UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

VICERRECTORADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL DIPLOMADO EN GERENCIA EN MODALIDAD BIM Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

APLICACIÓN DE BIM CON FOTOGRAMETRÍA PARA LA INTERVENCIÓN DE LOS RÍOS APAÑA Y TRANKAJAWIRA

POSTULANTE:

GABRIEL GAEL TICONA CAMACHO

COBIJA - PANDO - BOLIVIA

2025

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 5

1 JUSTIFICACIÓN 6

1.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA 7

1.2 JUSTIFICACIÓN PRACTICA 7

2 EL PROBLEMA A INVESTIGAR 8

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 8

2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 8

2.2.1 DELIMITACION GEOGRAFICA 9

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO 9

2.4 DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO 9

3 OBJETIVOS 10

3.1 OBJETIVO GENERAL 10

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10

4 SUSTENTO TEORICO, DEBATE Y REFLEXIÓN 10

4.1 ESTADO DEL ARTE 10

4.1.1 Antecedentes internacionales 11

4.2 MARCO TEORICO CONCEPTUAL 12

4.2.1 APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRIA EN TOPOGRAFIA 12

4.2.2 MODELAMIENTO DIGITAL CON FOTOGRAMETRIA 14

4.2.3 INTEGRACIÓN DEL BIM EN EL MODELAMIENTO DIGITAL PARA LA TOMA DE DECISIONES CONSTRUCTIVAS 16

4.3 MARCO NORMATIVO 17
4.4 MARCO PRACTICO 18
4.4.1 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA 18
4.4.2 INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN BAJO ENFOQUE BIM 25
4.4.3 UTILIDAD DEL MODELO PARA LA INTERVENCIÓN 28
4.4.4 EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN CONJUNTA DE BIM Y FOTOGRAMETRÍA CON MÉTODOS TRADICIONALES 31
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32
5.1 CONCLUSIONES GENERALES 32
5.2 RECOMENDACIONES 32
6 APORTE CIENTÍFICO Y SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN 33
6.1 APORTE CIENTÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN 33
6.2 APORTE SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN 33
7 BIBLIOGRAFÍA 34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sectores de intervención Rio Apaña 19
Figura 2: Sector de intervención Rio Trankajawira 19
Figura 3: Rio Trankajawira 20
Figura 4: Sector 2 Rio Apaña - CODAVISA 21
Figura 5: Sector 1 Rio Apaña – OVEJUYO 21
Figura 6: Dron PHANTOM 3 PRO DJI 22

Figura 7: Ejecución del plan de vuelo para el Rio Apaña sector 1 - OVEJUYO 23

Figura 8: Ejecución del plan de vuelo para el Rio Trankajawira 23

Figura 9: Nube de puntos densa Rio Apaña 24

Figura 10: Modelo digital de elevación Rio Apaña 24

Figura 11: Ortomosaico Rio Apaña 25

Figura 12: Ciclo de información 26

Figura 13: Barrera transversal de gavión para el Rio Apaña 26

Figura 14: Emplazamiento del muro CIVIL 3D 27

Figura 15: Emplazamiento del muro CIVIL 3D 27

Figura 16: excavación Rio Apaña 30

Figura 17: construcción barrera transversal Rio Apaña 30

RESUMEN

La presente investigación analiza la integración de la fotogrametría con drones y la metodología BIM (Building Information Modeling) para la intervención de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macrodistrito sur de La Paz, Bolivia. Los métodos topográficos tradicionales en esta zona enfrentan desafíos debido a pendientes pronunciadas, tramos vulnerables a erosión y acceso limitado, lo que incrementa tiempos de trabajo, costos y riesgos para el personal técnico.

El objetivo del estudio fue aplicar BIM junto con fotogrametría con drones para obtener, organizar y modelar la información topográfica, facilitando la planificación y ejecución de intervenciones en los ríos. Se capturaron imágenes aéreas de alta resolución mediante drones

DJI Phantom 3 PRO y se procesaron en Agisoft Metashape Pro, generando ortomosaicos, modelos digitales de elevación y nubes de puntos densas. La información fue integrada en Civil 3D e InfraWorks, permitiendo visualización 3D, análisis del terreno y planificación de barreras transversales de gavión.

Los resultados muestran que este enfoque proporciona datos precisos, confiables y georreferenciados, reduce tiempos de campo, minimiza riesgos y mejora la toma de decisiones durante el diseño y la ejecución. Comparado con métodos tradicionales, BIM y la fotogrametría optimizan la gestión de información y los recursos, contribuyendo científicamente al uso de tecnologías geoespaciales y socialmente a intervenciones fluviales más seguras y eficientes.

Palabras clave: BIM, fotogrametría, tradicional

ABSTRACT

This study explores the integration of drone photogrammetry with Building Information Modeling (BIM) for the intervention of the Apaña and Trankajawira rivers in the southern macro-district of La Paz, Bolivia. Traditional topographic surveys in this area face challenges due to steep slopes, erosion-prone sections, and limited access, increasing fieldwork time, costs, and risks for technical staff.

The research aimed to apply BIM methodology combined with drone photogrammetry to obtain, organize, and model topographic information for the planning and execution of river interventions. High-resolution aerial images were captured using DJI Phantom 3 PRO drones

and processed in Agisoft Metashape Pro, generating orthomosaics, digital elevation models, and dense point clouds. The data were integrated into Civil 3D and InfraWorks, facilitating 3D visualization, terrain analysis, and planning of gabion transverse barriers.

Results demonstrate that this integrated approach provides accurate, reliable, and georeferenced data, reduces fieldwork time, minimizes risks, and enhances decision-making during design and execution. Compared to traditional methods, BIM and photogrammetry streamline information management, improve project planning, and optimize resource use. This study contributes scientifically to the application of geospatial technologies in hydraulic engineering and socially by supporting safer and more efficient river interventions

Key words: BIM, photogrammetry, traditional

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la incorporación de drones ha transformado significativamente la topografía, permitiendo capturar miles de imágenes en poco tiempo, acceder a zonas difíciles o peligrosas sin exponer al personal, generar modelos 3D y ortomosaicos con una rapidez sorprendente. Los costos se redujeron, la precisión mejoró y el proceso se volvió más accesible, lo que permite que incluso equipos pequeños ejecuten levantamientos de alta calidad con una sola persona.

Esta tecnología tan versátil se adapta a terrenos poco accesibles, con pendientes pronunciadas o lugares altos, tal y como es el caso típico de las cabeceras de cuencas de los ríos en la ciudad de

La Paz, debido a su orografía, pensar en un levantamiento convencional, resulta en una tarea compleja, por lo que la fotogrametría con drones es la mejor opción, que resulta en la optimización de tiempos y en la toma de decisiones oportunas en la intervención de ríos o el análisis de riesgos de arrastre de material, un problema frecuente en la ciudad, que no solo necesita soluciones constructivas como la implementación de barreras transversales, sino también medidas de prevención.

Por esta razón, la presente monografía se centra en la aplicación de la fotogrametría con drones en topografía, enfocando su implementación en la rehabilitación de las barreras transversales de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz. Este enfoque permite optimizar los tiempos de levantamiento y análisis de información, mejorar la precisión en los datos obtenidos y facilitar la planificación de los trabajos de rehabilitación de manera más eficiente y segura.

1 JUSTIFICACIÓN

La fotogrametría con drones se ha convertido en una herramienta fundamental en la topografía, ya que permite obtener información precisa en menos tiempo, ingresar a zonas de difícil acceso sin poner en riesgo al personal y poder generar modelos 3D y ortomosaicos actuales y representativos del terreno con los cuales se pueda trabajar en un entorno BIM.

En la ciudad de La Paz, estas ventajas resultan especialmente útiles debido a su orografía de valle profundo, donde las pendientes pronunciadas y los ríos con alto potencial de erosión representan un riesgo constante, por ello, la aplicación de drones no solo facilita la optimización de tiempos y la mejora en la calidad de los datos, sino que también permite una toma de decisiones más oportuna en la intervención de ríos y en la evaluación de riesgos de arrastre de material. Con base en ello, la presente monografía plantea el uso de esta tecnología en la

rehabilitación de las barreras transversales de los ríos Apaña y Trankajawira, buscando demostrar su aporte en trabajos más eficientes, seguros y acordes a las necesidades del entorno paceño, implementando la metodología BIM para el manejo de la información del terreno generado mediante fotogrametría, el modelo 3D de las barreras transversales y su interacción en infraworks.

1.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La fotogrametría con drones se sustenta en principios geométricos y fotográficos que permiten reconstruir superficies a partir de imágenes aéreas superpuestas, generando modelos digitales con alta precisión que puedan ser implementados en distintos programas bajo la metodología BIM. La fotogrametría ha ganado relevancia debido a su capacidad para reemplazar o complementar levantamientos tradicionales en terrenos complejos, manteniendo la confiabilidad de los datos. En el caso de la ciudad de La Paz, donde las cuencas y pendientes pronunciadas dificultan la medición directa, la teoría que respalda el uso de drones demuestra que es posible obtener información detallada y consistente sin comprometer la seguridad del personal. De esta forma, la base teórica justifica plenamente su aplicación en proyectos que requieren información precisa para el diseño, rehabilitación o intervención de estructuras de protección hidráulica, como las barreras transversales

1.2 JUSTIFICACIÓN PRACTICA

El uso de drones ofrece ventajas directas en la recolección de datos topográficos, ya que reduce tiempos de trabajo en campo, disminuye costos operativos y permite cubrir áreas amplias en menos tiempo. En zonas urbanas como La Paz, donde los accesos son limitados y existen riesgos por erosión o inestabilidad de taludes y gracias a que la vegetación es escasa en estas zonas, esta tecnología se convierte en una herramienta eficiente para evaluar el estado de los ríos y planificar intervenciones con información actualizada, sin recurrir a equipos más costosos como los que utilizan tecnología LiDAR, de esta forma obtener información que permita ser implementada en distintos programas en un entorno BIM.

2 EL PROBLEMA A INVESTIGAR

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la zona de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicada en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz, la topografía se caracteriza por la presencia de pendientes pronunciadas y tramos vulnerables a procesos de erosión, lo que dificulta su monitoreo, análisis y gestión oportuna. Estas condiciones hacen que los métodos tradicionales de levantamiento topográfico requieran el acceso directo a áreas de difícil tránsito o con cierto nivel de riesgo, incrementando los tiempos de trabajo, los costos operativos y la exposición del personal técnico.

Asimismo, la información obtenida mediante estos métodos suele ser limitada en extensión, actualización y nivel de detalle, lo que dificulta su integración en procesos de análisis más avanzados y retrasa la planificación de intervenciones y la toma de decisiones técnicas. En este contexto, la ausencia de un modelo integrado de información que permita organizar, analizar y visualizar los datos del terreno representa una limitación importante. Ante este escenario, surge la necesidad de evaluar el uso de la fotogrametría con drones integrada a la metodología BIM, como una alternativa que permita no solo mejorar la captura de datos, sino también su gestión y modelamiento para optimizar las intervenciones en esta zona específica.

2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El problema principal de la presente investigación radica en la dificultad para obtener y gestionar información topográfica precisa, actualizada y estructurada en la zona de los ríos Apaña y Trankajawira, en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz. Las características del terreno, con pendientes pronunciadas y sectores propensos a la erosión, limitan la aplicación eficiente de los métodos tradicionales de levantamiento topográfico, los cuales resultan lentos, costosos y, en algunos casos, riesgosos para el personal de campo.

A esta dificultad se suma la falta de integración de la información obtenida en un entorno que permita su modelamiento, análisis y visualización conjunta, lo que afecta la planificación y la toma de decisiones oportunas para las intervenciones proyectadas. Por ello, se plantea la necesidad de evaluar si la aplicación de la fotogrametría con drones integrada a un enfoque BIM puede generar información más confiable y organizada, facilitando el análisis del terreno y respaldando de manera efectiva la gestión del área de estudio.

2.2.1 DELIMITACION GEOGRAFICA

La presente investigación se centra en la aplicación de la fotogrametría con drones y la metodología BIM para la intervención de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz. Esta zona presenta condiciones propias de cabecera de cuenca, con pendientes marcadas, ondulaciones pronunciadas y suelos con estabilidad limitada, así como sectores con escasa cobertura vegetal, lo que favorece la captura de información fotogramétrica del terreno.

El levantamiento fotogramétrico se delimita a una franja paralela de 50 metros a cada lado del eje del río, permitiendo generar información suficiente para su posterior modelamiento e integración en un entorno BIM, orientado al análisis y planificación de las intervenciones.

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo puede la aplicación de la fotogrametría con drones ser integrada a la metodología BIM para mejorar la precisión, eficiencia y gestión de la información del levantamiento topográfico en zonas con pendientes pronunciadas y tramos propensos a la erosión de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz, considerando las limitaciones de los métodos tradicionales?

2.4 DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente monografía es la aplicación de la metodología BIM integrada con fotogrametría obtenida mediante drones para el levantamiento, organización, modelamiento y análisis de la información topográfica en la zona de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz. El estudio se orienta a analizar cómo esta integración tecnológica permite mejorar la precisión, seguridad y eficiencia en la obtención y gestión de la información del terreno, superando las limitaciones de los métodos tradicionales y apoyando la planificación de intervenciones y la gestión de riesgos en la zona de estudio.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología BIM integrada con fotogrametría obtenida mediante drones para el levantamiento, gestión y modelamiento de la información topográfica, para la intervención de los ríos Apaña y Trankajawira, en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la fotogrametría con drones para la obtención de información topográfica de los ríos Apaña y Trankajawira en zonas con pendientes pronunciadas y tramos vulnerables a erosión.
- Integrar la información topográfica obtenida en un entorno BIM, permitiendo su organización, análisis y visualización de manera estructurada.
- Analizar el aporte del modelamiento BIM en la interpretación del terreno y en el apoyo a la planificación de las intervenciones proyectadas en los ríos.
- Evaluar las ventajas de la aplicación conjunta de BIM y fotogrametría con drones frente a los métodos tradicionales de levantamiento topográfico.

4 SUSTENTO TEORICO, DEBATE Y REFLEXIÓN

4.1 ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de tecnologías aplicadas al levantamiento topográfico y al modelamiento digital ha permitido mejorar de forma significativa la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil. En particular, la fotogrametría con drones y la metodología BIM se han consolidado como herramientas complementarias que facilitan la obtención de información precisa del terreno y su posterior integración en modelos digitales para el análisis y la toma de

decisiones. En este contexto, diversos estudios a nivel internacional y nacional han abordado estas tecnologías desde distintas aplicaciones, sentando las bases para su uso en intervenciones sobre cauces naturales.

4.1.1 Antecedentes internacionales

A nivel internacional, diversos estudios han analizado la aplicación conjunta de la fotogrametría con drones y la metodología BIM como herramientas de apoyo en la planificación y gestión de proyectos de construcción. Un caso relevante es la investigación desarrollada por De La Cruz Callupe y Herencia Prieto (2022) en Lima, Perú, titulada "La metodología BIM con fotogrametría de drones y los costos directos de construcción en la factibilidad de una habilitación urbana tipo 5 en Chancay – Huaral".

En dicha investigación se evalúa cómo la integración de BIM con fotogrametría de drones influye en el cálculo de los costos directos de construcción de viviendas de interés social y su urbanismo. Los autores señalan que los métodos tradicionales de elaboración de presupuestos, sumados a una limitada identificación geoespacial del área de intervención, dificultan la actualización oportuna de los costos en etapas tempranas del proyecto, especialmente en escenarios de variabilidad de precios de materiales.

El estudio destaca que esta falta de información precisa y actualizada puede generar replanteos tardíos, gastos operativos adicionales e incluso la inviabilidad económica del proyecto en fases avanzadas. Frente a esta problemática, se plantea el uso de la fotogrametría con drones integrada a la metodología BIM como una herramienta capaz de representar de manera precisa el entorno geoespacial del predio, permitiendo definir límites, colindancias, integración con la trama urbana, servicios básicos y secciones viales existentes.

Los resultados evidencian que esta integración facilita ajustes rápidos en el diseño, así como la generación eficiente de planos, metrados y presupuestos, permitiendo una evaluación constante de la factibilidad del proyecto. Este antecedente demuestra el potencial de la fotogrametría con drones y BIM como un enfoque eficaz para optimizar la toma de decisiones técnicas y económicas, lo cual resulta directamente aplicable a proyectos de intervención territorial y obras de infraestructura, como es el caso de la presente monografía.

4.2 MARCO TEORICO CONCEPTUAL

4.2.1 APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRIA EN TOPOGRAFIA

4.2.1.1 Uso de tecnologías geoespaciales en topografía

El avance de las tecnologías geoespaciales ha modificado de manera significativa los métodos tradicionales de levantamiento topográfico, permitiendo obtener información espacial con mayor rapidez, precisión y seguridad. En los métodos convencionales, como el uso de estaciones totales y receptores GNSS, el trabajo de campo suele ser prolongado y condicionado por la accesibilidad del terreno, especialmente en zonas con pendientes, cauces naturales o riesgo geotécnico (Wolf & Ghilani, 2012).

1) Estas limitaciones han impulsado la incorporación de tecnologías emergentes, entre ellas la fotogrametría con drones, como una alternativa eficiente para el levantamiento y análisis del terreno en contextos complejos.

4.2.1.2 La fotogrametría con drones aplicada a la topografía

La fotogrametría es una técnica que permite obtener información geométrica y dimensional de objetos y superficies a partir de imágenes fotográficas. Con la incorporación de drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV), esta técnica ha ampliado considerablemente su campo de aplicación, permitiendo capturar imágenes aéreas de alta resolución de manera rápida y controlada (Colomina & Molina, 2014).

En topografía, la fotogrametría con drones posibilita la generación de productos como ortomosaicos, modelos digitales de elevación (MDE) y modelos tridimensionales del terreno, los cuales resultan fundamentales para el análisis geomorfológico y la planificación de intervenciones en ríos.

4.2.1.3 Componentes y funcionamiento del sistema de fotogrametría con drones

Un sistema de fotogrametría con drones está conformado por una plataforma aérea, una cámara digital calibrada, un sistema de posicionamiento GNSS y software especializado para el

procesamiento de imágenes. El procedimiento inicia con la planificación del vuelo, donde se establecen parámetros como la altura, el solape entre imágenes y la extensión del área de estudio.

Posteriormente, las imágenes capturadas son procesadas mediante algoritmos de correlación fotogramétrica que permiten identificar puntos homólogos y reconstruir la geometría tridimensional del terreno (Luhmann et al., 2014). Este proceso garantiza la obtención de información georreferenciada con un nivel de precisión adecuado para estudios topográficos y de ingeniería.

4.2.1.4 Ventajas de la fotogrametría con drones frente a métodos tradicionales

Entre las principales ventajas de la fotogrametría con drones se encuentra la reducción del tiempo de levantamiento en campo, la disminución de costos operativos y la mejora en la seguridad del personal técnico, al evitar la exposición directa a zonas peligrosas o de difícil acceso.

Asimismo, la alta resolución espacial de los datos obtenidos permite un análisis detallado del terreno, facilitando la identificación de zonas críticas, procesos de erosión y cambios en el cauce de los ríos, aspectos clave para la planificación de intervenciones hidráulicas y obras de protección (Aber, Marzolff & Ries, 2019).

4.2.1.5 Limitaciones de la fotogrametría con drones

A pesar de sus beneficios, la fotogrametría con drones presenta ciertas limitaciones. Las condiciones meteorológicas adversas, como lluvias o vientos fuertes, pueden afectar la calidad de las imágenes y la estabilidad del vuelo. Además, el procesamiento de grandes volúmenes de datos requiere equipos informáticos adecuados y personal capacitado.

Otro aspecto a considerar es la normativa vigente para la operación de drones, que puede restringir su uso en áreas urbanas o cercanas a infraestructura sensible, condicionando la planificación de los levantamientos (Eisenbeiss, 2011).

4.2.1.6 Aplicación de la fotogrametría con drones en la intervención de ríos

En la ingeniería civil y la gestión de riesgos, la fotogrametría con drones se ha consolidado como una herramienta eficaz para el estudio de ríos y quebradas. Permite analizar la geometría del cauce, evaluar procesos de erosión, identificar zonas de acumulación o arrastre de material y apoyar la toma de decisiones en proyectos de intervención y rehabilitación.

En entornos urbanos como la ciudad de La Paz, donde los ríos atraviesan zonas con pendientes pronunciadas y accesos limitados, esta tecnología facilita la obtención de información actualizada y precisa, contribuyendo a una mejor planificación de medidas preventivas y correctivas.

4.2.2 MODELAMIENTO DIGITAL CON FOTOGRAMETRIA

4.2.2.1 Integración de la fotogrametría con drones en el modelamiento digital

En los últimos años, el uso de imágenes obtenidas mediante fotogrametría con drones no solo ha mejorado el levantamiento topográfico, sino que también ha permitido su integración directa en plataformas de modelamiento y diseño de infraestructura como Autodesk InfraWorks y Civil 3D, facilitando la representación digital del terreno de manera más realista y cercana a las condiciones existentes. A partir de productos como ortomosaicos, modelos digitales de elevación y nubes de puntos, es posible generar modelos tridimensionales que sirven como base para el análisis y la planificación de proyectos de ingeniería civil (Autodesk, 2023a).

4.2.2.2 Modelamiento preliminar del terreno en InfraWorks

El software InfraWorks permite trabajar de manera preliminar con la información fotogramétrica, integrando datos del terreno en un entorno visual que facilita la comprensión del área de estudio. La importación de superficies y ortomosaicos generados por drones posibilita identificar pendientes, cauces, zonas erosionadas y áreas críticas, lo que resulta especialmente útil en proyectos vinculados a ríos, donde la visualización del entorno juega un papel clave en la toma de decisiones iniciales. Esta etapa permite evaluar alternativas de intervención de forma rápida, reduciendo tiempos y mejorando la interpretación espacial del terreno (Autodesk, 2023b).

4.2.2.3 Modelamiento detallado del terreno en Civil 3D

Por su parte, Civil 3D permite un nivel de detalle mayor en el modelamiento, ya que a partir de la información fotogramétrica es posible generar superficies TIN, perfiles longitudinales y secciones transversales del terreno natural. La utilización de nubes de puntos obtenidas mediante drones facilita la creación de modelos precisos del cauce y sus márgenes, permitiendo analizar con mayor detalle la geometría del terreno y apoyar el diseño de obras de intervención. Esta capacidad resulta fundamental cuando se trabaja en zonas con pendientes pronunciadas o accesos limitados, donde el levantamiento tradicional presenta mayores dificultades (Banerjee, 2020).

4.2.2.4 Uso combinado de InfraWorks y Civil 3D

El uso combinado de InfraWorks y Civil 3D a partir de datos fotogramétricos permite optimizar el flujo de trabajo, ya que InfraWorks aporta una visión general y conceptual del proyecto, mientras que Civil 3D permite desarrollar el modelamiento técnico con mayor precisión. Esta integración mejora la coherencia entre el terreno real y el modelo digital, reduce la necesidad de trabajos adicionales en campo y contribuye a una planificación más eficiente de las intervenciones (Eastman et al., 2018).

4.2.2.5 Aplicación del modelamiento fotogramétrico en la intervención de ríos

En el caso de la intervención de ríos, el modelamiento del terreno a partir de fotogrametría en InfraWorks y Civil 3D permite analizar la forma del cauce, evaluar pendientes y zonas susceptibles a erosión, y apoyar la toma de decisiones técnicas de manera oportuna. En contextos urbanos como el de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macro distrito sur de la ciudad de La Paz, esta metodología se presenta como una herramienta adecuada para obtener información precisa, mejorar la planificación de intervenciones y reducir riesgos asociados al trabajo en campo.

4.2.3 INTEGRACIÓN DEL BIM EN EL MODELAMIENTO DIGITAL PARA LA TOMA DE DECISIONES CONSTRUCTIVAS

4.2.3.1 Concepto de BIM aplicado a la ingeniería civil

El Building Information Modeling (BIM) es una metodología que permite la gestión integral de la información de un proyecto de ingeniería a lo largo de su ciclo de vida, mediante modelos digitales que integran geometría, datos técnicos y relaciones espaciales. En ingeniería civil, el enfoque BIM se aplica para organizar, analizar y visualizar información del terreno, las estructuras y las intervenciones previstas, facilitando una comprensión más precisa del entorno de trabajo.

4.2.3.2 Integración del modelamiento digital del terreno en entornos BIM

Dentro del enfoque BIM, el modelamiento digital del terreno constituye la base sobre la cual se desarrollan los modelos de infraestructura. Estos modelos del terreno, generados a partir de información topográfica y fotogramétrica, se integran en plataformas BIM para representar de forma fiel la superficie existente. Esta integración permite que el terreno no sea considerado solo como un elemento de referencia, sino como un componente activo del modelo, con influencia directa en las decisiones de diseño y construcción.

4.2.3.3 BIM como soporte para la toma de decisiones constructivas

La integración BIM permite centralizar la información técnica del proyecto en un único entorno digital, lo que facilita la toma de decisiones constructivas fundamentadas. Al contar con modelos digitales coherentes y actualizados, los responsables del proyecto pueden evaluar alternativas constructivas, identificar interferencias y comprender el impacto de las decisiones sobre el terreno y las estructuras proyectadas. Desde el punto de vista teórico, BIM actúa como una herramienta de apoyo que mejora la claridad y la consistencia en la planificación constructiva.

4.2.3.4 Modelos BIM y planificación de acciones constructivas rápidas

En contextos donde se requieren acciones constructivas rápidas, la metodología BIM permite trabajar con modelos digitales que pueden ser actualizados y analizados de manera inmediata.

La integración del terreno, las obras proyectadas y los elementos existentes en un entorno BIM facilita la evaluación rápida de escenarios de intervención. Este enfoque contribuye a una planificación más eficiente, reduciendo tiempos de análisis y mejorando la capacidad de respuesta ante situaciones que demandan decisiones oportunas.

4.2.3.5 Integración BIM en intervenciones fluviales

En proyectos de intervención fluvial, la integración BIM permite representar el cauce del río, las márgenes y las estructuras asociadas dentro de un mismo modelo digital. Esta representación integrada facilita la comprensión espacial del sistema fluvial y su relación con las obras de intervención. Desde una perspectiva teórica, el uso de BIM en este tipo de proyectos permite estructurar la información del entorno natural y de las soluciones constructivas de manera ordenada, apoyando la definición de criterios técnicos para la intervención.

4.2.3.6 Reducción de la incertidumbre mediante la metodología BIM

La metodología BIM contribuye a reducir la incertidumbre técnica al integrar información geométrica, topográfica y constructiva en un solo modelo. Esta integración permite minimizar discrepancias entre el diseño y las condiciones reales del terreno, fortaleciendo la coherencia del proyecto. En el marco teórico, BIM se entiende como una metodología que mejora la confiabilidad de la información utilizada para la toma de decisiones constructivas.

4.3 MARCO NORMATIVO

El empleo de drones para fines técnicos y profesionales en Bolivia se encuentra regulado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la cual establece requisitos para la operación de aeronaves no tripuladas, priorizando la seguridad aérea, la protección de personas y bienes, y el uso responsable del espacio aéreo.

Estas regulaciones contemplan aspectos como:

- Autorización para vuelos en zonas urbanas y periurbanas.
- Alturas máximas de operación.
- Responsabilidad del operador.

- Restricciones en áreas sensibles o de riesgo.

Dentro de este marco, la fotogrametría con drones se reconoce como una herramienta válida para la obtención de información topográfica, siempre que se cumplan los lineamientos de seguridad y operación establecidos por la autoridad competente.

4.4 MARCO PRACTICO

4.4.1 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

4.4.1.1 Descripción general del trabajo práctico

El presente marco práctico describe el proceso aplicado para la obtención, procesamiento e integración de información topográfica mediante fotogrametría con drones y su gestión bajo un enfoque BIM, con el fin de apoyar la intervención de los ríos Apaña y Trankajawira, ubicados en el macrodistrito sur de la ciudad de La Paz.

El trabajo desarrollado comprende actividades de campo, procesamiento de datos, generación de modelos digitales y organización de la información técnica, permitiendo representar de manera integral las condiciones geomorfológicas del área de estudio y apoyar la planificación de intervenciones.

4.4.1.2 Área de estudio

El área de estudio corresponde a los tramos de los ríos Apaña y Trankajawira, localizados en el macrodistrito sur de la ciudad de La Paz. Estos ríos se caracterizan por presentar pendientes pronunciadas, cauces definidos y sectores vulnerables a procesos erosivos.

Figura 1: Sectores de intervención Rio Apaña



Fuente: Imagen satelital, GOOGLE EARTH PRO, 2025

Figura 2: Sector de intervención Rio Trankajawira



Fuente: Imagen satelital, GOOGLE EARTH PRO, 2025

4.4.1.3 Características físicas del área

La zona presenta una topografía irregular, con pendientes marcadas y suelos de baja estabilidad, acompañados de escasa cobertura vegetal. Estas condiciones favorecen la aplicación de fotogrametría con drones, permitiendo una adecuada visibilidad del terreno y del cauce del río.

Figura 3: Rio Trankajawira



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Sector 2 Rio Apaña - CODAVISA



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Sector 1 Rio Apaña – OVEJUYO



Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Planificación y ejecución del levantamiento fotogramétrico

Previo al trabajo de campo, se realizó la planificación del levantamiento fotogramétrico, considerando el área a cubrir, las condiciones del terreno, la seguridad de la operación y las restricciones del entorno urbano. Se definió un ancho de levantamiento de 50 m paralelos a cada lado del eje del río.

El levantamiento fotogramétrico se realizó mediante vuelos controlados de drones, capturando imágenes aéreas de alta resolución que permitieron cubrir de manera continua el cauce del río y sus áreas adyacentes. Este método redujo la necesidad de acceso directo a zonas de riesgo, mejorando la seguridad del personal los planes de vuelo fueron realizados mediante la aplicación para celular MAP PILOT PRO y realizados con el dron PHANTOM 3 en la versión PRO, de la marca DJI

Figura 6: Dron PHANTOM 3 PRO DJI



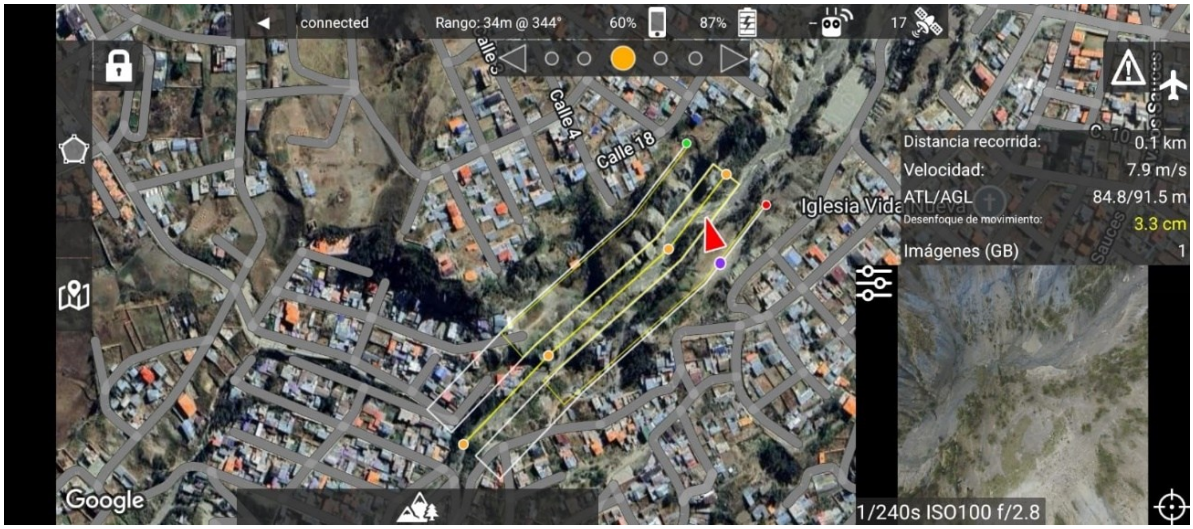
Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Ejecución del plan de vuelo para el Rio Apaña sector 1 - OVEJUYO



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Ejecución del plan de vuelo para el Rio Trankajawira



Fuente: Elaboración propia

4.4.1.5 Generación de productos fotogramétricos

A partir de las imágenes obtenidas, se generaron productos fotogramétricos como ortomosaicos y modelos digitales del terreno, los cuales permiten una representación precisa del terreno del área de estudio construyendo el entorno tridimensional con el Software AGISOFT

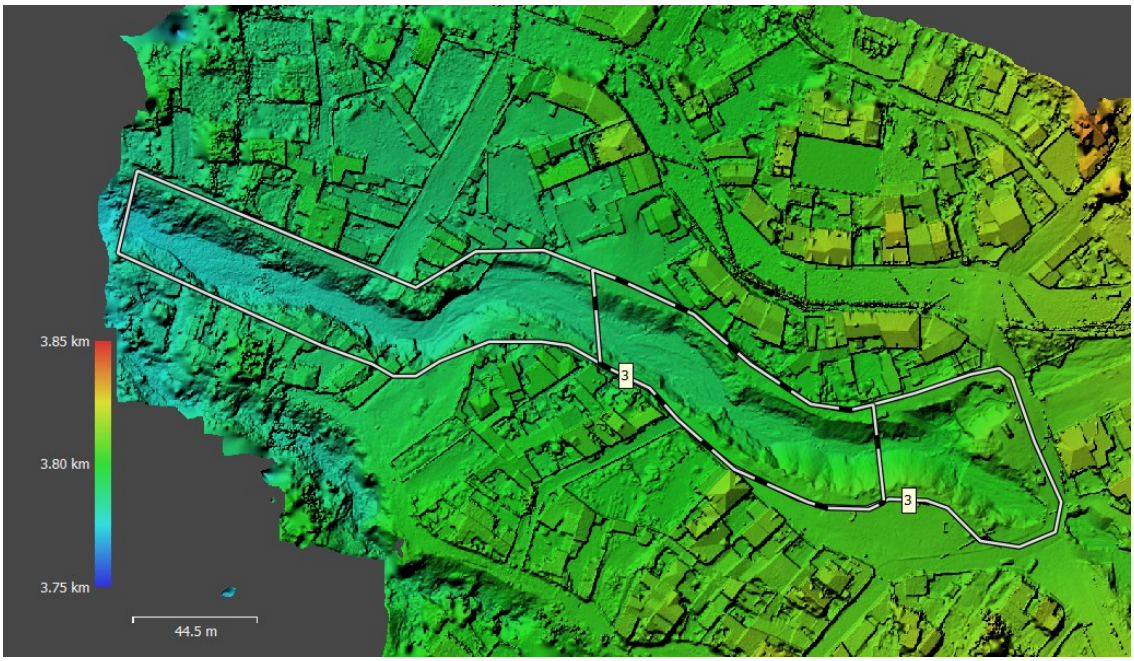
METASHAPE PRO, como podemos ver en la siguiente imagen, generando el modelo digital de elevación, orto mosaico, nube de puntos densa.

Figura 9: Nube de puntos densa Rio Apaña



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Modelo digital de elevación Rio Apaña



Fuente: Elaboración propia

El modelo digital de elevación es uno de los productos más importantes para crear la superficie mediante curvas de nivel en la cual se emplazarán las barreras transversales.

Figura 11: Ortomosaico Rio Apaña



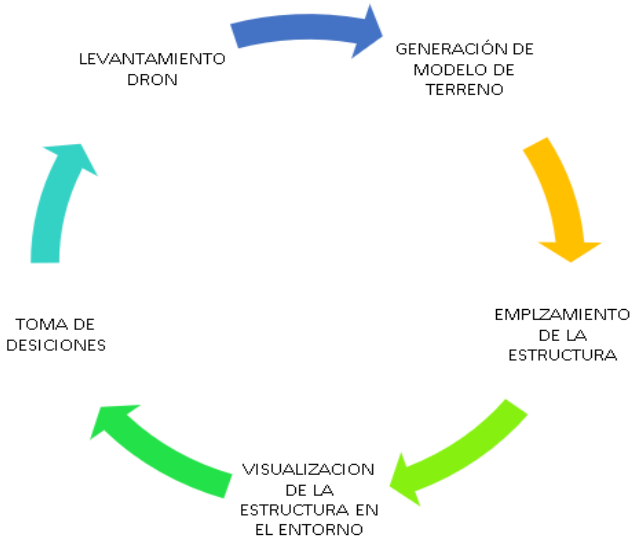
Fuente: Elaboración propia

4.4.2 INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN BAJO ENFOQUE BIM

4.4.2.1 Organización de la información

La información fotogramétrica fue organizada y estructurada bajo un enfoque BIM, permitiendo integrar los datos topográficos, geométricos y espaciales en un modelo digital coherente, facilitando su análisis y actualización.

Figura 12: Ciclo de información

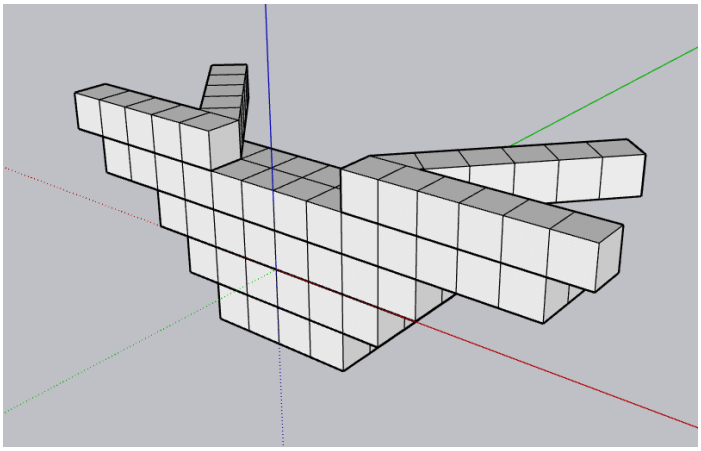


Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Modelamiento conceptual de la intervención

Sobre la base del modelo generado, se desarrolló un modelamiento conceptual que permite representar los elementos de intervención en el cauce los cuales son las barreras transversales de gavión propuestas, sirviendo como apoyo para el análisis técnico y la planificación.

Figura 13: Barrera transversal de gavión para el Rio Apaña

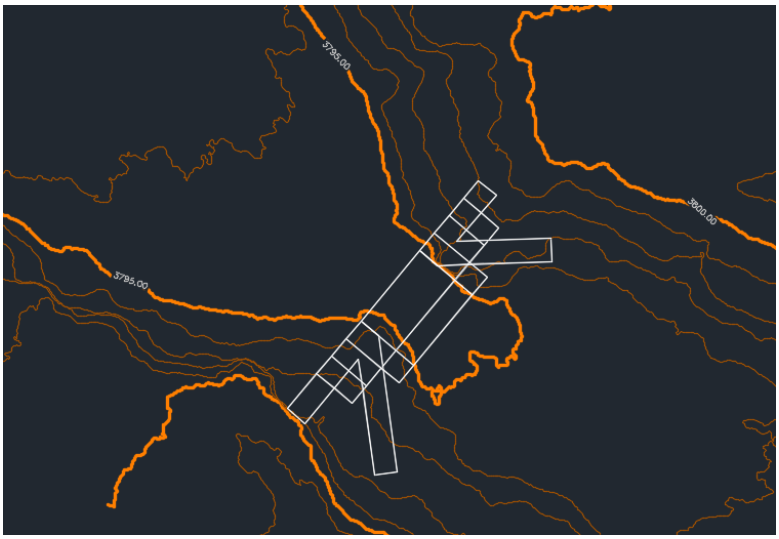


Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3 Elaboración de documentación técnica

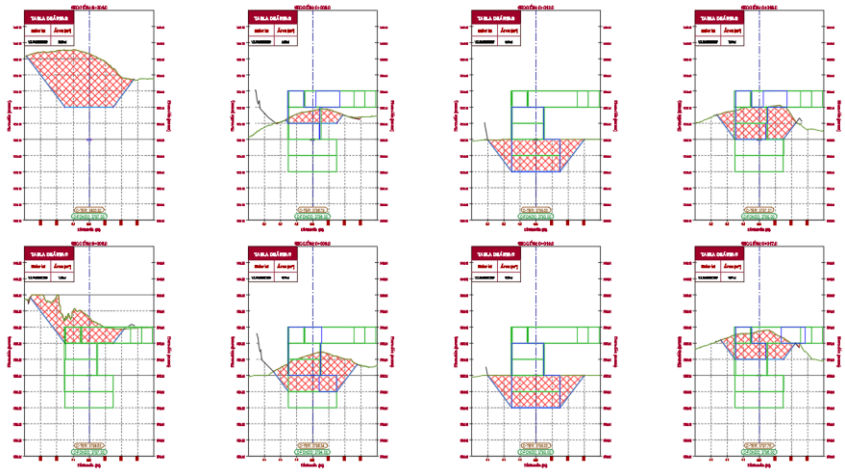
A partir del modelo integrado, se elaboraron planos base que representan la topografía, el cauce del río sus principales características y las estructuras emplazadas en el software civil 3D para realizar los planos, cuantificación de volúmenes y renders de la intervención.

Figura 14: Emplazamiento del muro CIVIL 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Emplazamiento del muro CIVIL 3D



Fuente: Elaboración propia

Estos planos están detallados en el Anexo A “Planos generados”

4.4.3 UTILIDAD DEL MODELO PARA LA INTERVENCIÓN

El modelo desarrollado permite visualizar el área de estudio de manera integral, facilitando la comprensión del entorno y apoyando la toma de decisiones relacionadas con la intervención de los ríos Apaña y Trankajawira en el programa INFRAWORKS.

Figura 9: Emplazamiento del muro INFRAWORKS



Fuente: Elaboración propia

El modelo tridimensional, desarrollado a partir de la información obtenida mediante fotogrametría con drones e integrada dentro de un entorno BIM, permitió no solo una mejor visualización de la barrera transversal proyectada en el río Apaña, sino también llevar toda la información técnica hasta la etapa de ejecución. Al trabajar bajo un enfoque BIM, los datos topográficos, geométricos y de ubicación se mantuvieron vinculados en un solo modelo, asegurando coherencia entre el levantamiento, el diseño y la intervención en campo.

La información empleada en el modelamiento corresponde a datos reales y actualizados, correctamente georreferenciados, lo que permitió definir con precisión el emplazamiento exacto de la barrera transversal dentro del cauce del río. Esta integración de datos dentro del modelo BIM facilitó que la ubicación, dimensiones y orientación de la estructura respondan directamente a las condiciones reales del terreno, reduciendo errores de interpretación y minimizando ajustes durante la ejecución.

Asimismo, el uso de BIM permitió que el modelo tridimensional no se limite a una representación visual, sino que funcione como una herramienta de apoyo para la planificación constructiva. A partir del modelo fue posible analizar previamente la interacción de la barrera con el cauce, las pendientes y el entorno inmediato, anticipando interferencias y permitiendo ajustes oportunos antes de la construcción. Esto se tradujo en una ejecución más ordenada, segura y alineada con la información levantada en campo.

En este sentido, la integración de la fotogrametría con drones dentro de un entorno BIM permitió que toda la información generada desde el levantamiento topográfico fluya de manera continua hasta la etapa de ejecución, fortaleciendo la toma de decisiones técnicas y respaldando la intervención realizada en el río Apaña con información precisa, confiable y coherente con la realidad del sitio.

En este contexto, el uso de INFRAWORKS permitió integrar el modelo tridimensional dentro de un entorno geoespacial, facilitando la visualización del proyecto en relación con el cauce del río y su entorno inmediato. Esta herramienta contribuyó a evaluar la intervención de forma integral, apoyando la planificación de la obra y permitiendo una mejor comprensión del impacto y viabilidad de la barrera transversal antes de su ejecución.

A continuación, se muestra imágenes de la construcción de la barrera transversal.

Figura 16: excavación Rio Apaña



Fuente: Elaboración propia

Figura 17: construcción barrera transversal Rio Apaña



Fuente: Elaboración propia

4.4.4 EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN CONJUNTA DE BIM Y FOTOGRAMETRÍA CON MÉTODOS TRADICIONALES

La aplicación conjunta de la fotogrametría con drones y la metodología BIM representa una mejora sustancial frente a los métodos tradicionales de levantamiento topográfico, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas y tramos vulnerables a erosión, como es el caso de los ríos Apaña y Trankajawira. A diferencia de los levantamientos convencionales, que requieren mayor tiempo en campo y exposición del personal a condiciones de riesgo, la fotogrametría permitió obtener información detallada del terreno en menor tiempo y con mayor seguridad.

La integración de estos datos dentro de un entorno BIM facilitó la organización, interpretación y uso de la información a lo largo de todo el proceso, desde el levantamiento hasta la planificación de la intervención. El modelo tridimensional generado no solo permitió visualizar con mayor claridad las condiciones reales del cauce y su entorno, sino que también sirvió como base para analizar alternativas de intervención, realizar ajustes geométricos y respaldar decisiones técnicas con información confiable y actualizada.

En comparación con los métodos tradicionales, donde la información suele presentarse de forma fragmentada en planos bidimensionales, el enfoque BIM permitió concentrar toda la información relevante en un solo modelo, mejorando la comprensión del proyecto y reduciendo errores durante la etapa de planificación. Esta ventaja resulta clave en intervenciones rápidas, donde la toma de decisiones oportunas depende de la disponibilidad y claridad de los datos.

En este contexto, la combinación de BIM y fotogrametría con drones se consolida como una herramienta eficiente para el levantamiento topográfico y la gestión de información en proyectos de intervención de ríos, aportando mayor precisión, reducción de tiempos y un mejor soporte técnico frente a los métodos tradicionales.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación conjunta de la fotogrametría con drones y la metodología BIM permitió obtener información topográfica precisa, actualizada y confiable de los ríos Apaña y Trankajawira, superando varias limitaciones propias de los métodos tradicionales. El uso de drones facilitó el levantamiento en zonas de difícil acceso, reduciendo tiempos de trabajo y minimizando la exposición del personal a condiciones de riesgo.

La integración de esta información dentro de un entorno BIM permitió que los datos obtenidos no se limiten únicamente a la etapa de levantamiento, sino que acompañen todo el proceso, desde el análisis del terreno hasta la planificación y ejecución de las intervenciones proyectadas. El modelamiento tridimensional facilitó la comprensión del comportamiento del cauce, las pendientes y la relación de las estructuras con el entorno real.

Asimismo, el uso de herramientas de modelamiento permitió mejorar la toma de decisiones constructivas, ya que la información georreferenciada posibilitó definir emplazamientos exactos, realizar ajustes previos y reducir incertidumbres durante la ejecución. De esta manera, BIM se consolidó como un eje integrador que articula la información fotogramétrica con el diseño y la planificación de obras hidráulicas.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar la fotogrametría con drones como una herramienta base en futuros levantamientos topográficos en zonas con condiciones similares, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas y accesos limitados. Su aplicación permite optimizar tiempos, mejorar la calidad de la información y fortalecer la seguridad en campo.

Asimismo, se sugiere promover el uso de la metodología BIM como un sistema integral de gestión de la información, asegurando que los datos obtenidos en campo sean aprovechados en todas las etapas del proyecto, desde el análisis inicial hasta la ejecución y control de las intervenciones.

Finalmente, se recomienda fortalecer la capacitación técnica en el uso de tecnologías geoespaciales y herramientas BIM, con el fin de maximizar su potencial y garantizar una correcta interpretación y aplicación de la información generada

6 APORTE CIENTÍFICO Y SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 APORTE CIENTÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente monografía aporta al campo de la ingeniería civil y la topografía al evidenciar la viabilidad de integrar la fotogrametría con drones dentro de un enfoque BIM aplicado a la intervención de ríos. El estudio demuestra cómo esta integración permite mejorar la calidad del levantamiento topográfico y su aprovechamiento en procesos de análisis, modelamiento y planificación, contribuyendo al desarrollo de metodologías más eficientes y acordes a las condiciones reales del terreno.

Además, el trabajo genera un precedente para futuras investigaciones relacionadas con la aplicación de BIM y tecnologías geoespaciales en proyectos hidráulicos y de gestión de riesgos, especialmente en contextos urbanos con características topográficas complejas.

6.2 APORTE SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

Desde el punto de vista social, la investigación contribuye a mejorar la planificación de intervenciones en ríos urbanos, lo que puede traducirse en una reducción de riesgos asociados a procesos de erosión y arrastre de material, problemáticas frecuentes en la ciudad de La Paz. El uso de información precisa y actualizada permite tomar decisiones más oportunas, favoreciendo la prevención antes que la corrección.

Asimismo, la aplicación de estas tecnologías promueve prácticas más seguras para el personal técnico y optimiza el uso de recursos públicos, al reducir retrabajos y mejorar la eficiencia en la ejecución de obras, generando un impacto positivo tanto en la gestión institucional como en la seguridad de la población.

7 BIBLIOGRAFÍA

Aber, J. S., Marzolff, I., & Ries, J. B. (2019). Small-format aerial photography and UAS imagery: Principles, techniques and geospatial applications. Elsevier.

Autodesk. (2023a). InfraWorks Help: Importing terrain and surface data. Autodesk. https://help.autodesk.com/view/INFRAWORKS/2023/ENU/

Autodesk. (2023b). InfraWorks Fundamentals for Infrastructure Design. Autodesk.

Banerjee, S. (2020). Mastering AutoCAD Civil 3D. Packt Publishing.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97. *https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013*

De La Cruz Callupe, F., & Herencia Prieto, J. G. (2022). La metodología BIM con fotogrametría de drones y los costos directos de construcción en la factibilidad de una habilitación urbana tipo 5 en Chancay – Huaral [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma].

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM handbook: A guide to building information modeling (3rd ed.). Wiley.

Eisenbeiss, H. (2011). UAV photogrammetry (Doctoral dissertation). ETH Zurich. https://doi.org/10.3929/ethz-a-006368566

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2014). Close-range photogrammetry and 3D imaging. De Gruyter.

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2012). Elementary surveying: An introduction to geomatics (13th ed.). Pearson.

.