

DETERMINACIÓN DE CURVAS DE NIVEL Y PENDIENTES CON LIDAR PARA MODELAR CRECIDAS EN LA QUEBRADA LAS ABRAS

DETERMINATION OF CONTOUR CURVES AND SLOPES WITH LIDAR TO MODEL FLOODS IN LAS ABRAS GORGE

Alfredo Rodrigo Colcha Ortiz¹, Jessica Paulina Brito Noboa², Diana Carolina Merino Gavilanes³, Nelson Estuardo Patiño Vaca⁴

{alfredo.colcha@unach.edu.ec¹, jessica.brito@unach.edu.ec², diana.merino@unach.edu.ec³, npatino@unach.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 20/12/2024 / Fecha de aceptación: 04/01/2025 / Fecha de publicación: 06/01/2025

RESUMEN: El presente estudio analiza la quebrada Las Abras, localizada entre los cantones Riobamba y Guano en la provincia de Chimborazo, Ecuador. Utilizando tecnología LIDAR, se logró generar un Modelo Digital del Terreno (MDT), identificar curvas de nivel con intervalos de 0.5 metros y calcular pendientes detalladas del área de estudio, la metodología incluyó levantamientos topográficos de alta precisión mediante el uso de un dron equipado con un sensor LIDAR y un sistema GNSS, lo que garantizó datos de alta resolución espacial. Los resultados revelaron variaciones topográficas significativas, con pendientes que oscilan entre 3% y 50%, destacando áreas críticas que requieren atención prioritaria para mitigar riesgos de erosión y escorrentías. El análisis detallado de las curvas de nivel permitió identificar zonas de transición altimétrica y pendientes pronunciadas, aspectos clave para la planificación territorial, el manejo ambiental y la mitigación de riesgos. La integración de herramientas geoespaciales como ArcGIS Pro fue fundamental para procesar y visualizar los datos, generando insumos esenciales para la toma de decisiones en gestión de recursos naturales y desarrollo sostenible. Este estudio no solo subraya la importancia de conservar quebradas como Las Abras por su impacto en la biodiversidad, el ciclo hídrico y la calidad de vida en áreas urbanas cercanas, sino que también destaca el potencial de las tecnologías LIDAR como una herramienta eficaz para aplicaciones en regiones geográficamente complejas, aportando valor a estudios hidrológicos y a la modelación de crecidas en zonas habitadas.

Palabras clave: Quebrada las abras, LIDAR, curvas de nivel, pendientes, ArcGIS Pro, modelo digital del terreno (MDT)

¹Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0005-2280-5189>.

²Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-5550-5688>.

³Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0002-3581-8833>.

⁴Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0006-3492-7092>.

ABSTRACT: The present study analyzes the Las Abras stream, located between the Riobamba and Guano cantons in the province of Chimborazo, Ecuador. Using LIDAR technology, it was possible to generate a Digital Terrain Model (DTM), identify contour lines with intervals of 0.5 meters and calculate detailed slopes of the study area. The methodology included high-precision topographic surveys through the use of a drone equipped with a LIDAR sensor and a GNSS system, which guaranteed high spatial resolution data. The results revealed significant topographic variations, with slopes ranging between 3% and 50%, highlighting critical areas that require priority attention to mitigate erosion and runoff risks. The detailed analysis of the contour lines made it possible to identify altimetric transition zones and steep slopes, key aspects for territorial planning, environmental management and risk mitigation. The integration of geospatial tools such as ArcGIS Pro was essential to process and visualize the data, generating essential inputs for decision making in natural resource management and sustainable development. This study not only highlights the importance of conserving streams like Las Abras for its impact on biodiversity, the water cycle and quality of life in nearby urban areas, but also highlights the potential of LIDAR technologies as an effective tool for applications in geographically complex regions, providing value to hydrological studies and flood modeling in inhabited areas.

Keywords: *Quebrada las Abras, LIDAR, contour lines, slopes, ArcGIS Pro, digital terrain model (DTM)*

INTRODUCCIÓN

La gestión de recursos hídricos y la mitigación de riesgos en áreas urbanas y rurales son desafíos cruciales en regiones con complejas condiciones topográficas, como la provincia de Chimborazo en Ecuador. En este contexto, la quebrada Las Abras, localizada entre los cantones Riobamba y Guano, representa un área de interés estratégico debido a su influencia en la dinámica hídrica y el impacto de eventos extremos, como las máximas crecidas, en zonas habitadas cercanas.

La determinación de curvas de nivel y pendientes en el trazado de una quebrada es fundamental para analizar el comportamiento de su cauce hídrico, este proceso comienza con un levantamiento topográfico, herramienta que ha evolucionado desde métodos tradicionales como las estaciones totales y los sistemas GNSS, hasta tecnologías avanzadas como los drones con sensores LIDAR, esta última utiliza pulsos láser para generar nubes de puntos en 3D, permitiendo una caracterización precisa del terreno, incluso en áreas cubiertas por vegetación densa, gracias a estos avances, es posible obtener datos de alta resolución y superar las limitaciones de los métodos convencionales, especialmente en terrenos de difícil acceso o con condiciones topográficas complejas.

El problema se centra en la falta de una caracterización detallada de las curvas de nivel y pendientes de la Quebrada Las Abras, ubicada en una zona montañosa con relieve accidentado. Su curso hídrico, influenciado por las temporadas de lluvias, puede provocar crecidas y variaciones en el caudal, representando un riesgo para las comunidades de su zona de influencia.

La investigación sobre las curvas de nivel y pendientes de la quebrada de las Abras se justifica por la necesidad de seleccionar y preprocesar datos esenciales para determinar ciertos factores morfométricos de una cuenca. Según (1) este análisis integral es fundamental para evaluar el estado de una cuenca, permitiendo abordar limitaciones, conflictos y potencialidades, lo cual servirá como base para las fases de diagnóstico, prospectiva y zonificación. Por lo tanto, este estudio contribuirá a una comprensión más detallada y precisa de la quebrada de Las Abras, apoyando la gestión adecuada de la cuenca.

Estudios hidrológicos e hidráulicos llevados a cabo en la quebrada Las Abras subrayan la importancia de disponer de información más precisa para evaluar con mayor detalle los riesgos asociados a inundaciones en áreas urbanas. Este análisis permite identificar las posibles amenazas que podrían surgir en el futuro, especialmente en zonas urbanas (2). Además, las aguas superficiales de la quebrada Las Abras contribuyen a la recarga del acuífero subterráneo local, un recurso vital en un contexto donde el acceso al agua potable representa uno de los principales desafíos a nivel global y nacional. Por ello, resulta indispensable implementar procedimientos ágiles y rigurosos que permitan evaluar de manera eficiente las zonas de estudio de la cuenca hidrográfica (3).

Los drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) representan avances tecnológicos que facilitan la obtención de ortofotografías y modelos digitales del terreno con gran precisión, siendo herramientas clave para investigaciones geológicas y trabajos científicos. Estas tecnologías permiten capturar imágenes multispectrales de alta calidad, adaptándose a las características específicas del área de estudio, como el horario óptimo para los vuelos, la identificación de obstáculos, la altura adecuada de vuelo, el número de fotografías requeridas por punto y la delimitación precisa del área (4).

La aplicación de sensores remotos en estudios de cobertura vegetal y cuerpos de agua, son esenciales para la conservación ambiental. A través de la revisión de fuentes académicas, se identificaron 20 aplicaciones prácticas: 10 relacionadas con imágenes satelitales para evaluar grandes extensiones, como bosques, agua y cambios de vegetación, y 10 vinculadas con drones (VANT – Vehículos Aéreos No Tripulados), que ofrecen datos precisos en áreas reducidas sobre vegetación y dinámica fluvial. La combinación de estos sistemas, entendiendo sus limitaciones y beneficios, es crucial para diseñar investigaciones enfocadas en proteger zonas impactadas por factores naturales o humanos (5).

Actualmente la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) posee varios campos de aplicación siendo esta generalmente un punto de partida para varias áreas de investigación; por ejemplo: La determinación de elementos revolucionarios en la reinterpretación de la arqueología prehispánica en amplios sectores de Latinoamérica (6), la teledetección para la caracterización y gestión de un medio fluvial (7), la teledetección en la modelización hidrológica (8), el comportamiento hidráulico de las estructuras de retención de sólidos en cabecera de cuencas de quebradas (9), entre otros.

Al realizar un levantamiento topográfico con tecnología LiDAR, el principal resultado es una nube de puntos tridimensionales que proporciona información precisa sobre la ubicación espacial de los objetos, incluyendo elevaciones, formas del terreno y estructuras presentes. Estos datos pueden ser procesados y analizados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por ejemplo, la flexibilidad del sistema de información geográfica (SIG) desarrollado por Dopec para la gestión de recursos hídricos permite su fácil adaptación a proyectos de diversos sectores que necesiten una herramienta de uso universal, capaz de facilitar la edición de datos y la obtención rápida de resultados (10).

Es de suma importancia el análisis de diversas características de las cuencas de quebradas, como la pendiente, curvas de nivel, hidrología, el uso del suelo, la biodiversidad y las interacciones sociales, para poder generar políticas públicas eficaces. (11) realizaron un estudio en la quebrada Yomasa, este análisis permitió comprender mejor los factores que afectan la calidad y disponibilidad del recurso hídrico, y así promover políticas que involucren a la comunidad en su protección. Este enfoque integrador facilita la creación de soluciones sostenibles que fortalezcan la conservación del agua, vinculando el reconocimiento del territorio y el recurso hídrico con el impulso de cambios en los hábitos y comportamientos sociales según (12).

El presente estudio tiene como objetivo principal la determinación de curvas de nivel y pendientes del terreno mediante tecnología LIDAR, proporcionando insumos esenciales para el modelado de crecidas en esta quebrada, la metodología combina precisión y capacidad de análisis, permitiendo generar información detallada y confiable para la caracterización topográfica del área de estudio, (13). Además, el análisis de pendientes y altitudes se posiciona como una herramienta fundamental para evaluar la dinámica de escorrentías y su relación con posibles afectaciones en áreas críticas (14).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo, se llevó a cabo en la quebrada Las Abras, localizada entre los cantones Riobamba y Guano, en la provincia de Chimborazo, Ecuador. El enfoque cuantitativo se justifica por la recolección y análisis de datos numéricos precisos, como altitudes, pendientes y coordenadas espaciales, obtenidos mediante tecnología LIDAR y procesados con herramientas especializadas. El enfoque descriptivo se centra en detallar las características físicas del área de estudio, como las curvas de nivel y las pendientes, proporcionando una representación visual y analítica de la geografía de la quebrada, permitiendo comprender la estructura topográfica del terreno, identificar áreas críticas y generar información relevante para la gestión territorial y la mitigación de riesgos.

Como técnicas e instrumentos se empleó un dron especializado equipado con un sensor LIDAR y tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System), el cual integra señales de GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo, garantizando precisión en la georreferenciación, la planificación de vuelos incluyó rutas predefinidas para capturar una nube de puntos y una ortofotografía detallada del área, además se utilizó las herramientas de ArcGIS PRO para los cálculos y el análisis geográfico.

Como muestra se utiliza la zona de influencia de la quebrada, estableciendo un área aproximada de 2,511.65 metros cuadrados. El levantamiento de datos incluyó cinco tramos principales, con un punto inicial en las coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S 750357.32 m E, 9822815.72 m S y un punto final en 760023.21 m E, 9818196.64 m S.

RESULTADOS

La quebrada Las Abras, ubicada entre los cantones de Guano y Riobamba, desempeña un papel crucial en el equilibrio ambiental y la gestión territorial de la región, actúa como un sistema natural de drenaje, mitigando el riesgo de inundaciones durante la temporada de lluvias y protegiendo las zonas urbanas cercanas, este recurso también es esencial para mantener el ciclo hídrico local, ya que canaliza aguas superficiales hacia otros cuerpos de agua, ayudando a evitar acumulaciones que podrían derivar en desastres naturales (15). Además, la quebrada contribuye a la conservación ambiental al albergar biodiversidad autóctona, proporcionando un hábitat para diversas especies de flora y fauna, y desempeñando un papel importante en la regulación de la temperatura y la calidad del aire en los sectores poblados.

La quebrada Las Abras tiene un impacto directo en la calidad de vida de los habitantes cercanos, su conservación mejora la salud pública al prevenir problemas derivados de la contaminación y al ofrecer un espacio natural que puede ser utilizado para la recreación y la educación ambiental. Un manejo adecuado de la quebrada puede reducir los costos asociados a desastres naturales, como inundaciones, y fomentar el desarrollo mediante su integración en estrategias de ecoturismo y urbanismo sostenible, es un componente estratégico en la planificación territorial, ya que permite identificar áreas de riesgo y diseñar soluciones sostenibles para el crecimiento urbano, garantizando beneficios a largo plazo para la comunidad (16).

Para este estudio, se delimitó la zona de influencia de la quebrada Las Abras, la cual abarca áreas pertenecientes al cantón Riobamba y al cantón Guano, la delimitación se realizó utilizando un archivo en formato KML, que sirvió como base para el levantamiento de datos en campo, el punto inicial de la quebrada se ubicó en la coordenada WGS 1984 UTM Zona 17S 750357.32 m E, 9822815.72 m S, mientras que el punto final se definió en la coordenada WGS 1984 UTM Zona 17S 760023.21 m E, 9818196.64 m S. Esta precisión en la delimitación permite una evaluación detallada de la topografía y las características geográficas necesarias para el desarrollo del estudio.

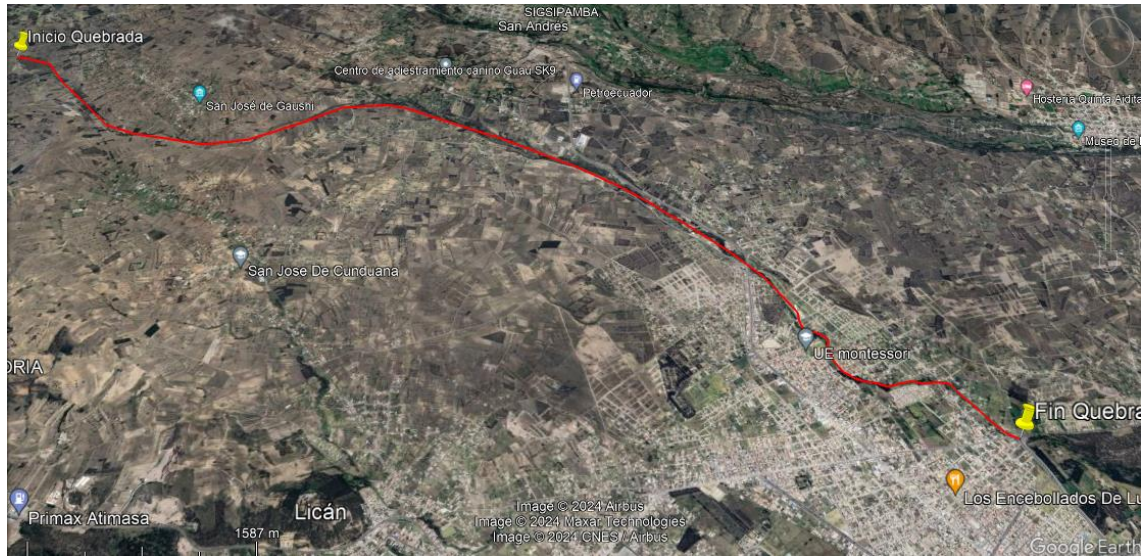


Figura 1. Zona de influencia de la quebrada Las Abras.

Luego de la limitación de la zona de influencia de la quebrada el levantamiento de datos se realiza utilizando un dron diseñado para múltiples actividades, áreas y competencias, equipado con un software especializado, que permite llevar a cabo levantamientos topográficos de alta precisión, utilizando un sistema GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) que integra señales de GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo. Esto garantiza una cobertura y exactitud óptimas, gracias a su capacidad de ubicación, georreferenciación y conexión entre los distintos sistemas satelitales.

La pantalla electrónica del Dron proporcionó en tiempo real toda la información necesaria para el levantamiento, incluyendo ubicación precisa, coordenadas, condiciones climáticas, velocidad y otros datos relevantes. Esta funcionalidad facilitó significativamente el trabajo del profesional, permitiendo un inicio eficiente del vuelo y la captura precisa de datos e imágenes (17). Además, el dispositivo permite gestionar y supervisar el vuelo del dron, incluyendo la programación de rutas específicas, lo que garantiza un levantamiento sistemático. Asimismo, asegura el correcto funcionamiento del sensor LIDAR durante todo el proceso, optimizando la calidad y precisión de los datos obtenidos.

Se realizó una proyección de las misiones de vuelo con sensores LIDAR, con el objetivo de cubrir aproximadamente 2,511.65 metros cuadrados.

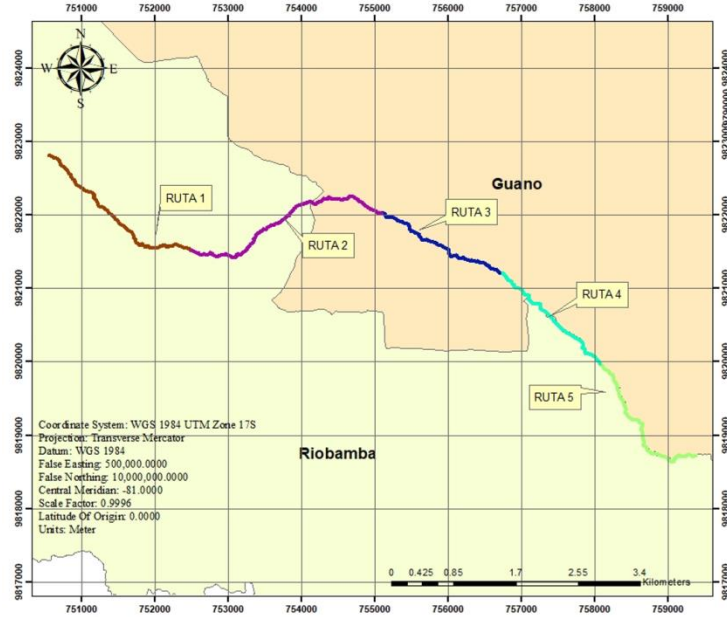


Figura 2. Tramos de levantamiento de información utilizando Dron con su sensor LIDAR.

Después de realizar el levantamiento in situ con el dron equipado con un sensor LIDAR, se obtuvo un conjunto completo de fotografías organizadas conforme al plan de vuelo establecido para cada tramo. Posteriormente, estas imágenes fueron procesadas para generar la ortofoto del área de estudio, un paso crucial para garantizar la precisión y el detalle necesarios en la digitalización y análisis del terreno.

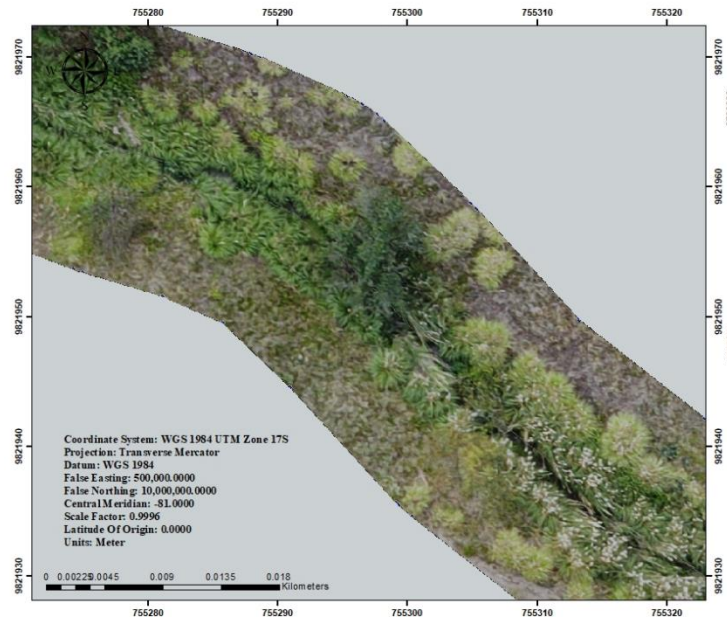


Figura 3. Tramo de la ortofoto procesada de la quebrada Las Abras.

Con la ortofotografía y el archivo de nube de puntos LIDAR en formato LAZ, se ejecutaron los procedimientos necesarios para generar el Modelo Digital del Terreno (MDT) utilizando ArcGIS Pro, una herramienta especializada que permite procesar datos espaciales con alta precisión y eficiencia.

Importación y Preparación del Archivo LAZ

Importar el archivo LAZ:

Usa la herramienta "**Create LAS Dataset**" para convertir el archivo LAZ en un dataset utilizable.

- *Ruta:* Geoprocessing → "Create LAS Dataset".
- Configura el archivo de entrada (*.laz) y define el sistema de coordenadas.

Verificar y visualizar el LAS Dataset:

- Agrega el LAS Dataset al mapa para visualizar la nube de puntos.
- Usa las propiedades para verificar las clasificaciones de puntos (terreno, edificaciones, vegetación).

Clasificación de la Nube de Puntos

Clasificar los puntos de terreno:

Usa la herramienta "**Classify LAS Ground**" para identificar puntos correspondientes al terreno.

- *Ruta:* LAS Dataset → Classification → Classify LAS Ground.

Filtrar puntos de terreno:

Configura el filtro del LAS Dataset para mostrar solo los puntos clasificados como terreno.

- *Opción:* "Ground (Clase 2)".

Generación del MDT

Convertir la nube de puntos a raster:

Usa la herramienta "**LAS Dataset To Raster**".

- *Ruta:* Geoprocessing → Conversion Tools → "LAS Dataset To Raster".
- Configura los parámetros:
- *Value Field:* Elevation.
- *Interpolation Type:* Binning.
- *Cell Assignment Type:* Maximum.
- *Void Filling:* Natural Neighbor.
- Especifica la resolución (por ejemplo, 1 metro por celda).

Validar el raster generado:

Inspecciona el raster para asegurarte de que los datos de elevación sean consistentes con la zona de estudio.

Integración con la Ortofoto

Superponer la ortofoto:

Añade la ortofoto al mapa y ajusta la transparencia para comparar con el MDT.

Análisis visual:

Identifica características topográficas relevantes, como zonas de erosión, cauces o áreas críticas.

Exportación de Resultados

Exportar el MDT:

Guarda el MDT en formato GeoTIFF para análisis adicional o visualización.

- *Ruta:* Clic derecho en el raster → Data → Export Raster.

Exportar curvas de nivel:

Guarda las curvas en formato shapefile para incluirlas en mapas finales.

- *Ruta:* Geoprocessing → Conversion Tools → Features → Export Features.

Posteriormente, es fundamental procesar la nube de puntos LIDAR para derivar las curvas de nivel con un alto grado de precisión, en este caso específico, se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 0.5 metros, lo cual garantiza un nivel de detalle adecuado para el análisis topográfico de la zona de estudio, este intervalo permite identificar con claridad los cambios en la pendiente y la morfología del terreno, aspectos esenciales para el desarrollo de proyectos de planificación y conservación (18).

Una vez procesada la nube de puntos según (19) se obtuvieron las curvas de nivel correspondientes a los tramos definidos en el plan de vuelo, estas curvas se organizaron y visualizaron en función de las características del área de estudio, permitiendo su integración con otros insumos geoespaciales, este enfoque asegura una gestión eficiente de los datos y proporciona una base sólida para el análisis posterior de las pendientes y la modelación del terreno.

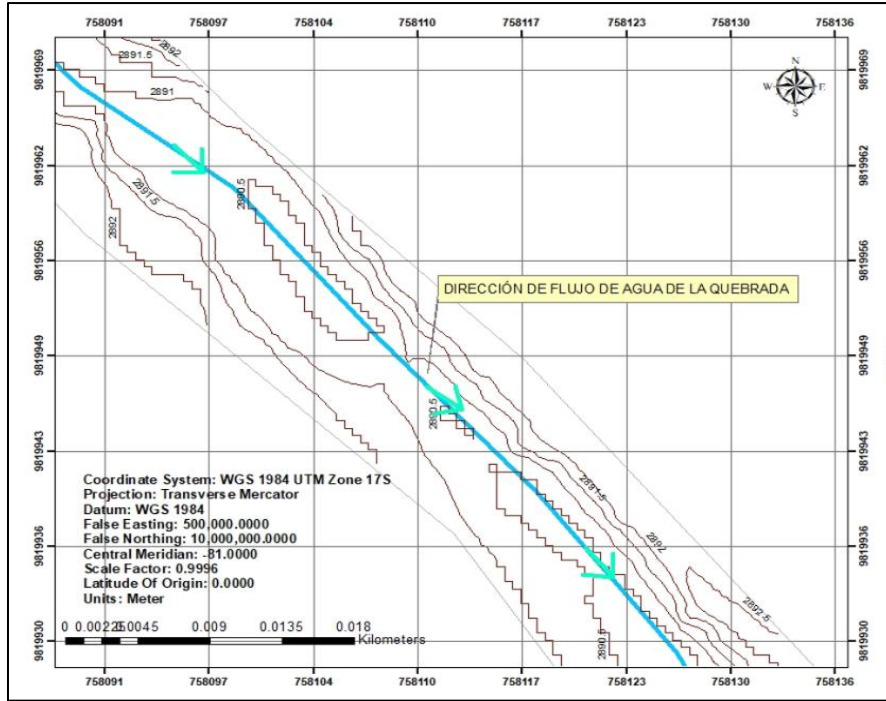


Figura 4. Curvas de nivel de la quebrada Las Abras Tramo 1.

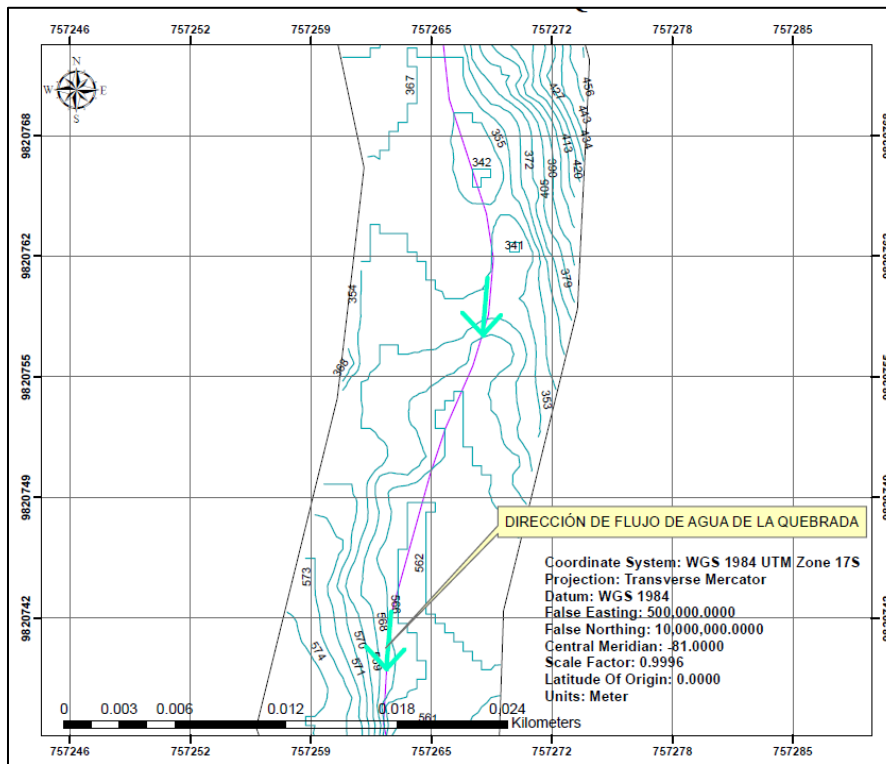


Figura 5. Curvas de nivel de la quebrada Las Abras Tramo 2.

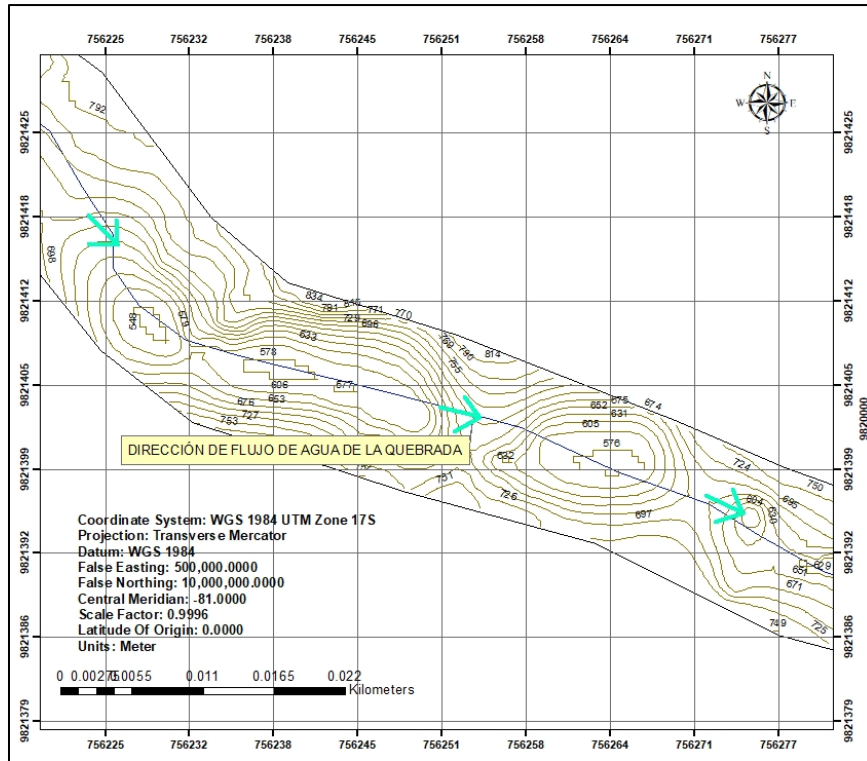


Figura 6. Curvas de nivel de la quebrada Las Abras Tramo 3.

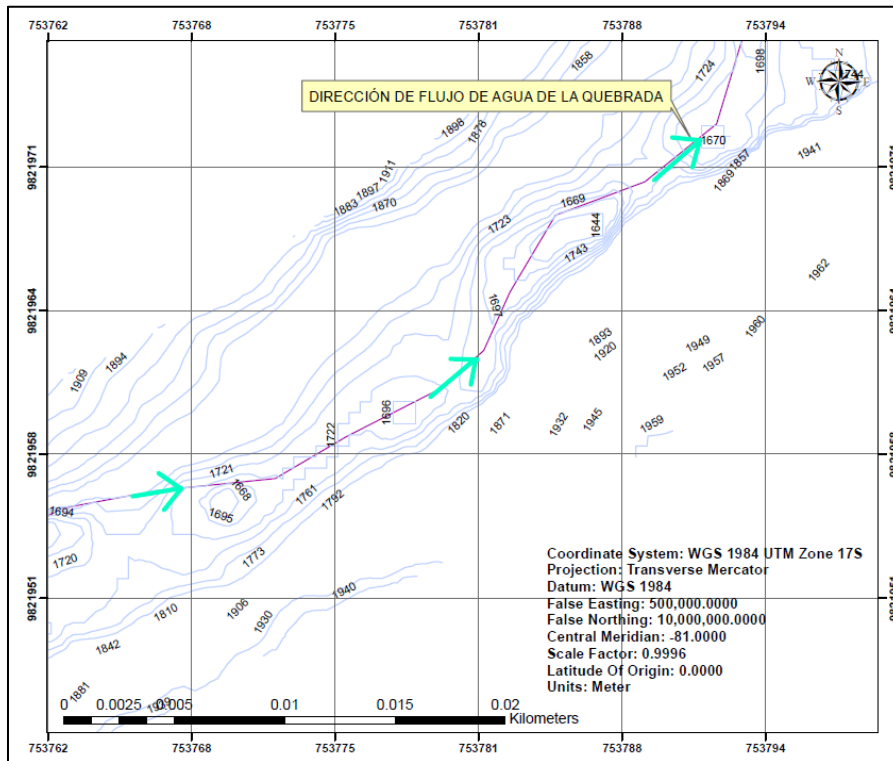


Figura 7. Curvas de nivel de la quebrada Las Abras Tramo 4.

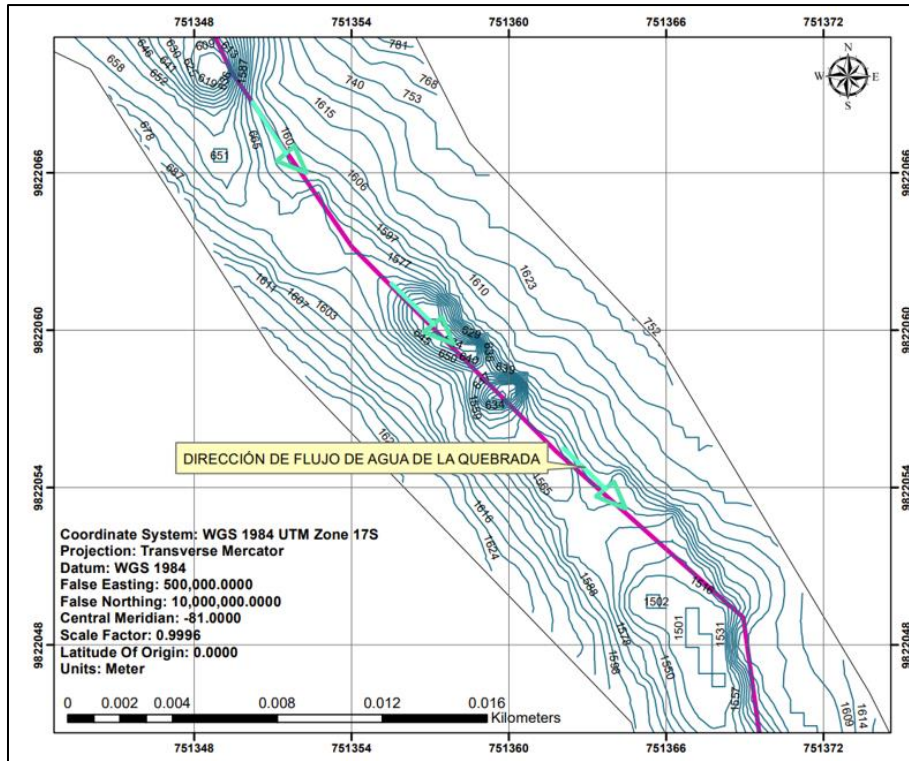


Figura 8. Curvas de nivel de la quebrada Las Abras Tramo 5.

El análisis de las curvas de nivel de la quebrada Las Abras ha permitido identificar la topografía detallada de los tramos que componen el área de estudio, estas curvas reflejan las pendientes pronunciadas y variaciones altimétricas significativas que caracterizan a la quebrada. La representación obtenida proporciona información clave para el diseño de estrategias de manejo ambiental y la planificación de infraestructura, asegurando un enfoque sostenible. Además, la precisión alcanzada con intervalos de 0.5 metros resalta el valor de la tecnología LIDAR para estudios detallados en áreas geográficamente complejas.

Tabla 1. Cuadro resumen de las características de las Curvas de Nivel por Tramo

Tramo	Intervalo (m)	Altitud (m)	Máxima	Altitud Mínima (m)	Observaciones
Tramo 1	0.5	1772		1684	Pendiente moderada, flujo uniforme.
Tramo 2	0.5	1870		1721	Incremento significativo en altitud.
Tramo 3	0.5	2015		1891	Zona de transición altimétrica.
Tramo 4	0.5	2891		2015	Pendientes más pronunciadas.
Tramo 5	0.5	2915		2891	Área crítica por alta inclinación.

Este cuadro sintetiza las características principales de las curvas de nivel de cada tramo de la quebrada Las Abras.

A partir de las curvas de nivel, la ortofotografía y la nube de puntos generadas mediante el levantamiento con el sensor LIDAR, se procede a calcular las pendientes correspondientes al área de estudio de la quebrada Las Abras, este proceso es crucial para comprender las variaciones topográficas del terreno, lo que permitirá identificar áreas críticas y proponer estrategias de manejo adecuadas. Para este propósito, se utiliza la herramienta "Slope", disponible en el conjunto de herramientas de Spatial Analyst Tools dentro de ArcGIS Pro, específicamente en la sección Surface, esta herramienta permite calcular las pendientes del terreno tanto en porcentaje como en grados.

El procedimiento consiste en cargar el Modelo Digital de Terreno (MDT) generado previamente como insumo principal, configurar los parámetros de salida, y ejecutar la herramienta para obtener un raster que represente las pendientes, el uso de la herramienta "Slope" no solo garantiza precisión en los resultados, sino que también facilita la visualización de las zonas con mayor inclinación, lo que resulta fundamental para evaluar riesgos de erosión, identificar áreas de acumulación de agua y planificar obras de infraestructura. Un análisis detallado es un insumo indispensable para la toma de decisiones en la gestión de recursos y la planificación territorial en la región de estudio.

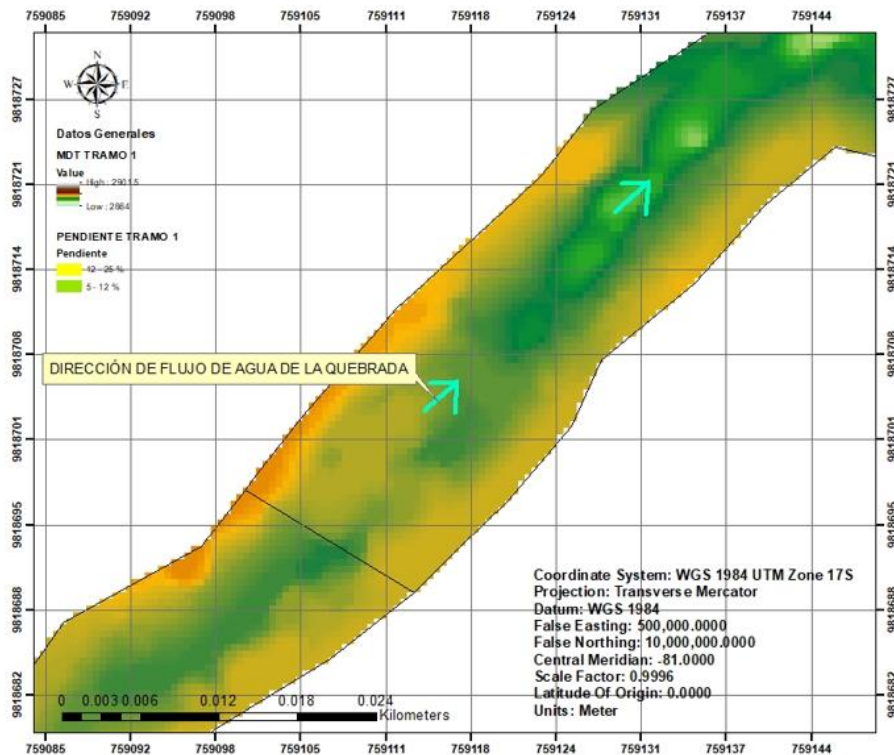


Figura 9. Pendientes de la quebrada Las Abras Tramo 1.

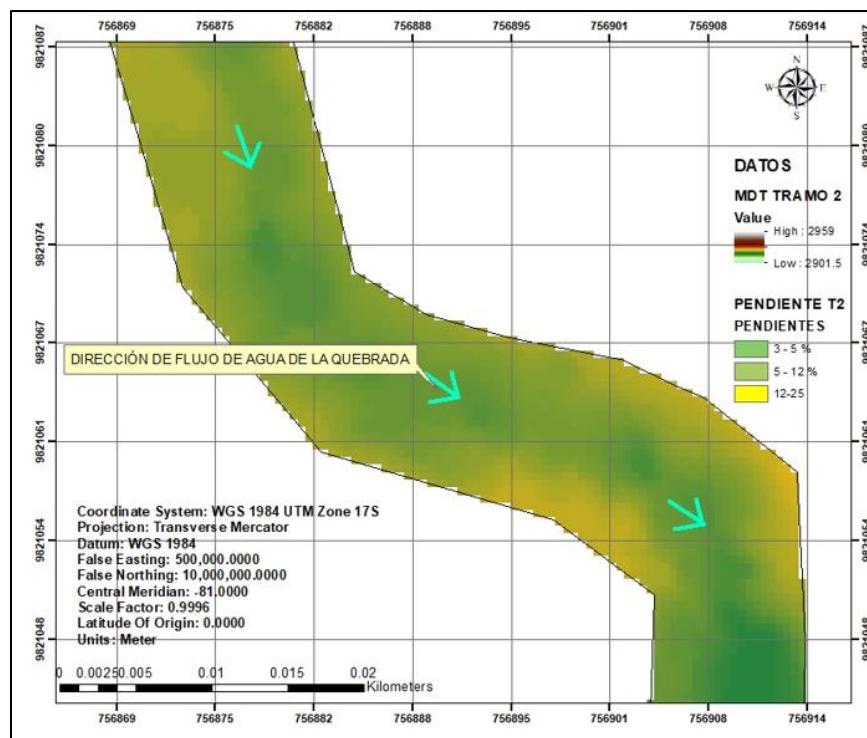


Figura 10. Pendientes de la quebrada Las Abras Tramo 2.

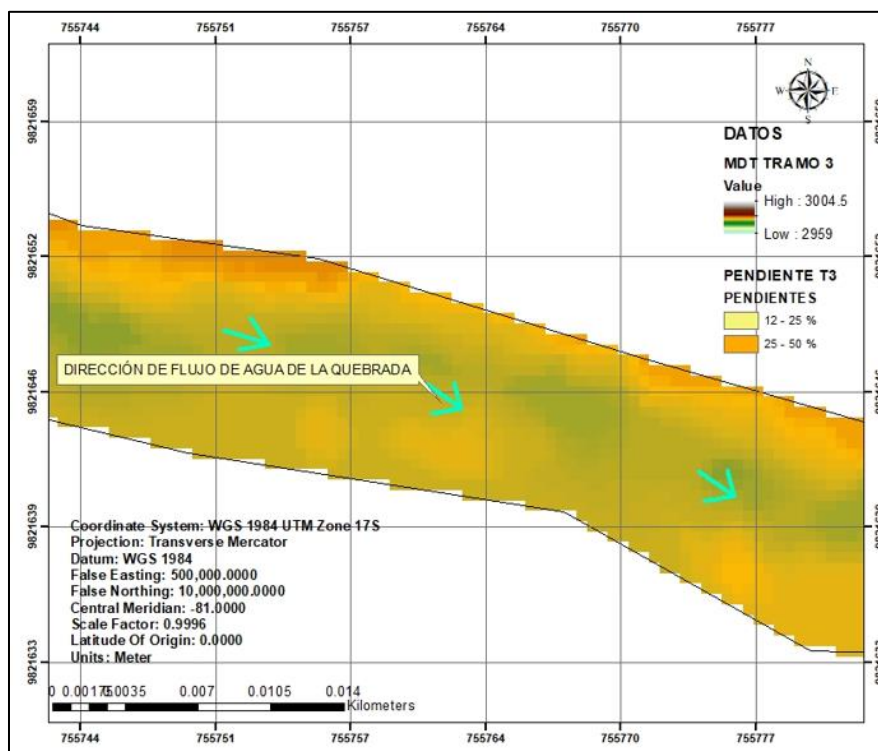


Figura 11. Pendientes de la quebrada Las Abras Tramo 3.

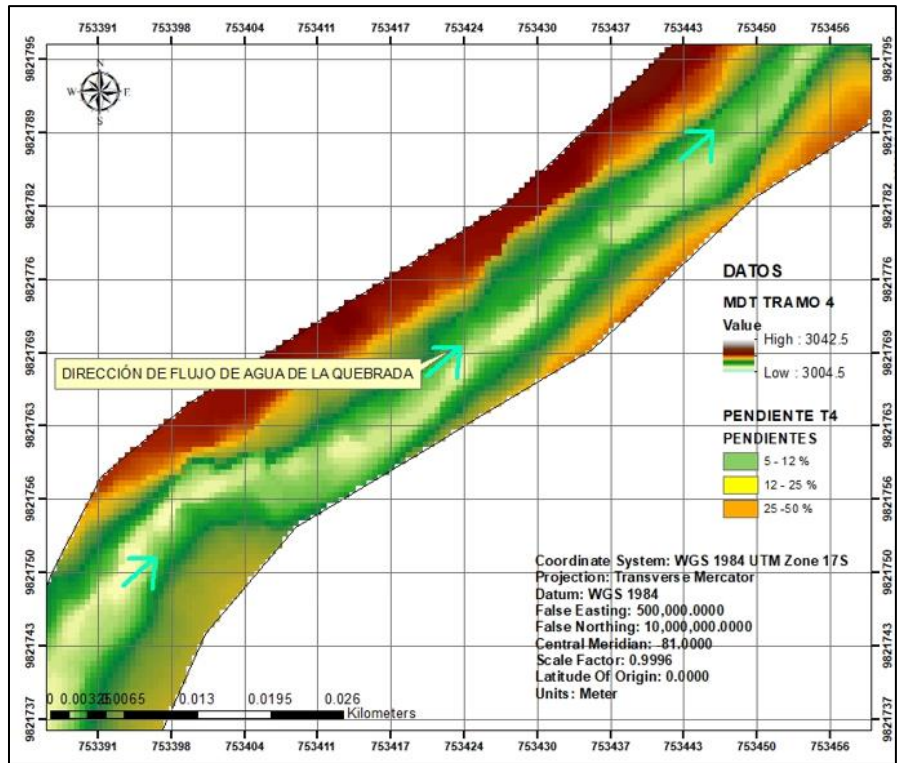


Figura 12. Pendientes de la quebrada Las Abras Tramo 4.

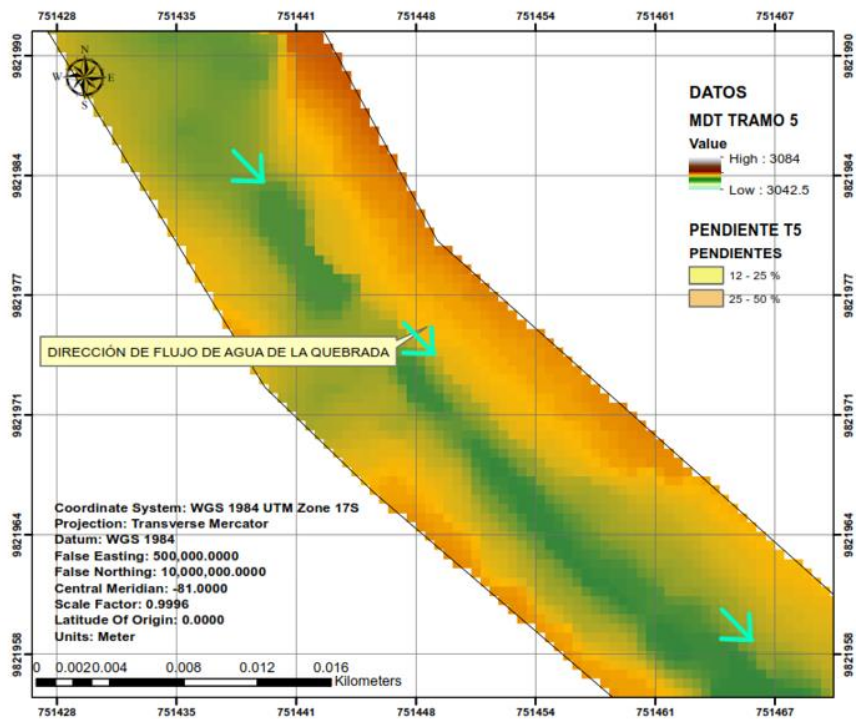


Figura 13. Pendientes de la quebrada Las Abras Tramo 5.

El análisis de las pendientes a lo largo de los tramos estudiados en la quebrada Las Abras revela una variabilidad significativa en las inclinaciones, que oscilan entre pendientes suaves (3%-12%) y pronunciadas (25%-50%), estas diferencias se deben a la morfología natural del terreno y destacan áreas críticas que pueden influir en el flujo de agua y la susceptibilidad a fenómenos de erosión. Las pendientes más pronunciadas son indicativas de zonas donde se requiere mayor atención en términos de manejo de suelos y control de escorrentías para prevenir procesos erosivos severos. Por otro lado, las áreas con pendientes suaves facilitan la estabilidad del terreno y presentan menos riesgo para la dinámica del agua, el estudio subraya la importancia de integrar estos resultados en planes de gestión ambiental, en estrategias de desarrollo sostenible y en políticas del manejo del uso de suelo del área de estudio.

Tabla 2. Cuadro resumen de las Pendientes por Tramo.

Tramo	Rango de Pendiente (%)	Descripción	Implicaciones
Tramo 1	3% - 12%	Pendientes suaves	Estabilidad del terreno, menor riesgo de erosión.
Tramo 2	5% - 12%	Pendientes moderadas	Riesgo leve de erosión, adecuado para estabilización y control de escorrentías.
Tramo 3	12% - 25%	Pendientes significativas	Mayor escorrentía, requiere medidas de manejo de suelos.
Tramo 4	12% - 50%	Pendientes pronunciadas	Alto riesgo de erosión, esencial implementar estrategias de conservación.
Tramo 5	12% - 25%	Pendientes significativas	Atención en el manejo de aguas y protección del suelo en estas áreas críticas.

Este cuadro facilita la interpretación de los resultados y resalta las características principales de cada tramo, contribuyendo al entendimiento de las condiciones del terreno en la quebrada Las Abras.

DISCUSIÓN

La aplicación de tecnología LIDAR en el estudio de la quebrada Las Abras ha permitido identificar con precisión características clave del terreno, como las curvas de nivel y las pendientes, aportando información valiosa para la planificación territorial y la gestión de recursos (20). Los resultados obtenidos destacan la variabilidad topográfica significativa de la quebrada, con pendientes que oscilan entre suaves y extremadamente pronunciadas, estas condiciones refuerzan la necesidad de implementar medidas de manejo de suelos y control de escorrentías en las áreas críticas para prevenir riesgos de erosión y deslizamientos (21).

El análisis detallado de acuerdo con (22) de las curvas de nivel muestra que los intervalos de 0.5 metros permiten una representación fiel del terreno, facilitando la identificación de áreas de transición altimétrica y zonas de mayor vulnerabilidad. Por otro lado, el cálculo de pendientes mediante el uso de las herramientas de ArcGIS Pro evidenció la inclinación del terreno en porcentajes, lo que aporta un insumo esencial para evaluar la dinámica del flujo hídrico y los riesgos asociados (23).

Además, (24) los mapas generados para cada tramo ofrecen una representación visual clara de la distribución de altitudes y pendientes, lo que facilita la integración de esta información en estrategias de desarrollo urbano sostenible, proyectos de conservación ambiental y planificación del uso del suelo. Estos hallazgos subrayan la importancia de utilizar tecnologías de alta precisión para estudios geográficos en áreas complejas, maximizando la capacidad de análisis y la generación de soluciones basadas en evidencia (25).

CONCLUSIONES

La aplicación de tecnología LIDAR permitió obtener representaciones topográficas detalladas con intervalos de curvas de nivel de 0.5 metros, lo que asegura un alto grado de precisión en la identificación de características clave del terreno, como pendientes pronunciadas y variaciones altimétricas.

Las pendientes analizadas, que varían entre suaves (3%-12%) y pronunciadas (25%-50%), destacan zonas críticas que requieren manejo especial para mitigar riesgos de erosión y escorrentías, estas áreas representan puntos de interés prioritarios para estrategias de conservación, manejo y uso de suelos.

La información obtenida facilita la planificación y gestión de recursos, permitiendo tomar decisiones basadas en evidencia para reducir riesgos y optimizar el uso del suelo en la región. Este estudio refuerza la importancia de conservar quebradas como Las Abras, que no solo actúan como sistemas naturales de drenaje, sino que también contribuyen a mantener la biodiversidad y la calidad del aire en áreas urbanas cercanas.

Los resultados son un insumo valioso para la elaboración de políticas públicas y planes de desarrollo sostenible que integren la protección de áreas naturales con proyectos de infraestructura.

La combinación de sensores LIDAR y herramientas de procesamiento geoespacial, como ArcGIS Pro, demuestra ser una metodología efectiva y replicable para estudios topográficos en regiones similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lesmes, A. F. H. (2020). *Determinación de la pendiente y los factores morfométricos para el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río sumapaz a partir de un modelo digital del terreno corregido*. 102.
2. Tenesaca-Saca, M. E., Reyes-Zambrano, J. L., Vallejo-Vizhuate, D. P., & Chavarría-Párraga, J. E. (2024). Modelación Hidrológica e Hidráulica para la Identificación de Zonas de Inundación en la Quebrada Las Abras, Riobamba. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 7(14), Article 14. <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0220>

3. Borja-Bernal, C., Salcedo-Maridueña, G., Cedeño-Bermeo, J., & Montalvo, C. (2015). La Evaluación hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Las Abras, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.53591/cna.v9i2.240>
4. Fernández-Lozano, J. (2016). APLICACIONES GEOLÓGICAS DE LOS DRONES. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29, 89-105.
5. Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99-107. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
6. Castro-Priego, M., Olmo-Enciso, L., Labrada-Ochoa, M. O., Jijón-Porras, J. A., & García-Campoverde, J. A. (2021). Espacios agrarios, asentamientos prehispánicos y tecnología LiDAR en el área costera central del Ecuador. *Virtual Archaeology Review*, 12(25), 140. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14891>
7. Magdaleno Mas, F., & Martínez Romero, R. (2006). Aplicaciones de la teledetección láser (LiDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial. *Ingeniería Civil*, 142, Article 142.
8. Fragoso Campón, L. (2021). *Aplicaciones de la teledetección en la modelización hidrológica* (p. 1) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Extremadura]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=293355>
9. Ahumada Zavala, D. C., & Espino Aparcana, L. C. (2024). Análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de retención de sólidos en la cabecera de la cuenca de la quebrada San Idelfonso. *Universidad Privada Antenor Orrego*. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/18792>
10. Giménez-Frontín, E. C., & González, I. C. (2010). *SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA*. 2(45), 175-190.
11. Carreño Correa, L. M., & Pedraza Niño, N. I. (2020). *Caracterización del cuidado y la conservación del recurso hídrico a partir del conocimiento ambiental de la comunidad próxima a la quebrada Yomasa -sector Bolonia- y su vinculación con la política pública* [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.13516>
12. Pedraza, J. (1996). *Geomorfología Principios Metodos y Aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda.
13. Adriano, A., & Guerra, R. (2021). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL, DE LA QUEBRADA SAN SEBASTIÁN, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.
14. Aguilera, R., Brea, S., & Villarroya, L. (2023). *Biología y geología*. Macmillan Iberia.
15. Almoza, Y., Wuoter, S., Medina, H., & Alonso, G. (2019). *Metodología para la Estimación del Factor Erosividad de las Precipitaciones en el Modelo (RUSLE)*. Obtenido de La molina: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art11.pdf>
16. Alvarado, G. E. (2011). *The formation and evolution of Hule and Río Cuarto maars, Costa Rica*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027311000047>
17. Alvarez, J. (21 de Octubre de 2023). *Docz*. Obtenido de Carta de Plasticidad: <https://www.udocz.com/apuntes/525368/carta-de-plasticidad-nuevo>

18. Arcgis. (2024). *Arcgis.com*. Obtenido de Cómo funciona Kriging—ArcGIS Pro | Documentación: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
19. Arora, R. (2019). *Plasticity Index Of Soil*. Obtenido de <https://www.elementaryengineeringlibrary.com/civil-engineering/soil-mechanics/plasticity-index-of-soil>
20. Barrera, J. (2015). *Empleo del método geofísico Tomografía de Resistividad Eléctrica para la ubicación de un sitio de recarga de acuífero en Xochimilco*. México D.F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
21. Barrietos, E. (2015). *Tomografía eléctrica resistiva 3d en la caracterización del subsuelo bajo estructuras civiles*. México D.F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
22. Blanco, M. (2019). ROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL CAUCE 31 DE DICIEMBRE, NICARAGUA. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 32(2), 94-105.
23. Borja, C., Salcedo, G., Cedeño, J., & Montalvo, C. (2015). Evaluación hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Las Abras, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*, 9(2), 72-79.
24. Buscar Agua Subterránea. (2017). *Estudio con Tomografía Eléctrica (II)*. Obtenido de <https://buscaraguasubterránea.com/agua-subterránea-tomografia-electrica/>
25. Cantarero, A. (2023). *¿Qué es un diagrama de flujo y cómo hacer uno?* Obtenido de Ebac: <https://ebac.mx/blog/diagrama-de-flujo>