en campo pueden utilizarse diferentes equipos. El GNSS permite determinar coordenadas mediante señales satelitales, mientras que la estación total permite complementar el levantamiento a partir de mediciones de ángulos y distancias. Los puntos obtenidos con estos equipos conforman una base de información tridimensional que posteriormente puede utilizarse para generar curvas de nivel, perfiles y secciones transversales. Estos productos ayudan a entender mejor la forma del terreno antes de construir el modelo de elevación.

Una vez organizada la información, la interpolación permite calcular elevaciones en los espacios donde no se tomaron puntos directamente. Con este proceso se genera el DEM, el cual puede revisarse y analizarse dentro de un Sistema de Información Geográfica. Finalmente, la validación permite comprobar si el modelo representa de forma adecuada el terreno, comparándolo con puntos o superficies de referencia. Durante esta revisión se tienen en cuenta tanto las diferencias horizontales, conocidas como errores planimétricos, como las diferencias de elevación, asociadas a los errores altimétricos.

2.3. MARCO LEGAL

El proyecto se apoya principalmente en normas relacionadas con la información geográfica, la cartografía y la protección ambiental. Como uno de los resultados corresponde a información espacial georreferenciada, los lineamientos establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi sirven como referencia para definir el sistema de coordenadas y orientar la elaboración de los productos cartográficos. De forma complementaria, también se tienen en cuenta las normas ambientales

aplicables a las actividades realizadas en cercanías del cauce, especialmente aquellas relacionadas con la protección del recurso hídrico y del entorno.

Tabla 1. Normativa y referentes técnicos relacionados con el desarrollo del proyecto

Norma o instrumento	Contenido principal	Relación con el proyecto
Resolución IGAC 068 de 2005, modificada parcialmente por la Resolución 515 de 2026	Adopta MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. La modificación de 2026 adopta el modelo QGeoidCOL2023 asociado al datum.	Define el marco geodésico nacional para expresar las coordenadas y aporta el referente vertical actualizado para trabajos que requieren alturas asociadas a MAGNA-SIRGAS.
Resolución IGAC 370 de 2021	Establece el sistema de proyección cartográfica oficial para Colombia: MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional.	Sustenta el uso de Origen Nacional para la representación y entrega de coordenadas planas del levantamiento.
Resoluciones IGAC 471 y 529 de 2020, modificadas por la Resolución 197 de 2022	Establecen y actualizan las especificaciones técnicas mínimas de los productos de cartografía básica oficial, entre ellos los modelos digitales del terreno.	Aportan criterios de referencia sobre sistema de coordenadas, calidad y características técnicas de productos cartográficos y modelos de elevación.
Resolución IGAC 1421 de 2021	Establece condiciones para la validación técnica y oficialización de productos cartográficos básicos generados por terceros.	Constituye un referente para los procedimientos de validación y control de productos cartográficos cuando estos requieren incorporación o uso con fines oficiales.
Ley 99 de 1993	Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y establece principios para la gestión y protección del ambiente y los recursos naturales renovables.	Enmarca el desarrollo responsable de las actividades de campo y la protección de los componentes ambientales presentes en el corredor hídrico.
Decreto 1076 de 2015	Expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y compila la reglamentación aplicable al recurso hídrico, cauces y demás recursos naturales.	Es el referente reglamentario ambiental principal para actividades relacionadas con cuerpos de agua y para la prevención de intervenciones que alteren el cauce o sus recursos asociados.

Ley 1523 de 2012

Adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Su relación es complementaria: la información topográfica y topobatimétrica puede servir como insumo para conocimiento del territorio, modelación hidráulica y estudios de amenaza cuando el proyecto o futuros usuarios así lo requieran.

Nota: Elaboración propia a partir de los lineamientos del IGAC, la ICDE y la normativa colombiana relacionada con información geográfica, gestión del riesgo, protección ambiental y recurso hídrico.

2.4. MARCO AMBIENTAL

El levantamiento topográfico y batimétrico genera una intervención mínima sobre el área de trabajo, ya que su objetivo principal es conocer y registrar las condiciones del terreno y del cauce sin realizar modificaciones sobre estos. Sin embargo, el ingreso del personal a las márgenes y al río debe hacerse con cuidado para evitar afectaciones durante la toma de los datos.

En relación con el recurso hídrico, se debe procurar que las actividades no cambien la forma del cauce ni alteren el material del fondo. Los residuos generados durante las jornadas deben recogerse y retirarse del lugar, evitando también el contacto del agua con combustibles, aceites u otras sustancias que puedan contaminarla. El desplazamiento dentro del río debe hacerse únicamente por los sectores necesarios para realizar las mediciones.

En el caso del suelo, el paso del personal y la ubicación temporal de los equipos pueden causar pequeñas afectaciones, especialmente en zonas inestables o sensibles. Por esta razón, se recomienda utilizar los accesos que ya existen y evitar abrir nuevos caminos. De igual manera, no se deben realizar cortes, excavaciones

o modificaciones en los taludes para facilitar la instalación de los equipos o mejorar la visual durante el levantamiento.

Durante las actividades de campo también es importante conservar la vegetación presente en las orillas del río. Si algún elemento vegetal dificulta la visual entre la estación y el prisma, se debe buscar primero otra ubicación para realizar la medición antes de considerar cualquier tipo de corte. Además, se debe evitar molestar a la fauna que pueda encontrarse en la zona y procurar que las actividades se desarrollen con el menor ruido posible.

Teniendo en cuenta estas medidas, las afectaciones generadas por el levantamiento son bajas y se presentan únicamente durante el tiempo que duran las actividades de campo. Como referencia para la protección de los recursos naturales se tienen en cuenta la Ley 99 de 1993 y el Decreto 1076 de 2015, los cuales orientan el manejo ambiental durante el desarrollo del trabajo.

2.5. MARCO HISTÓRICO

La manera de realizar los levantamientos topográficos ha cambiado bastante con el desarrollo de nuevos equipos y tecnologías. En sus primeras etapas, este tipo de trabajos se basaba principalmente en mediciones directas, nivelaciones y el uso de instrumentos ópticos. Con la llegada de los distanciómetros electrónicos y, posteriormente, de la estación total, fue posible medir ángulos y distancias de forma más ágil, además de guardar la información para procesarla después de manera digital.

Otro avance importante fue la incorporación del posicionamiento satelital. Primero con el GPS y luego con los sistemas GNSS, se hizo posible determinar coordenadas

con mayor facilidad y sin depender completamente de la visibilidad entre todos los puntos del levantamiento. Más adelante, las técnicas diferenciales y el uso de RTK permitieron reducir los tiempos de trabajo en campo y obtener posiciones con mayor nivel de precisión.

También evolucionó la forma de representar el terreno. Las curvas de nivel y los perfiles que antes se elaboraban de manera manual comenzaron a complementarse con redes trianguladas y modelos raster generados mediante programas especializados. A esto se sumaron herramientas como la fotogrametría digital, el LiDAR y los drones, que permiten cubrir áreas más grandes y obtener una gran cantidad de información en menos tiempo. Aun así, los métodos directos continúan siendo necesarios en zonas donde la vegetación, la forma del terreno o las condiciones del cauce dificultan el uso de otras tecnologías.

En la batimetría ocurrió algo parecido. Los sondeos puntuales fueron complementados con equipos más avanzados y sistemas de posicionamiento de mayor precisión. Sin embargo, en ríos de poca profundidad, el uso combinado de GNSS y estación total sigue siendo una opción muy útil, ya que permite relacionar de manera directa las mediciones realizadas en el fondo con la topografía levantada en las márgenes.

En Colombia, la adopción de MAGNA-SIRGAS y el establecimiento de lineamientos para la producción de información geográfica han permitido trabajar bajo una misma referencia. Esto facilita que los levantamientos realizados en diferentes momentos o por distintos usuarios puedan compararse, integrarse y utilizarse posteriormente dentro de Sistemas de Información Geográfica.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrolla bajo una investigación de tipo descriptiva y aplicada, ya que busca conocer y representar las condiciones topográficas y altimétricas de un tramo del Río del Hato a partir de información obtenida directamente en campo. Se considera descriptiva porque permite identificar y representar las características del terreno y del cauce en el sector estudiado. Al mismo tiempo, tiene un carácter aplicado, debido a que la información recolectada se utiliza para generar productos técnicos como curvas de nivel, secciones transversales, perfil longitudinal y un Modelo Digital de Elevación (DEM), los cuales pueden servir como base para futuros estudios y análisis del territorio.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, puesto que trabaja principalmente con datos numéricos obtenidos durante el levantamiento topobatimétrico. Entre estos se encuentran coordenadas, elevaciones, distancias y puntos de detalle tomados tanto en el cauce como en las zonas cercanas. Posteriormente, esta información se organiza y procesa mediante herramientas topográficas y geoespaciales, permitiendo representar de manera digital las condiciones del terreno y obtener los diferentes productos planteados en el proyecto.

El método utilizado parte principalmente de la observación directa, la medición en campo y el análisis comparativo. Durante las visitas al área de estudio se reconocieron las condiciones del terreno, el comportamiento físico del cauce, los accesos y los sectores adecuados para realizar las mediciones. Esta observación estuvo acompañada por la toma directa de información mediante equipos topográficos. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron comparados con información topográfica existente para el sector, con el propósito de identificar

diferencias y evaluar la representación generada a partir del levantamiento realizado.

La técnica principal empleada fue el levantamiento topobatimétrico, mediante el cual se recopiló información planimétrica y altimétrica del tramo seleccionado del Río del Hato. Para este proceso se tomaron puntos de control y puntos de detalle necesarios para representar tanto las zonas externas como la parte interna del cauce. También se levantaron secciones transversales a lo largo del tramo de estudio, con el fin de obtener una representación más completa de su geometría.

Para la toma de información se utilizaron equipos de precisión, entre ellos el receptor GNSS Hi-Target V30 Plus y la estación total SANDING ARC5 PRO. El uso conjunto de estos equipos permitió obtener la información requerida de acuerdo con las condiciones encontradas en campo. Los datos recopilados fueron posteriormente procesados mediante software especializado para organizar las mediciones, generar las superficies y elaborar los diferentes productos topográficos.

El desarrollo del proyecto se organizó en varias fases. Inicialmente, se realizó una revisión de la información disponible sobre el área de estudio y se definieron los aspectos necesarios para planificar el trabajo de campo. También se estableció el sistema de referencia que se utilizaría durante el levantamiento y procesamiento de los datos.

Posteriormente, se llevó a cabo un reconocimiento del tramo seleccionado del Río del Hato, con el propósito de identificar las condiciones del terreno, las posibilidades de acceso y los sectores donde se requería mayor detalle durante las mediciones. Esta actividad permitió organizar la distribución de los puntos y definir la metodología más adecuada para realizar el levantamiento.

Durante la fase de campo se efectuó el levantamiento topobatimétrico mediante el uso combinado del GNSS y la estación total. Con estos equipos se obtuvo información de las márgenes, el terreno cercano al río y la sección interna del cauce. La toma de datos se realizó buscando mantener una cobertura suficiente del área de estudio y representar de manera continua las variaciones del terreno.

Una vez finalizado el trabajo de campo, la información recolectada fue revisada, organizada y procesada. A partir de estos datos se generaron las curvas de nivel, la red TIN, las secciones transversales, el perfil longitudinal y el Modelo Digital de Elevación correspondiente al tramo analizado del Río del Hato.

Finalmente, el DEM obtenido a partir del levantamiento fue comparado con información topográfica disponible previamente para la zona. Esta comparación permitió observar las diferencias existentes entre ambas fuentes de información y evaluar la forma en que el levantamiento realizado representa las condiciones actuales del terreno y del cauce.

De esta manera, la metodología utilizada integra el trabajo de campo, el procesamiento de la información y el análisis de los resultados, permitiendo desarrollar los objetivos planteados y obtener una representación topográfica detallada del tramo estudiado del Río del Hato.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El desarrollo del trabajo de grado se organizó en diferentes etapas que permitieron avanzar de manera ordenada desde la revisión inicial de información hasta la generación y análisis de los productos topográficos del tramo seleccionado del Río del Hato. Cada una de estas etapas estuvo relacionada con los objetivos planteados en el proyecto y comprendió actividades de planificación, trabajo de campo, procesamiento de información y análisis de resultados.

ETAPA 1. Revisión bibliográfica y planificación del proyecto.

Como punto de partida se realizó una revisión de información relacionada con levantamientos topográficos y topobatimétricos, Modelos Digitales de Elevación (DEM), representación del terreno y utilización de tecnologías GNSS y estación total en estudios similares.

Esta revisión permitió fortalecer los conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto y establecer una metodología acorde con las características del área de estudio. También se consultó información cartográfica y topográfica disponible del sector, la cual sirvió como referencia para conocer previamente las condiciones generales del terreno y planificar las actividades que posteriormente se desarrollarían en campo.

A partir de esta información se definieron los equipos requeridos, el sistema de referencia, la distribución aproximada de las secciones y la metodología de captura de datos que se utilizaría durante el levantamiento.

ETAPA 2. Recopilación y revisión de información existente.

Una vez establecida la metodología de trabajo, se recopiló y revisó la información topográfica previamente disponible para el sector del Río del Hato. Como insumo de referencia se contó con información correspondiente a un levantamiento topográfico y batimétrico desarrollado anteriormente en el marco de la actualización de los estudios básicos para la incorporación del componente de gestión del riesgo en la revisión general del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Piedecuesta. La información utilizada para el desarrollo del presente trabajo académico fue suministrada por la empresa de consultoría DS Ambiental S.A.S; a la cual uno de los integrantes de este proyecto presta sus servicios profesionales.

Entre los insumos revisados se encontraban los planos topográficos; los cuales incluían curvas de nivel, secciones, perfiles y demás elementos relevantes, y el Modelo Digital de Elevación (DEM) correspondientes al levantamiento existente. Esta información permitió conocer previamente la cobertura y configuración general del terreno, así como identificar el sector en el cual el nuevo levantamiento debía complementar la información disponible.

Durante la revisión técnica también se verificó que el levantamiento existente había sido referenciado a partir del vértice geodésico PIED-01. Teniendo en cuenta esta condición, se decidió conservar el mismo punto de referencia y trabajar bajo el sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional CTM12, con el propósito de mantener compatibilidad espacial entre ambos levantamientos y facilitar su posterior superposición y comparación.

La revisión de estos insumos permitió definir la relación espacial entre la información existente y el tramo seleccionado para el nuevo levantamiento, así como prever una zona de traslape que posteriormente serviría como referencia para analizar la continuidad y las diferencias entre ambas fuentes de información.

ETAPA 3. Reconocimiento del área de estudio.

Antes de iniciar las mediciones se realizó un reconocimiento del tramo seleccionado del Río del Hato. Durante esta actividad se observaron las condiciones generales del cauce, las márgenes, los accesos y las características del terreno circundante.

El reconocimiento permitió identificar los sectores donde era posible trabajar directamente con equipos GNSS y aquellos donde, debido a las condiciones del cauce, la vegetación o la geometría del terreno, era necesario utilizar la estación total.

Asimismo, se identificaron los sectores donde se levantarían los puntos de control georreferenciados, las estructuras existentes y zonas de difícil acceso con el fin de determinar qué herramientas en campo nos facilitarían el desarrollo de actividades.

ETAPA 4. Establecimiento del control topográfico.

Para garantizar la correcta georreferenciación de la información obtenida durante el levantamiento, se estableció el control topográfico tomando como referencia el vértice geodésico PIED-01, perteneciente a la red geodésica oficial y localizado en la Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara.

La selección de este vértice también tuvo en cuenta la revisión de la información topográfica existente, en la cual se identificó que el levantamiento previo del Río del Hato había sido referenciado a partir del mismo punto geodésico. Por esta razón, se mantuvo este origen de referencia para el nuevo levantamiento, con el propósito de conservar compatibilidad espacial entre ambas fuentes de información y facilitar su posterior comparación en el sector de traslape.

La información fue trabajada bajo el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional. A partir de PIED-01 se realizó el traslado de coordenadas hacia los puntos materializados BM-1 y BM-2, los cuales fueron utilizados como control durante las actividades de campo.

Para este procedimiento se empleó el receptor GNSS Hi-Target V30 Plus mediante posicionamiento RTK, permitiendo obtener coordenadas planimétricas y altimétricas para los puntos de control. Una vez establecidos y verificados, los BM sirvieron como referencia para continuar con el levantamiento del terreno, las márgenes y la parte interna del cauce mediante GNSS y estación total.

ETAPA 5. Levantamiento topográfico y topobatimétrico.

El levantamiento de campo constituyó una de las etapas principales del proyecto, debido a que permitió obtener directamente la información necesaria para representar las condiciones actuales del tramo estudiado del Río del Hato.

En las zonas exteriores del cauce y en aquellos sectores donde las condiciones de recepción satelital eran adecuadas se utilizó el receptor GNSS Hi-Target V30 Plus. Con este equipo se capturaron puntos de detalle correspondientes al terreno, las márgenes y otros elementos necesarios para representar la superficie.

Para el levantamiento de la parte interna del cauce se utilizó la estación total SANDING ARC5 PRO, debido a que este equipo permitía obtener información detallada de aquellos sectores donde las condiciones del terreno dificultaban el trabajo directo con GNSS.

A lo largo del tramo se levantaron secciones transversales, procurando representar los cambios presentes en la geometría del cauce. Estas secciones fueron

distribuidas aproximadamente cada 10 a 30 metros, dependiendo de las condiciones encontradas en campo y de las variaciones observadas en el terreno.

La toma de información se extendió hacia ambas márgenes del río, permitiendo integrar los datos del cauce con los puntos correspondientes al terreno circundante. De esta manera se obtuvo una base de información continua para la posterior generación del modelo de elevación.

ETAPA 6. Descarga, organización y revisión de la información.

Una vez finalizadas las actividades de campo, los datos obtenidos con el GNSS y la estación total fueron descargados y organizados para iniciar su procesamiento.

Durante esta etapa se revisaron las coordenadas, elevaciones y demás atributos asociados a los puntos levantados. También se verificó la continuidad espacial de la información y se identificaron posibles datos que requirieran revisión antes de ser incorporados a la superficie definitiva.

Esta revisión fue necesaria para evitar que errores de digitación, puntos aislados o información inconsistente afectaran posteriormente la construcción del modelo del terreno.

Los datos depurados fueron organizados dentro del mismo sistema de referencia utilizado durante el levantamiento, facilitando su integración dentro de los programas empleados para el procesamiento.

ETAPA 7. Procesamiento de la información topográfica.

Una vez organizada y revisada la información se inició el procesamiento de los datos mediante ArcGIS, en su versión ArcMap 10.8, y AutoCAD Civil 3D.

ArcMap 10.8 se utilizó principalmente para la organización y manejo de la información espacial, así como para los procesos relacionados con la representación del terreno y la generación de productos ráster y cartográficos.

Por su parte, AutoCAD Civil 3D permitió trabajar con los puntos obtenidos durante el levantamiento, construir superficies y representar de manera detallada elementos como perfiles, secciones y curvas de nivel.

El uso conjunto de ambos programas facilitó la integración de la información levantada con GNSS y estación total, permitiendo construir una representación continua del terreno y del cauce del Río del Hato.

ETAPA 8. Generación del Modelo Digital de Elevación y productos topográficos.

Con la información procesada se procedió a construir la superficie correspondiente al área levantada. Para ello se integraron los puntos obtenidos en campo, teniendo en cuenta tanto la información de las zonas externas como los datos correspondientes al interior del cauce.

A partir de esta información se generó una Red Irregular de Triángulos (TIN), utilizada como base para representar las variaciones de elevación existentes dentro del tramo de estudio.

Posteriormente se obtuvo el Modelo Digital de Elevación (DEM), mediante el cual fue posible representar de manera continua las condiciones altimétricas del terreno y la geometría general del cauce.

A partir del modelo generado también se elaboraron diferentes productos topográficos necesarios para caracterizar el tramo estudiado, entre ellos:

- Curvas de nivel.
- Perfil longitudinal del Río del Hato.
- Secciones transversales.
- Modelo TIN.
- Modelo Digital de Elevación.
- Planos topográficos correspondientes al área levantada.

Estos productos permitieron representar gráficamente la información obtenida durante las actividades de campo y facilitaron el análisis de las características del terreno.

ETAPA 9. Comparación y validación de la información.

Una vez obtenido el Modelo Digital de Elevación a partir del levantamiento topobatimétrico, se comparó con la información topográfica que ya se encontraba disponible para el Río del Hato. Para este análisis se tuvo en cuenta tanto la cobertura general de ambos levantamientos como el sector donde existe traslape entre ellos.

La zona de traslape fue especialmente útil porque permitió comparar directamente la forma del terreno, las curvas de nivel, las elevaciones y la representación del cauce. Además, ambos levantamientos se encuentran relacionados con el vértice geodésico PIED-01 y fueron trabajados bajo un sistema de referencia compatible, lo que facilitó su superposición y permitió revisar la continuidad entre la información existente y la obtenida durante el proyecto.

En este sector se observaron las similitudes y diferencias presentes en la representación del cauce, sus márgenes y el relieve cercano. La comparación permitió identificar zonas donde ambas fuentes presentan una buena correspondencia, así como algunos sectores donde se evidencian diferencias en la trayectoria y forma del cauce.

El análisis también tuvo en cuenta que los dos levantamientos presentan alcances diferentes. La información existente cubre un tramo más extenso y una franja lateral más amplia, mientras que el levantamiento realizado en este proyecto permitió continuar la información hacia un sector que no estaba cubierto previamente. En esta nueva zona se incluyeron sectores residenciales cercanos al río, estructuras hidráulicas y otros elementos del terreno que fueron identificados y levantados durante el trabajo de campo.

La revisión conjunta de la información permitió valorar el modelo obtenido teniendo en cuenta el control geodésico utilizado, la integración de los datos tomados con GNSS y estación total, la coherencia entre los diferentes productos generados y su relación con la información existente en la zona común.

De esta manera, la comparación no se limitó únicamente a revisar las diferencias entre ambos modelos, sino que también permitió identificar el aporte del nuevo levantamiento en la ampliación de la cobertura topográfica y en la incorporación de información adicional del cauce y su entorno. Estos resultados permiten considerar la información obtenida como un complemento de la topografía existente y como un insumo para futuros estudios topográficos, hidráulicos y relacionados con la gestión del riesgo.

ETAPA 10. Elaboración de productos finales, análisis de resultados y documento final.

Como etapa final se organizaron y revisaron los productos obtenidos durante el procesamiento de la información, incluyendo los planos topográficos del tramo levantado, la superficie TIN y el Modelo Digital de Elevación. En los planos se integraron los principales elementos derivados del levantamiento, como la representación del cauce, las curvas de nivel, las secciones transversales, el perfil longitudinal y los detalles identificados durante el trabajo de campo.

Posteriormente se realizó el análisis de los resultados teniendo en cuenta las condiciones observadas durante el levantamiento y la comparación con la información topográfica existente. Se revisó principalmente el comportamiento de ambos trabajos en la zona de traslape, la continuidad entre las superficies y las diferencias observadas en la representación del cauce y del terreno cercano.

También se analizó el aporte del nuevo levantamiento en los sectores que no se encontraban cubiertos por la información anterior, donde se incorporaron zonas residenciales, estructuras hidráulicas y otros elementos del entorno que complementan la información previamente disponible.

Finalmente, los procedimientos realizados, los productos obtenidos y los resultados del análisis fueron consolidados en el documento final del trabajo de grado, junto con las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo del proyecto.

5. RESULTADOS

Como resultado del desarrollo del proyecto se obtuvo una representación topobatimétrica detallada del tramo estudiado del Río del Hato, a partir de la información planimétrica y altimétrica recolectada directamente en campo mediante receptor GNSS y estación total. El procesamiento de los datos permitió integrar la información del cauce, las márgenes y el terreno adyacente dentro de una misma superficie georreferenciada.

Entre los principales resultados se encuentran la consolidación de la cartera topográfica, el establecimiento de los puntos de control, la generación de curvas de nivel, el perfil longitudinal, las secciones transversales, la superficie TIN y el Modelo Digital de Elevación (DEM). Estos productos permitieron representar las variaciones del relieve y analizar de manera conjunta la geometría del lecho, los taludes y las zonas cercanas al cauce.

5.1. CONTROL TOPOGRÁFICO Y CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Uno de los primeros resultados obtenidos fue el establecimiento de una base de control que permitió mantener la georreferenciación de todo el levantamiento. Para ello se utilizó como referencia el vértice geodésico de la red pasiva del IGAC PIED-01 ubicado dentro de la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguara y se trasladaron sus coordenadas hacia los puntos materializados BM-1 y BM-2.

Los puntos quedaron referenciados en el sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional CTM12 y fueron utilizados durante el levantamiento para orientar y controlar las mediciones realizadas con el GNSS y la estación total.

Tabla 2. Coordenadas de puntos de control materializados en MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional

Puntos	Norte	Este	Cota
BM-1	2332188.767	4993060.499	1002.0679
BM-2	2332138.183	4992853.069	995.8275

Nota: Elaboración propia a partir de traslado de coordenadas proyectadas tomadas del vértice geodésico PIED-01 ubicado dentro de la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguara.

Figura 1. Ubicación de los puntos de control BM-1 y BM-2

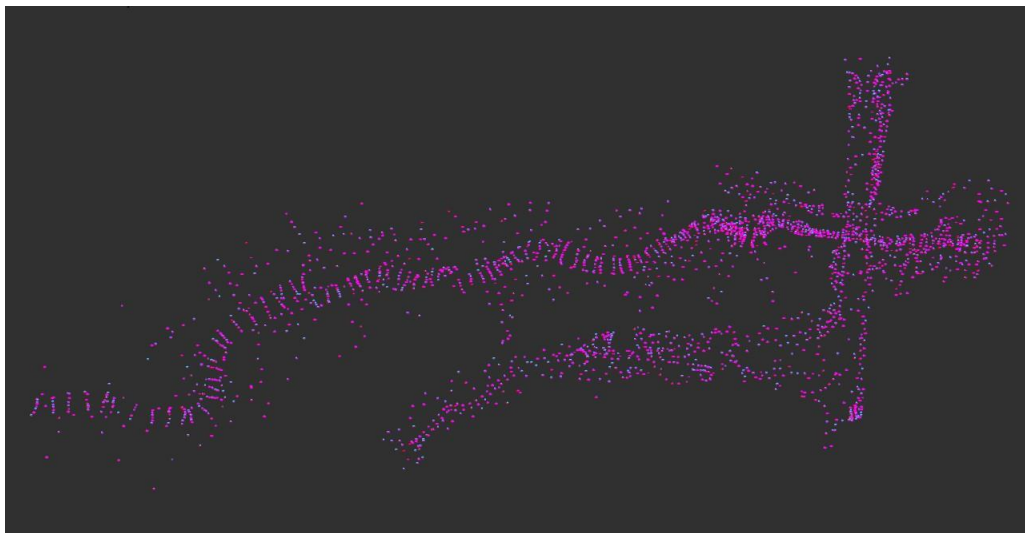


Fuente: Autores

La ubicación de los puntos BM-1 y BM-2 permitió contar con referencias conocidas dentro del área de estudio y mantener la continuidad espacial del levantamiento. A partir de estos puntos se integró la información obtenida por los dos métodos de medición utilizados durante el trabajo de campo.

Una vez reunida la información proveniente del GNSS y de la estación total, se obtuvo una cartera topográfica consolidada con 2.406 registros numerados, incluyendo los puntos de control y los diferentes puntos de detalle capturados sobre el terreno y el cauce. Esta cantidad de información permitió contar con una distribución suficiente de datos para representar los cambios presentes en el relieve.

Figura 2. Distribución de los puntos obtenidos durante el levantamiento topobatimétrico



Fuente: Autores

En la Figura 2 se observa la distribución espacial de los puntos que conforman el levantamiento. La densidad de información aumenta en aquellos sectores donde la geometría del cauce presenta mayores variaciones, permitiendo representar los cambios del lecho, las márgenes, los taludes y el terreno cercano.

5.2. RESULTADO DEL LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO

El uso conjunto del receptor GNSS Hi-Target V30 Plus y la estación total SANDING ARC5 PRO permitió obtener información tanto de las zonas abiertas como del interior del Río del Hato. El GNSS fue utilizado principalmente en sectores con condiciones adecuadas de recepción satelital, mientras que la estación total permitió completar el levantamiento en el cauce y en zonas donde la vegetación o las condiciones del terreno dificultaban la recepción de señal.

Figura 3. Levantamiento de información mediante receptor GNSS RTK



Fuente: Autores

La captura mediante GNSS permitió obtener coordenadas planimétricas y altimétricas de los sectores externos al cauce y de los diferentes detalles del terreno. Esta información quedó directamente vinculada al sistema de referencia utilizado para el proyecto.

Figura 4. Levantamiento de información mediante estación total



Fuente: Autores

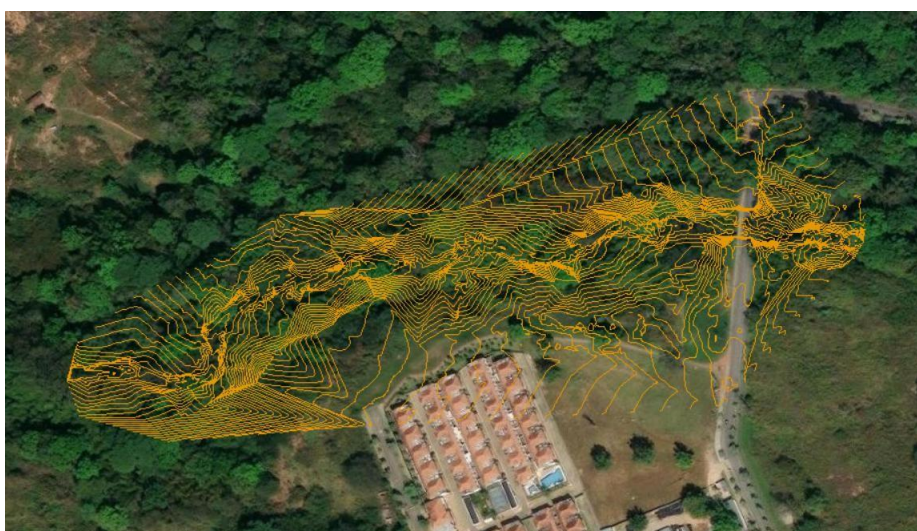
La estación total permitió complementar la información obtenida con GNSS y registrar con mayor detalle los puntos localizados dentro del cauce. De esta manera se obtuvieron datos del lecho, las márgenes, los taludes, las coronas y los principales cambios de pendiente observados durante el recorrido.

El empleo de ambos equipos permitió conformar una superficie continua, evitando limitar el levantamiento únicamente a aquellos sectores donde era posible trabajar mediante posicionamiento satelital.

5.3. CURVAS DE NIVEL

A partir del procesamiento de la información recolectada se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 0,50 metros. Esta separación permitió representar de forma detallada las variaciones altimétricas presentes dentro del área levantada.

Figura 5. Curvas de nivel generadas para el tramo levantado del Río del Hato



Fuente: Autores

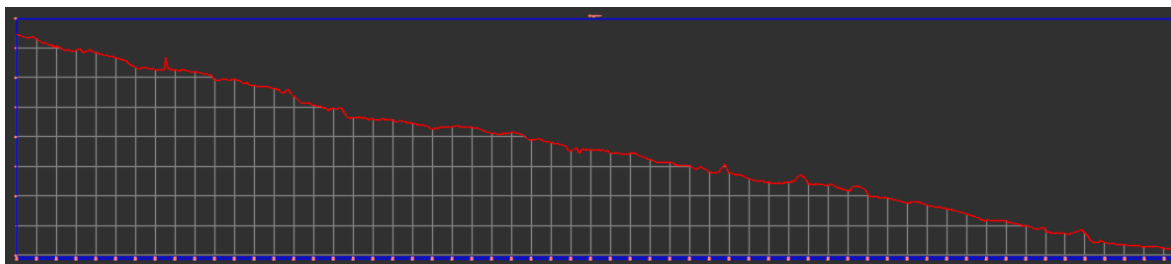
Las curvas obtenidas muestran la configuración del relieve a lo largo del tramo y permiten identificar los cambios de elevación existentes entre el cauce y sus márgenes. Durante su revisión se verificó que conservaran continuidad y que su comportamiento fuera coherente con las características observadas durante el levantamiento de campo.

La representación obtenida también permitió identificar sectores con cambios de pendiente más marcados y sirvió como base para la generación de otros productos derivados, entre ellos la superficie TIN y posteriormente el Modelo Digital de Elevación.

5.4. PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE

Otro de los productos obtenidos fue el perfil longitudinal del Río del Hato, elaborado para una longitud aproximada de 580 metros. Este perfil representa las variaciones de elevación existentes a lo largo del recorrido del cauce y permite observar de manera continua el comportamiento altimétrico del lecho.

Figura 6. Perfil longitudinal del tramo levantado del Río del Hato



Fuente: Autores

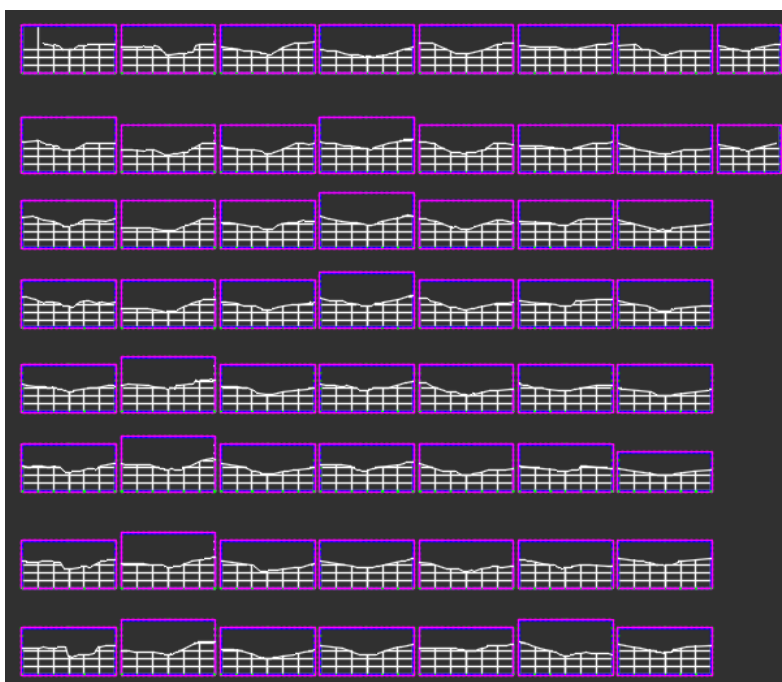
El perfil fue construido a partir de la información obtenida sobre el fondo del cauce y organizada según la distancia acumulada desde el inicio hasta el final del tramo. Su representación permitió identificar la tendencia descendente del terreno y los cambios locales de elevación presentes a lo largo del recorrido.

Este producto también fue utilizado como elemento de control para revisar la coherencia de la superficie generada, debido a que permite detectar cambios bruscos o comportamientos que no correspondan con la continuidad natural del cauce.

5.5. SECCIONES TRANSVERSALES

Con base en la superficie topobatimétrica obtenida se generaron secciones transversales aproximadamente cada 10 metros a lo largo del tramo de estudio. Estas fueron trazadas de forma perpendicular al eje del cauce y se extendieron aproximadamente 30 metros hacia cada margen, alcanzando una longitud cercana a 60 metros por sección.

Figura 7. Secciones transversales generadas del tramo levantado del Río del Hato



Fuente: Autores

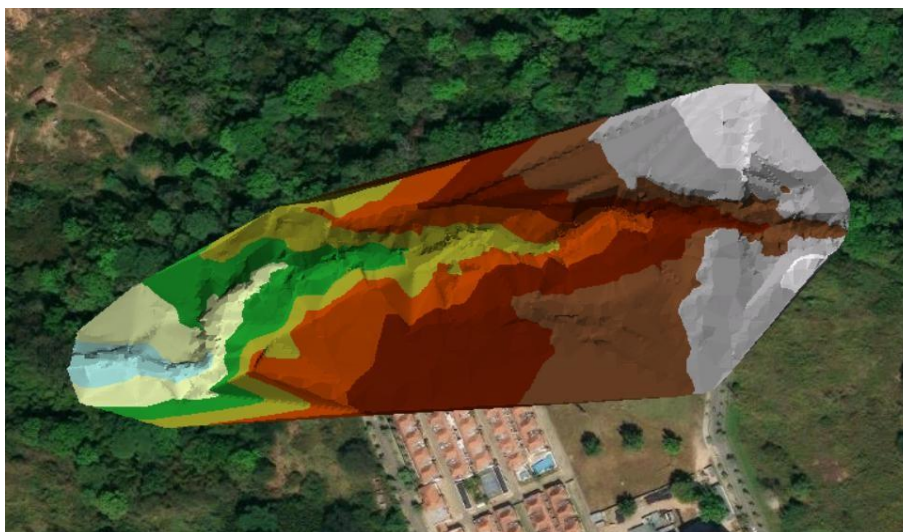
Las secciones permiten observar con mayor claridad los cambios en la geometría del cauce a lo largo del tramo levantado. A través de ellas es posible reconocer las variaciones en la forma del lecho, la configuración de las márgenes, los taludes y los cambios de elevación del terreno circundante.

La generación de secciones a intervalos regulares también permitió revisar la continuidad de la superficie topobatimétrica y comprobar que los datos obtenidos en campo representaran adecuadamente los principales cambios observados en el terreno.

5.6. SUPERFICIE TIN

A partir de las curvas de nivel y de la información altimétrica procesada se construyó una superficie mediante una Red Irregular de Triángulos (TIN). Esta superficie permitió integrar los diferentes valores de elevación y generar una representación tridimensional continua del terreno levantado.

Figura 8. Superficie TIN generada del tramo levantado del Río del Hato



Fuente: Autores

El TIN representa los cambios de elevación existentes dentro del área y permite diferenciar la forma general del cauce respecto a las zonas laterales. Su revisión

permitió comprobar la continuidad de la superficie antes de realizar la conversión al formato ráster.

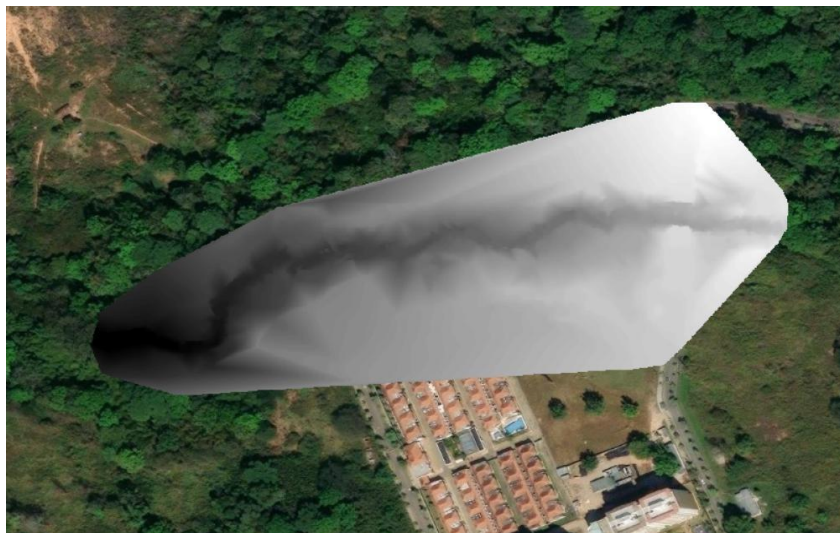
La superficie generada constituyó el paso previo para la obtención del Modelo Digital de Elevación y permitió conservar la información correspondiente a los cambios altimétricos identificados durante el levantamiento.

5.7. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)

Como uno de los principales resultados del proyecto se generó el Modelo Digital de Elevación del tramo estudiado del Río del Hato. El modelo fue obtenido a partir de la superficie TIN y convertido posteriormente a formato ráster mediante ArcMap 10.8.

Para su generación se utilizó un tamaño de celda de 0,01 metros, manteniendo el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional CTM12 empleado durante todo el proyecto.

Figura 9. DEM generado del tramo levantado del Río del Hato

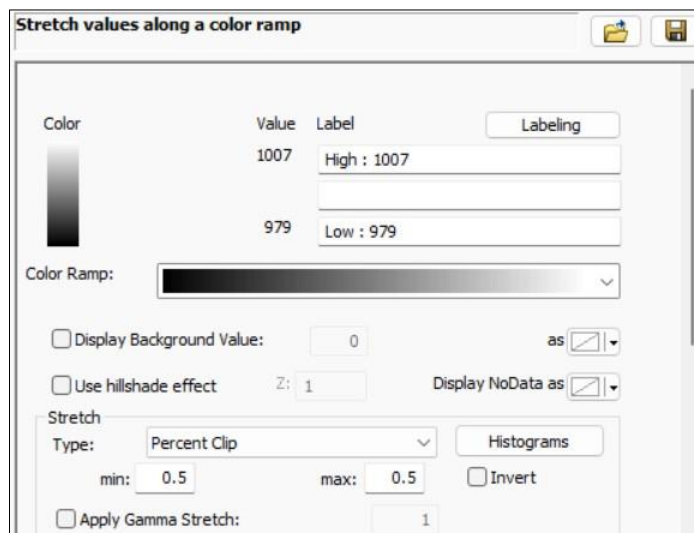


Fuente: Autores

El modelo obtenido permite representar de manera continua las variaciones altimétricas del terreno y facilita la identificación de la forma del cauce, sus márgenes y las diferencias de elevación existentes en el sector.

Los valores registrados en el ráster presentan una elevación mínima aproximada de 979 m s. n. m. y una elevación máxima de 1007 m s. n. m., lo que representa una diferencia altitudinal cercana a 28 metros dentro del área levantada.

Figura 10. Valores de elevación del DEM



Fuente: Autores

La distribución de las elevaciones permite apreciar el descenso progresivo del terreno a lo largo del tramo del río y diferenciar las zonas correspondientes al lecho y a las áreas laterales de mayor elevación. La continuidad observada en el modelo es coherente con las curvas de nivel, el perfil longitudinal y las secciones transversales generadas previamente.

5.8. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La revisión conjunta de los productos generados permitió evaluar la coherencia geométrica de la superficie topobatemétrica obtenida. Las curvas de nivel conservaron continuidad a lo largo del área levantada, mientras que el perfil longitudinal permitió verificar el comportamiento altimétrico del cauce y las secciones transversales mostraron de forma consistente la geometría del lecho y de sus márgenes.

Asimismo, el uso de un único sistema de referencia permitió integrar la información obtenida mediante GNSS y estación total sin generar desplazamientos entre ambas fuentes de datos. La utilización de los puntos BM-1 y BM-2 como control durante el levantamiento permitió mantener la continuidad espacial de la información desde la fase de campo hasta la construcción de los productos finales.

La correspondencia observada entre los puntos levantados, las curvas de nivel, el perfil longitudinal, las secciones transversales, la superficie TIN y el DEM indica que el procesamiento permitió conservar las principales características geométricas identificadas durante el trabajo de campo.

En términos generales, los resultados obtenidos permitieron cumplir con el propósito de generar una representación topobatimétrica detallada del tramo seleccionado del Río del Hato. La información resultante constituye una base georreferenciada que representa las condiciones del cauce y su entorno inmediato y que puede ser utilizada como insumo para posteriores estudios topográficos, ambientales o hidráulicos.

5.9. COMPARACIÓN CON LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA EXISTENTE

Con el propósito de contrastar los resultados obtenidos durante el levantamiento, se realizó una comparación con la información topográfica previamente disponible para el Río del Hato. El análisis tuvo en cuenta la relación entre la cobertura de ambos trabajos, el sector de traslape, la representación del cauce y las características observadas en los Modelos Digitales de Elevación y demás productos topográficos. Esta comparación permitió revisar la correspondencia entre las dos fuentes de información y establecer el aporte del nuevo levantamiento como complemento de la topografía existente.

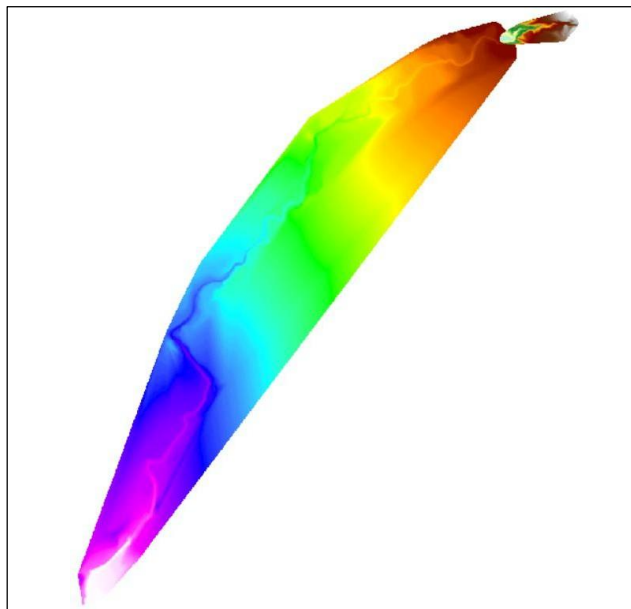
5.9.1. COBERTURA Y RELACIÓN ENTRE LOS LEVANTAMIENTOS

Para realizar la comparación se tomó como referencia la información topográfica previamente disponible para el Río del Hato, correspondiente a un levantamiento topográfico y batimétrico desarrollado anteriormente dentro de los estudios básicos asociados a la gestión del riesgo del municipio de Piedecuesta. Los insumos utilizados, entre ellos la topografía, las curvas de nivel y el Modelo Digital de Elevación, fueron suministrados por DS Ambiental S.A.S. para el desarrollo académico del presente proyecto.

La información existente comprende aproximadamente 5 km del corredor del Río del Hato y presenta una cobertura amplia sobre el cauce y los terrenos ubicados a sus costados. Por su parte, el levantamiento realizado en este proyecto comprende aproximadamente 580 m y fue desarrollado con el propósito de complementar la información disponible hacia un sector que no se encontraba cubierto por el levantamiento anterior.

Entre ambos trabajos existe un tramo de traslape que permitió relacionar directamente las dos fuentes de información. Este sector resultó fundamental para observar la continuidad entre los levantamientos y realizar posteriormente la comparación de las curvas de nivel, la representación del cauce y los Modelos Digitales de Elevación.

Figura 11. Cobertura de la información topográfica existente y del levantamiento realizado en el
Río del Hato



Fuente: Autores, a partir de información suministrada por DS Ambiental S.A.S y levantamiento
realizado en campo

Aunque ambos levantamientos corresponden al mismo corredor hídrico, presentan diferencias en su extensión y en el detalle de los elementos representados. La información existente cubre una franja lateral más amplia, mientras que el levantamiento desarrollado en este proyecto se concentró en el tramo requerido para dar continuidad a la información topográfica y en el levantamiento detallado del cauce, sus márgenes y el terreno cercano.

Además de ampliar la cobertura longitudinal disponible, el nuevo levantamiento incorporó sectores residenciales próximos al Río del Hato, estructuras hidráulicas y otros elementos identificados durante el trabajo de campo que no se encontraban representados dentro del levantamiento previo en este sector. De esta manera, la

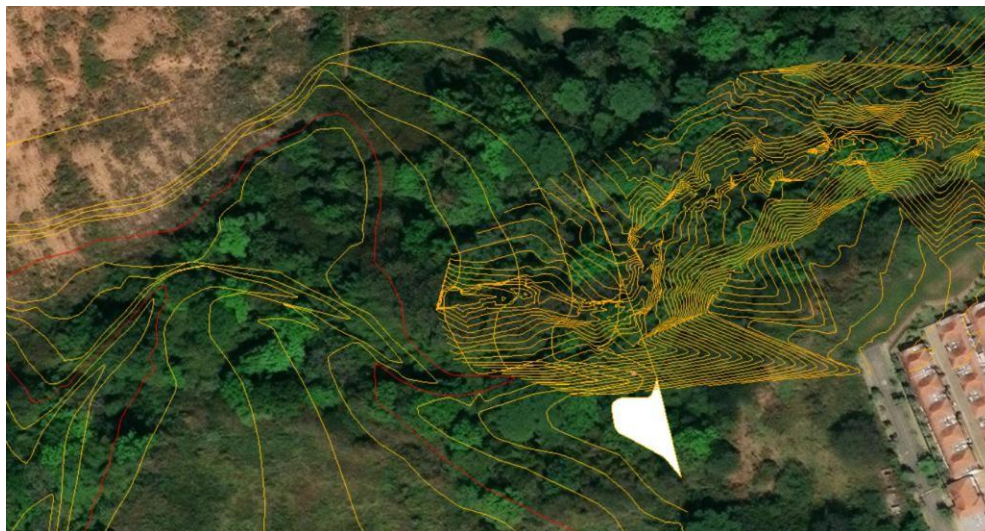
información obtenida complementa la topografía existente tanto en extensión como en el nivel de detalle del tramo levantado.

5.9.2. COMPARACIÓN EN LA ZONA DE TRASLAPE

La zona de traslape permitió realizar una comparación directa entre la información topográfica existente y la obtenida durante el presente proyecto. Para este análisis se revisó principalmente la posición del cauce, el comportamiento de las elevaciones, la configuración de las curvas de nivel y la representación general del terreno en los Modelos Digitales de Elevación.

Al superponer las curvas de nivel de ambos levantamientos se identificó una diferencia principalmente en la posición horizontal del cauce. En aproximadamente los primeros 150 metros del sector común, siguiendo la dirección del flujo aguas abajo, el cauce representado en la información existente se encuentra desplazado hacia el sur con respecto al cauce definido mediante el levantamiento realizado. En algunos puntos de este tramo la separación observada alcanza aproximadamente 30 metros.

Figura 12. Comparación de las curvas de nivel y representación del cauce en la zona de traslape



Fuente: Autores, a partir de información suministrada por DS Ambiental S.A.S y levantamiento realizado en campo

Como se observa en la

Figura 12, esta diferencia no permanece constante a lo largo de toda la zona de traslape. Al avanzar aguas abajo, la trayectoria representada en el levantamiento existente se aproxima progresivamente a la obtenida durante el presente proyecto. Esta condición fue contrastada además con la imagen satelital disponible y con las observaciones realizadas durante el trabajo de campo, encontrándose que, después del tramo inicial donde se presenta el desplazamiento, la geometría del cauce existente vuelve a mostrar una correspondencia con su configuración actual.

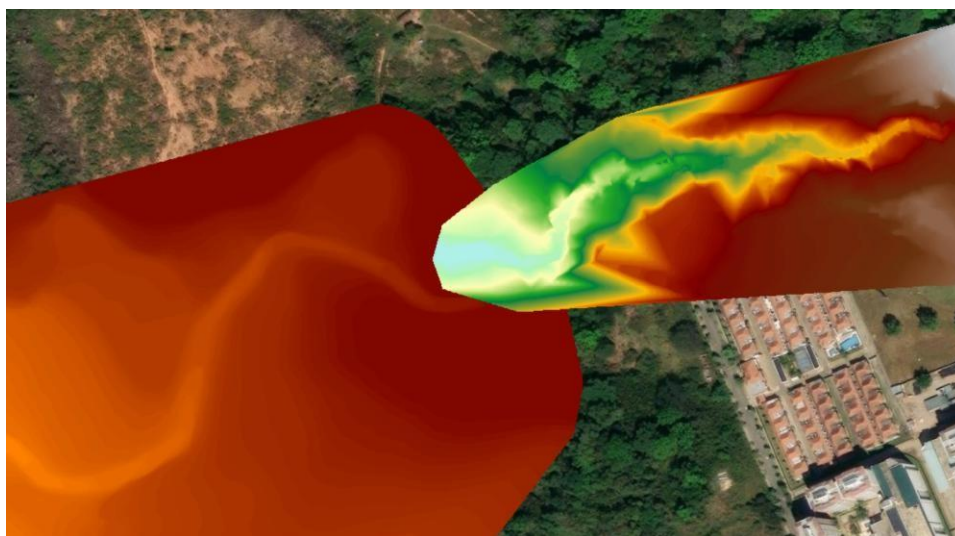
Fuera del cauce también se encontraron diferencias en la forma como se representa el terreno. Las curvas correspondientes a la información existente presentan una configuración más generalizada en algunos sectores, mientras que las generadas a partir del levantamiento realizado siguen con mayor detalle las variaciones locales del relieve dentro del área cubierta por el proyecto. No obstante, al revisar los valores de elevación se encontró que las cotas representadas por ambos levantamientos son similares, por lo que las diferencias observadas se relacionan principalmente con la ubicación y forma de las curvas y no con un cambio significativo en la tendencia altimétrica del terreno.

Debe tenerse en cuenta que los productos comparados presentan diferentes niveles de representación. En el presente proyecto se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 0,50 metros, mientras que la información suministrada presenta curvas con una equidistancia de 1,00 metros. Aunque este intervalo puede modificarse durante el procesamiento de una superficie, el menor espaciamiento utilizado en los productos del proyecto facilita la identificación visual de variaciones locales del terreno. Por esta razón, la comparación del detalle no se atribuye únicamente al intervalo entre curvas, sino también a la información disponible para la construcción de cada superficie.

La diferencia en la cobertura lateral de los levantamientos también responde a la metodología y al alcance de cada trabajo. En el levantamiento existente, la información batimétrica obtenida directamente sobre el cauce fue complementada con información del terreno circundante, permitiendo generar una superficie de mayor amplitud a ambos lados del río. En el presente proyecto, la toma de información mediante GNSS y estación total se concentró en el tramo requerido para complementar la topografía disponible, incluyendo el cauce, las márgenes y los elementos del terreno considerados relevantes para su representación.

La comparación de los Modelos Digitales de Elevación permitió observar esta diferencia de cobertura y analizar la continuidad entre ambas superficies. El DEM suministrado representa un corredor de mayor amplitud, mientras que el modelo obtenido durante el proyecto se concentra en el tramo levantado y muestra con mayor definición las variaciones del cauce y de sus márgenes.

Figura 13. Comparación de los Modelos Digitales de Elevación en la zona de traslape



Fuente: Autores, a partir de información suministrada por DS Ambiental S.A.S y levantamiento realizado en campo

La revisión de las elevaciones en la zona común mostró valores similares entre ambos modelos. En este sentido, aun cuando existe una diferencia planimétrica en la posición del cauce durante el tramo inicial del traslape, se mantiene una correspondencia general en la componente altimétrica de la información. Esto permite establecer que la principal diferencia identificada en este sector está relacionada con la geometría y posición horizontal del cauce y con el nivel de detalle empleado para representar el terreno.

En términos generales, la comparación permitió identificar una discrepancia localizada durante aproximadamente los primeros 150 metros del sector de traslape, principalmente asociada a la posición del cauce. Posteriormente, la geometría representada por ambos levantamientos presenta una mayor concordancia. Asimismo, la similitud observada en los valores de elevación y la continuidad general de las superficies permiten relacionar el levantamiento realizado con la información previamente disponible y utilizarlo como complemento para ampliar la cobertura topográfica del Río del Hato.

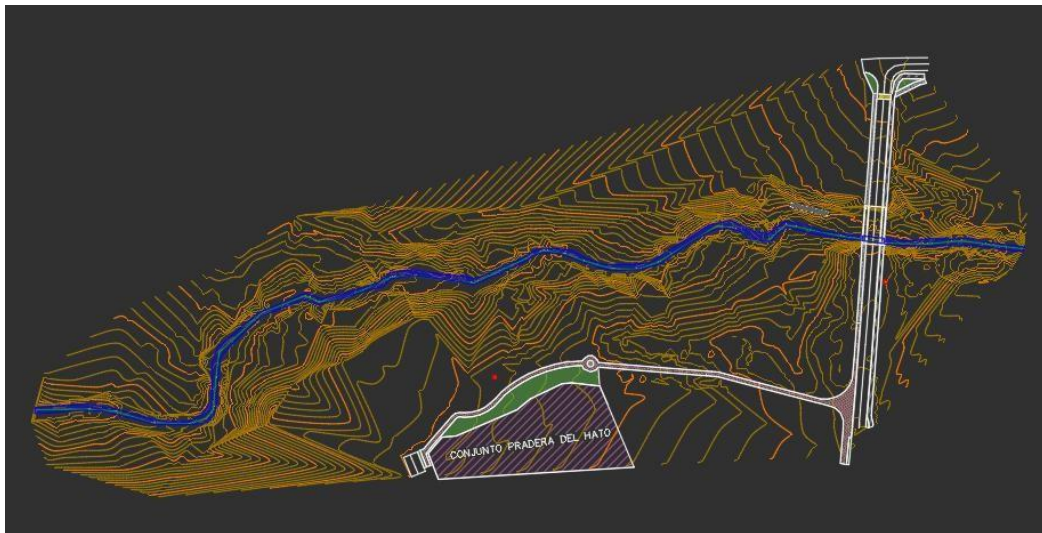
5.9.3. APORTE Y AMPLIACIÓN DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA EXISTENTE

Además de permitir la comparación en la zona de traslape, el levantamiento realizado amplió la información topográfica disponible hacia un tramo del Río del Hato que no se encontraba cubierto por el levantamiento anterior. Esta ampliación permitió dar continuidad a la representación del cauce y disponer de información actualizada sobre sectores que anteriormente no hacían parte de la superficie topográfica existente.

El nuevo levantamiento comprendió aproximadamente 580 m de recorrido y fue desarrollado siguiendo la continuidad del cauce existente. Durante las actividades de campo no solo se levantó la geometría interna del río y sus márgenes, sino también diferentes elementos presentes en el entorno inmediato que resultan importantes para la representación del terreno.

Dentro del área incorporada se encuentran sectores residenciales cercanos al cauce, vías, estructuras hidráulicas y otros detalles identificados durante el recorrido de campo. La inclusión de estos elementos permitió obtener una representación más completa de las condiciones actuales del tramo y relacionar la geometría natural del río con las intervenciones existentes en sus alrededores.

Figura 14. Ampliación de la información topográfica y elementos incorporados en el levantamiento realizado



Fuente: Autores

La información obtenida mediante GNSS y estación total fue integrada dentro de una misma superficie, permitiendo conservar la continuidad entre el fondo del cauce, las márgenes y el terreno circundante. A partir de esta información se generaron los productos topográficos correspondientes al nuevo tramo, manteniendo el mismo sistema de referencia utilizado en el levantamiento existente para facilitar su integración.

De esta manera, el resultado del proyecto no corresponde únicamente a un levantamiento independiente, sino a una ampliación de la información topográfica previamente disponible para el Río del Hato. La existencia de un sector común permitió verificar la relación entre ambos trabajos y, a partir de este punto, continuar la cobertura hacia sectores que no se encontraban representados anteriormente.

Esta ampliación permite disponer de una base topobatimétrica con mayor continuidad a lo largo del corredor del río y con información adicional sobre

elementos presentes en el nuevo tramo, lo cual aumenta su utilidad como insumo para posteriores estudios topográficos, hidráulicos y relacionados con el análisis de las condiciones del cauce y su entorno.

5.9.4. INTEGRACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La comparación realizada permitió establecer que ambos levantamientos pueden relacionarse dentro del sector de traslape, debido a que presentan una referencia geodésica compatible y valores de elevación semejantes en la zona común. Aunque se identificó una diferencia localizada en la posición del cauce durante los primeros metros del levantamiento existente, esta disminuye progresivamente hasta alcanzar una mayor correspondencia con la geometría observada en campo y con la obtenida durante el presente proyecto.

En cuanto a la representación del terreno, el levantamiento realizado permitió obtener un mayor nivel de detalle dentro del área cubierta, especialmente en el cauce, sus márgenes y las variaciones locales del relieve. A su vez, la información previamente disponible conserva una cobertura lateral y longitudinal más amplia, por lo que ambos trabajos presentan características que permiten utilizarlos de manera complementaria.

La valoración del DEM generado se sustentó en el control geodésico empleado, la coherencia entre los datos obtenidos mediante GNSS y estación total, la correspondencia entre los diferentes productos topográficos generados y su comparación con la información existente en el sector común. A partir de estos criterios se comprobó que el modelo conserva la continuidad altimétrica necesaria para relacionarse con la topografía disponible y representa de manera coherente las condiciones observadas durante el levantamiento de campo.

Finalmente, la incorporación de aproximadamente 580 m adicionales permitió ampliar la información existente sobre el Río del Hato e incluir sectores residenciales, estructuras hidráulicas y otros elementos del entorno que no estaban representados previamente en este tramo. De esta manera, el levantamiento realizado complementa la información disponible y constituye un insumo con potencial de aplicación en posteriores estudios topográficos, hidráulicos y relacionados con la gestión del riesgo.

6. CONCLUSIONES

El uso combinado del receptor GNSS y la estación total permitió obtener una representación continua del tramo estudiado del Río del Hato. Cada equipo se utilizó de acuerdo con las condiciones encontradas en campo: el GNSS facilitó el levantamiento de las zonas exteriores y de las márgenes, mientras que la estación total permitió trabajar dentro del cauce y en sectores donde la recepción satelital era limitada. De esta manera fue posible integrar en una misma base la información del lecho, las márgenes y el terreno cercano.

El control topográfico establecido a partir del vértice geodésico PIED-01 permitió mantener una referencia espacial común durante todo el levantamiento. Además, al encontrarse la información topográfica existente relacionada con este mismo punto de referencia, fue posible superponer ambos trabajos dentro del sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional y realizar la comparación sin necesidad de aplicar desplazamientos o transformaciones adicionales.

Los productos obtenidos durante el procesamiento mostraron una buena correspondencia entre sí. Los puntos levantados, la superficie TIN, las curvas de nivel, las secciones transversales, el perfil longitudinal y el Modelo Digital de Elevación conservaron de manera coherente la forma del terreno observada durante el trabajo de campo. Esta relación entre los diferentes productos, junto con el control geodésico utilizado, permitió contar con una representación confiable del tramo levantado.

La comparación con la información topográfica existente mostró que, en la zona de traslape, los valores de elevación de ambos levantamientos mantienen una correspondencia general. Sin embargo, en el sector inicial se identificó una

diferencia en la posición horizontal del cauce. Esta diferencia se presenta de manera localizada y va disminuyendo aguas abajo, hasta alcanzar una mayor coincidencia con la geometría observada en campo y con la obtenida durante el nuevo levantamiento.

También se encontraron diferencias en la forma como ambos trabajos representan el terreno localizado alrededor del cauce. La información existente presenta una cobertura lateral más amplia, mientras que el levantamiento realizado permite reconocer con mayor detalle las variaciones locales del relieve dentro del área estudiada. La utilización de curvas de nivel con una menor equidistancia facilita la lectura de estas variaciones, aunque este intervalo por sí solo no determina la precisión del levantamiento.

Finalmente, el trabajo realizado permitió ampliar la información topográfica disponible para el Río del Hato e incorporar sectores que no se encontraban representados previamente en este tramo. Dentro de la nueva cobertura se incluyeron áreas residenciales cercanas al río, estructuras hidráulicas y otros detalles del terreno y de sus márgenes. La continuidad lograda con la información existente permite que ambos levantamientos puedan utilizarse de manera complementaria como base para futuros estudios topográficos, hidráulicos, de inundación y de gestión del riesgo.

7. RECOMENDACIONES

Para futuros levantamientos en el Río del Hato se recomienda mantener puntos de control vinculados a la red geodésica oficial y conservar el sistema MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional. Esto facilitará la comparación con la información generada en este proyecto y permitirá incorporar nuevos tramos sin necesidad de realizar ajustes posteriores entre diferentes sistemas de referencia.

En caso de ampliar nuevamente la cobertura topográfica del río, es conveniente dejar una zona de traslape suficiente entre el levantamiento existente y el nuevo tramo. Esta área común facilita la revisión de cotas, la continuidad del cauce y la relación entre las superficies, además de permitir identificar posibles diferencias antes de integrar la información definitiva.

Se recomienda conservar una toma directa de información dentro del cauce y en sus márgenes mediante equipos topográficos, especialmente en sectores donde la vegetación, la presencia de agua o la geometría del terreno dificulten la representación adecuada mediante métodos de captura remota. La combinación de diferentes técnicas puede ser útil para ampliar la cobertura, pero la información obtenida directamente en campo sigue siendo importante para definir la geometría del lecho y los cambios locales del terreno.

Teniendo en cuenta la diferencia identificada en la posición del cauce dentro del sector inicial de traslape, para futuros trabajos que integren la topografía existente con nuevos levantamientos se recomienda revisar previamente la geometría del cauce en las zonas de empalme. Esta verificación puede apoyarse en información de campo, imágenes recientes y puntos de control, evitando asumir que toda la

información previa conserva la misma correspondencia espacial a lo largo del corredor.

Para aplicaciones posteriores en modelación hidráulica, análisis de inundación o gestión del riesgo, se recomienda utilizar la información topobatimétrica de acuerdo con el nivel de detalle requerido por cada estudio. Las secciones transversales, el perfil longitudinal, la superficie TIN y el Modelo Digital de Elevación generados en este proyecto constituyen una base útil para este tipo de análisis, pero su uso debe considerar la fecha del levantamiento y posibles cambios futuros en la geometría del cauce por procesos naturales o intervenciones sobre el territorio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldia Municipal de Cájica. (2021). *Capítulo 3: Estudio Básico de Amenaza por Inundación*.
- Barton, G., Moran, E., & Berenbrock, C. (2004). *Surveying Cross Sections of the Kootenai River Between Libby Dam, Montana, and Kootenay Lake, British Columbia, Canada*. Reston, VA: U.S. Geological Survey. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/publication/ofr20041045>
- Coche, A. G. (1989). *Topography for Freshwater Fish Culture: Topographical Surveys*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707e/x6707e00.htm
- Cueva, M., & Ulco, B. (2024). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana Web site: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28343>
- Danielson, J., Miller-Corbett, C., & Thatcher, C. (2021). *Pilot Topobathymetric Terrain Model of the Kootenai River near Bonners Ferry, Idaho, 2009–2019*. Sioux Falls, SD: U.S. Geological Survey. Obtenido de <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/5fb2ae89d34eb413d5e08859>
- Federal Geographic Data Committee. (1997). *Framework Introduction and Guide*. Washington, DC: Federal Geographic Data Committee. Obtenido de <https://www.fgdc.gov/initiatives/framework/handbook>
- Griffiths, R., Topping, D., Unema, J., & Kohl, K. (2026). *Resurvey of Cross Sections on the Green River in Browns Park, Colorado and Utah*. Reston, VA: U.S. Geological Survey. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/publication/ofr20261013>
- Henning, W. (2011). *User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning*. Silver Spring, MD: National Geodetic Survey. Obtenido de <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2656>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). *Resolución 370 de 2021. Por medio de la cual se establece el sistema de proyección cartográfica oficial para Colombia*. Bogotá, D. C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de https://redgeodesica.igac.gov.co/documentos/resolucion_370_de_2021.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2025). *Instructivo de levantamientos topográficos con fines catastrales*. Bogotá, D. C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/IN-GCT-PC01-13%20V2%20Levantamientos%20topogr%C3%A1ficos%20con%20fines%20catastrales.pdf>

- Irwin, J., Danielson, J., Jim, M., & Fosness, R. (2021). *USGS*. Obtenido de USGS Web site: https://www.usgs.gov/data/kootenai-river-topobathymetric-lidar-validation-survey-data?utm_source=chatgpt.com
- Losada, D., Mamián, J., & Guevara, M. (2018). *SIMULACION DE INUNDACIONES A PARTIR DE CARTOGRAFIA DIGITAL Y TOPOBATIMETRIA*. Ibagué.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2007). *Control and Topographic Surveying*. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers. Obtenido de https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-1005.pdf
- University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. (s.f.). *Surveying and Topography*. Obtenido de <https://www.uprm.edu/engineering/surveying-and-topography/>

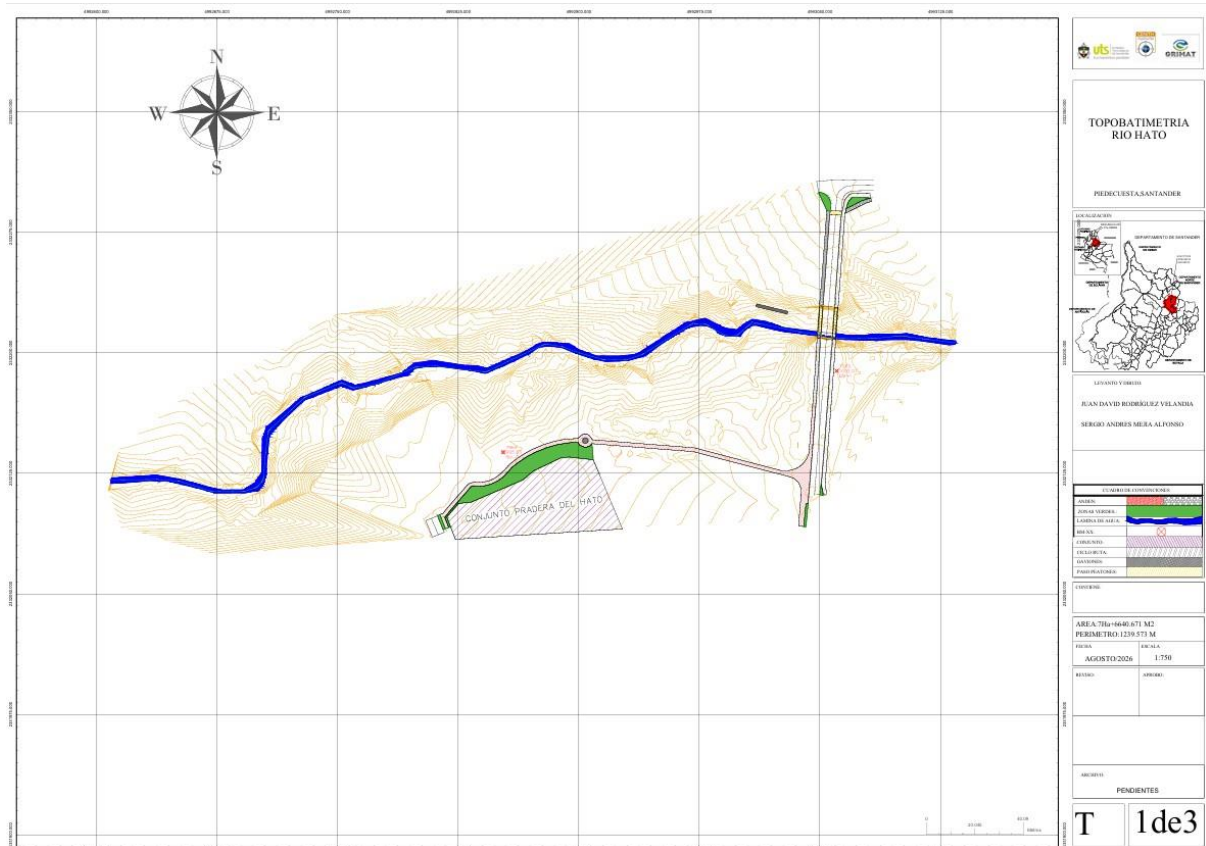
9. ANEXOS

Anexo A. Información del control topográfico.

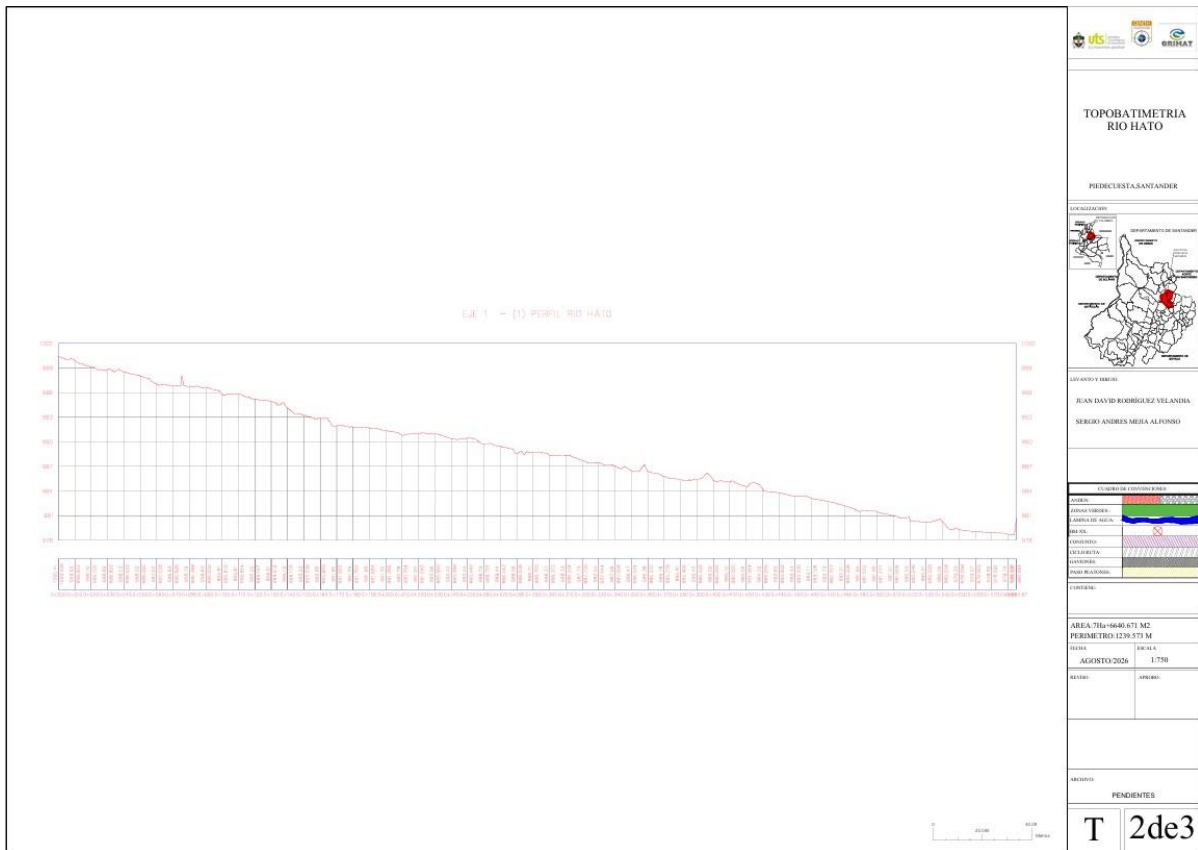
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI		DESCRIPCIÓN DE PUNTO GEODÉSICO		FECHA	
Nomenclatura Estandarizada		Nomenclatura Placa		Año-Mes-Día	
PIED-01		PIED-01		2019/07/22	
Departamento: SANTANDER		Municipio: PIEDECUESTA		Vereda: ZONA URBANA DE PIEDECUESTA	
				Sitio: PREDIOS DEL SERVICIO GEOLOGICO	
Coordenadas Navegadas MAGNA-SIRGAS			Croquis General		Acceso General
Latitud (°):		Longitud (°):		Altura Elipsoidal (m):	
N 6° 59' 31.22880 W		73° 3' 51.09120		m	
Monumentación					
Fecha:		Tipo:		Monumentado por:	
2019/07/22		MOJÓN		MILLER EDUARDO MAHECHA	
Estado del Punto:		Ancho (m):		Largo(m):	
BUENO		0.6		0.6	
Sobresale(m):		0.6			
Diagrama de Obstáculos			Imagen de la Placa		
Referencias medidas de los objetos al punto					
Descripción Detallada					
EL PUNTO SE MATERIALIZO EN ZONA VERDE EN PREDIO DE LA LITOTECA NACIONAL AL LADO DE UNA ACCELEROMETRO O ESTACIÓN GEORED EN UN MOJON DE 60X60X60CM					
Observaciones: CONTACTO: ING. DIEGO GERARDO IBAÑEZ (SGC). COORDENADAS NAVEGADAS EXCENTRICA 68547006 (PILASTRA) LAT 6° 59' 31.22880° N LON -73° 3' 51.09120° W ALTURA ELIPSOIDAL (H): 60X60X60CM DIAGRAMA Y REFERENCIAS MEDIDAS DE LOS OBJETOS AL PUNTO NO SE TOMARON EN CAMPO. Describió: ULISES GARCIA GONZALEZ					

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Anexo B. Planos topográficos del levantamiento del Río del Hato.



Fuente: Autores



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0



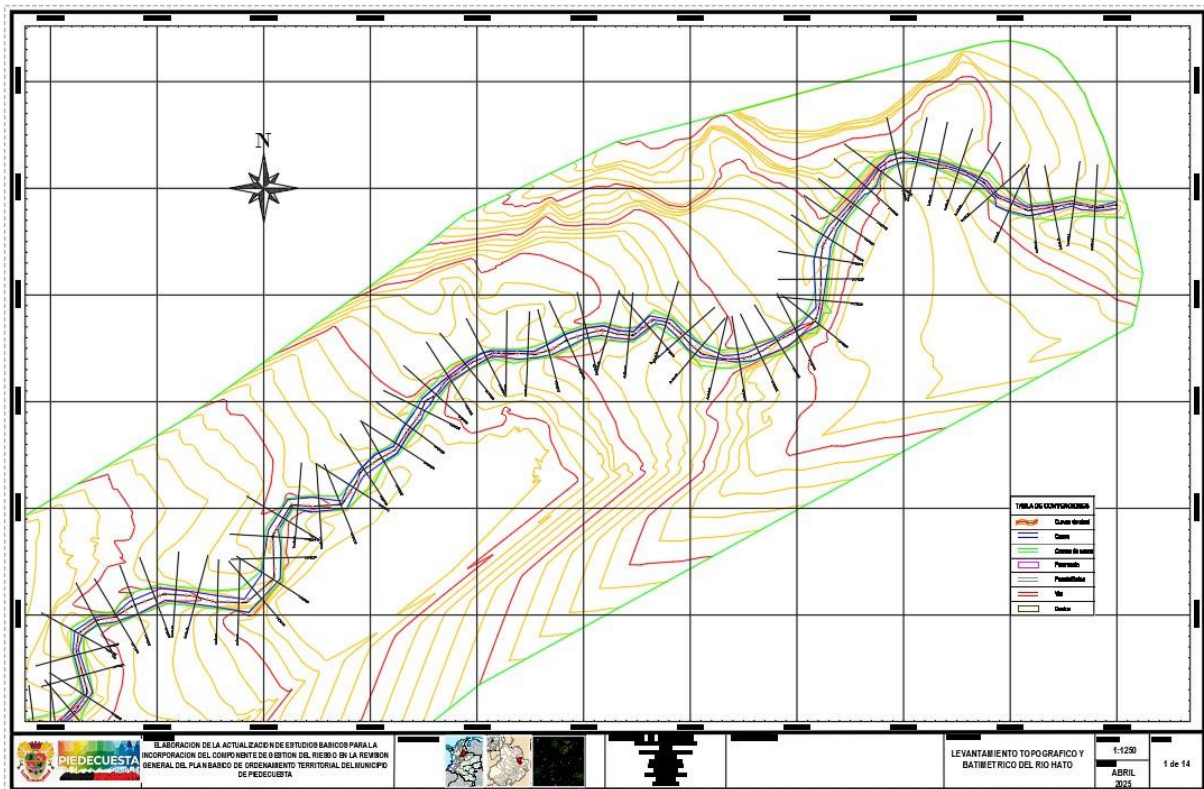
Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Anexo C. Información topográfica utilizada para la comparación.

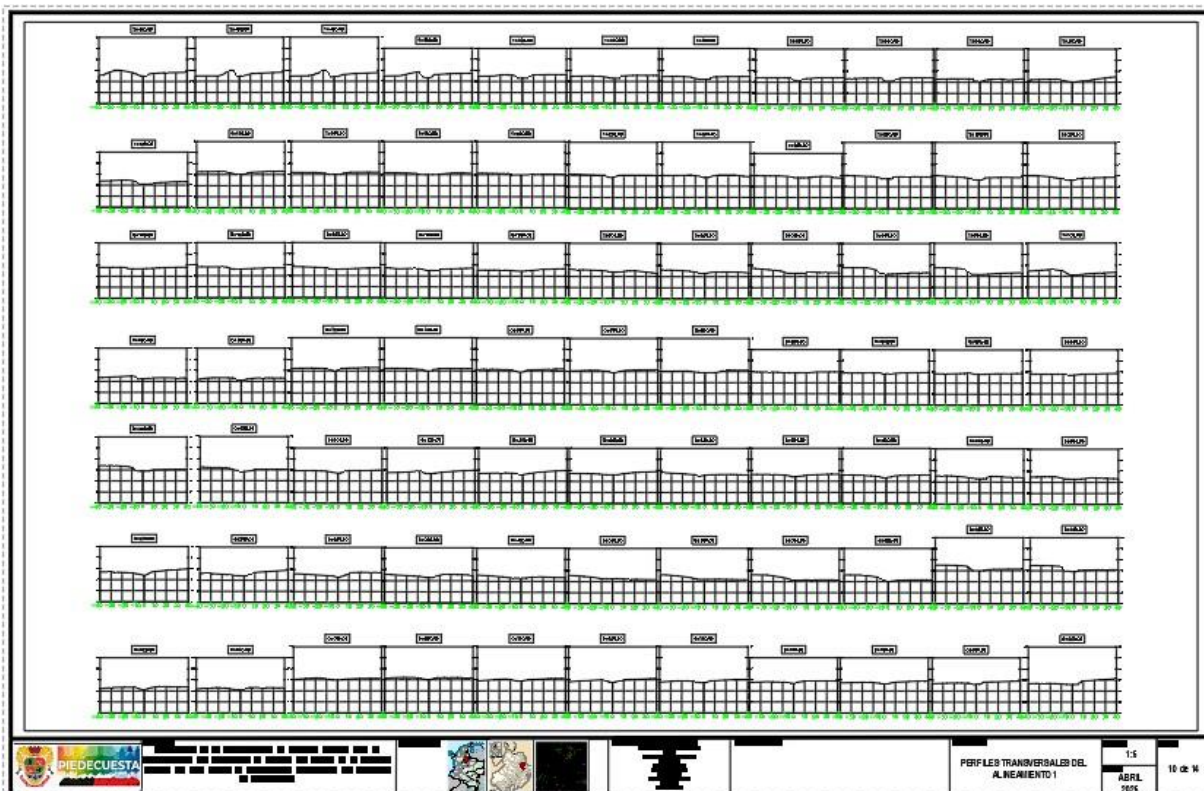


Fuente: DS Ambiental S.A.S

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0



Fuente: DS Ambiental S.A.S

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Anexo D. Registro fotográfico de las actividades de campo.





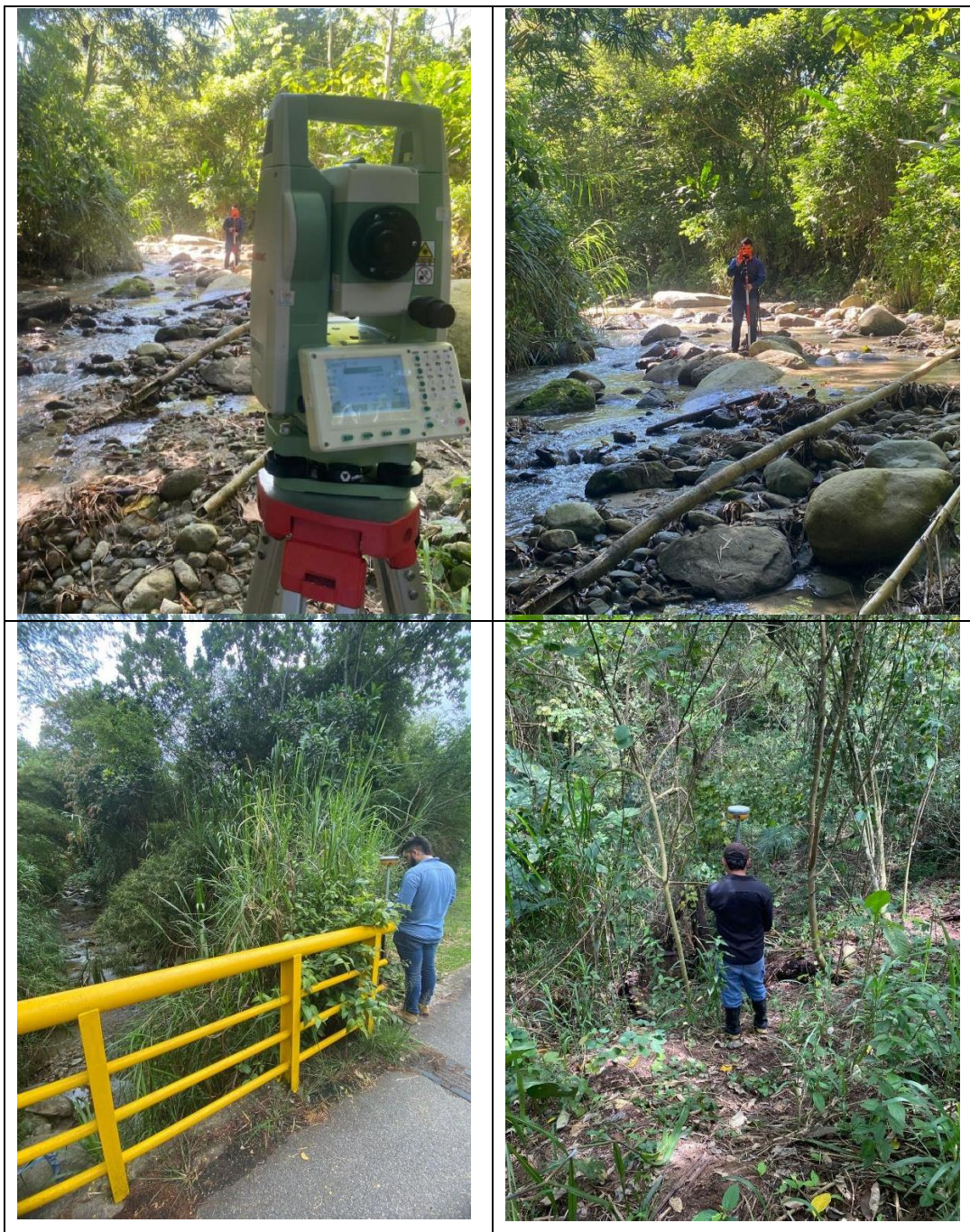




ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



Fuente: Autores