



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**Plan de proyecto de Investigación**

**“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN  
TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA  
PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI,  
MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Carvajal Núñez Cristopher Jesús

**Tutor:**

Velastegui Tapia Vincent Benjamin

**LATACUNGA – ECUADOR**  
**Febrero 2025**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Carvajal Núñez Christopher Jesús, con cédula de ciudadanía No.0202142360, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”**, siendo el Ingeniero Mg. Vincent Benjamin Velastegui Tapia, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 14 de Febrero del 2025



Cristopher Jesús Carvajal Núñez

C.C: 0202142360

**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CARVAJAL NÚÑEZ CRISTOPHER JESÚS** identificado con cédula de ciudadanía **0202142360** de estado civil solterR, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** –**EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2020 – Marzo 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de Febrero del 2024

Tutor: Ing. Vincent Benjamin Velastegui Tapia, Mg.

Tema: “**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.



e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

f) **CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de Febrero del 2025.



Cristopher Jesús Carvajal Núñez

**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”**, de Carvajal Núñez Christopher Jesús, de la carrera de Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 14 de Febrero del 2025



Ing. Vincent Benjamin Velastegui Tapia, Mg.

CC: 0502547649

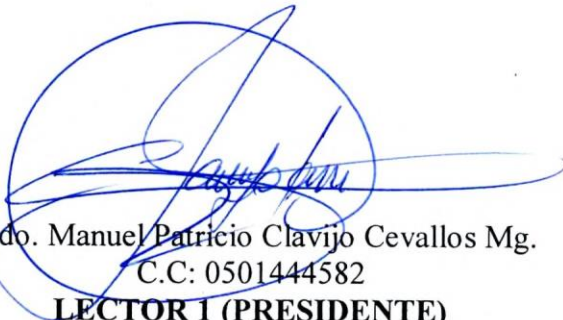
**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN


En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Carvajal Núñez Cristopher Jesús, con el título de Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.


Latacunga, 14 de Febrero del 2025



Lcdo. Manuel Patricio Clavijo Cevallos Mg.  
C.C: 0501444582  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Lcda. Fonseca Largo Kalina Marcela Mg.  
C.C: 1723534457  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Cajas Cayo Isaac Eduardo Mg.  
C.C: 0502205164  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Al borde de este logro significativo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por permitirme alcanzar este hito en mi vida: la culminación de mi carrera académica. También, deseo extender mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la invaluable oportunidad de formarme como profesional, siendo un faro de conocimiento y crecimiento en mi trayectoria académica y profesional.*

*Es crucial agradecer especialmente a mi amiga Sofía por su amistad incondicional en este largo camino, de igual manera a todas las personas que, con su valiosa orientación, paciencia y sabiduría, han sido un soporte fundamental a lo largo de este proceso. Sus valiosas enseñanzas y consejos han sido pilares esenciales para lograr esta meta.*

*Asimismo, quiero expresar mi más sincera gratitud a los distinguidos ingenieros de la carrera, con un especial reconocimiento al Ingeniero Benjamin Velastegui, cuyo compromiso y dedicación han dejado una huella imborrable en mi formación profesional. Cada uno de ellos, desde su experiencia y perspectiva, ha enriquecido mi camino académico de manera invaluable. Aprecio profundamente el conocimiento que han compartido y la inspiración que me han brindado para esforzarme al máximo en cada etapa de este recorrido.*

***Cristopher Jesús Carvajal Núñez***

## **DEDICATORÍA**

*A mis padres, **Geovana** y **Rodrigo**, les dedico esta tesis con profundo cariño y gratitud. Su inquebrantable apoyo, sabiduría y amor incondicional han sido mi mayor fortaleza a lo largo de este arduo trayecto académico. Cada logro alcanzado lleva impreso su inmenso sacrificio y dedicación, y es en ustedes donde encuentro mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante.*

*A mis abuelos, **Alberto** y **Fanny**, les dedico esta tesis con reverencia y amor. Su sabiduría, paciencia y amor incondicional han sido el faro que ha iluminado mi camino en cada paso de esta travesía académica. A través de su ejemplo de perseverancia y cariño, he aprendido el verdadero valor del esfuerzo y la dedicación. En cada página de este trabajo reposa una parte de su legado, y es con profundo afecto que les dedico este logro.*

*A mi primo **Damián**, un hermano para mí, le dedico un lugar especial en esta tesis. Con tu compañía, complicidad y apoyo incondicional, has sido mi roca en momentos de dificultad y alegría. Tu presencia ha enriquecido mi vida de una manera única, y es con profundo cariño que te incluyo en este logro académico.*

*A mi compañero de vida, **Joel**, va dirigida una parte de mi seriedad y dedicación en esta obra. Tu presencia constante e incondicional y tu aliento inquebrantable, han sido la fuerza impulsora que me ha sostenido en los momentos de duda y fatiga. En ti he encontrado un apoyo y un cómplice en cada desafío, a ti te dedico con profundo afecto una parte de este logro.*

*Finalmente, a todos aquellos que han estado a mi lado, brindándome su apoyo incondicional y alentándome en cada paso de este camino, les dedico este logro con sincero agradecimiento.*

**Cristopher Jesús Carvajal Núñez**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”**

**Autor:**

Carvajal Núñez Cristopher Jesús

**RESUMEN**

El estudio analizó las características hidrográficas de un transecto de la quebrada Compadre Huayco, ubicada en la parroquia San Miguel, mediante la aplicación de fotogrametría con dron. La investigación tiene como objetivo evaluar la morfología del cauce y los factores ambientales que influyen en su dinámica hídrica, con el fin de mejorar el conocimiento sobre su transformación y posibles riesgos asociados. La metodología utilizada combinó un enfoque descriptivo y exploratorio. Se realizó una revisión bibliográfica para sustentar teóricamente el estudio y se empleó un dron para la captura de imágenes de alta resolución. A partir de estas imágenes, se generaron modelos digitales de elevación y ortomosaicos georreferenciados, respectivamente los cuales fueron procesados en softwares, Arcgis, Google Earth, Pix4D Mapper, Pix4D Capture y Hec-geoRas de geoprocesamiento. Además, se descargaron modelos digitales de elevación de la plataforma Alaska Satellite Facility con datos del año 2011, lo que permitió comparar la evolución del cauce en un periodo de 13 años. Los parámetros analizados incluyeron ancho, longitud, erosión, tipo de suelo, pendiente y susceptibilidad a inundaciones. Los resultados evidenciaron una variabilidad morfológica significativa en la quebrada, el ancho promedio del cauce fue de 0,016 km en imágenes satelitales y 0,010 km en imágenes del Vehículo aéreo no tripulado (UAV), indicando una mayor precisión mediante fotogrametría. La longitud analizada varió de 1,79 km en imágenes satelitales a 2,08 km en UAV, destacando la capacidad de detectar contornos y límites con mayor exactitud, en relación a la pendiente con la imagen aérea se logró mejorar la precisión y la detección de zonas vulnerables, la erosión se identificó puntos críticos en la zona de estudios el cual requiere medidas de conservación. La susceptibilidad a inundaciones se detectó zonas propensas a inundaciones solo mediante UAV, ya que las imágenes satelitales no disponen datos necesarios. La comparación entre imágenes satelitales y UAV demostró que la fotogrametría es una herramienta eficaz para el monitoreo y evaluación de sistemas hidrográficos. Su precisión en la captura y análisis de datos permite mejorar la planificación ambiental y la gestión de riesgos en zonas vulnerables, proporcionando información clave para el manejo de recursos hídricos.

**Palabras Clave:** ArcGis, Análisis Multitemporal, Geoprocesamiento, Morfología, Vehículo Aéreo no tripulado

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**TITLE: “ANALYSIS OF THE HYDROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF A  
TRANSECT OF THE COMPADRE HUAYCO QUEBRADA, LOCATED IN THE SAN  
MIGUEL PARISH, SALCEDO CANTON, COTOPAXI PROVINCE, USING  
PHOTOGRAMMETRY”**

**Author:** Carvajal Núñez  
Cristopher Jesús

**ABSTRACT**

The study analyzed the hydrographic characteristics of a transect of the Compadre Huayco stream, located in the San Miguel parish, through drone-based photogrammetry. The research aimed to evaluate the channel morphology and the environmental factors influencing its hydrodynamic behavior to improve understanding of its transformation and associated risks. The methodology employed combined a descriptive and exploratory approach. A bibliographic review was conducted to provide a theoretical foundation for the study, and a drone was used to capture high-resolution images. Based on these images, digital elevation models and georeferenced Ortho mosaics were generated, which were subsequently processed using geoprocessing software such as ArcGIS, Google Earth, Pix4D Mapper, Pix4D Capture, and HEC-GeoRAS. Additionally, digital elevation models from the Alaska Satellite Facility platform, dated 2011, were downloaded, enabling a comparison of the channel's evolution over 13 years. The parameters analyzed included channel width, length, erosion, soil type, slope, and flood susceptibility. The results revealed significant morphological variability in the stream. The average channel width was 0.016 km in satellite images and 0.010 km in unmanned aerial vehicle (UAV) images, indicating greater precision through photogrammetry. The analyzed channel length ranged from 1.79 km in satellite images to 2.08 km in UAV images, underscoring the ability to detect contours and boundaries with higher accuracy. Regarding slope, aerial imagery improved precision and the identification of vulnerable zones. Critical erosion points were identified in the study area, highlighting the need for conservation measures. Flood susceptibility zones were detected exclusively through UAV imagery, as satellite images lacked the necessary data. The comparison between satellite and UAV imagery demonstrated that photogrammetry is an effective tool for monitoring and evaluating hydrographic systems. Its precision in data capture and analysis enhances environmental planning and risk management in vulnerable areas, providing key information for water resource management.

**Keywords:** ArcGis, Multitemporal Analysis, Geoprocessing, Morphology, Unmanned Aerial Vehicle

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORÍA .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN. ....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
6. OBJETIVOS .....	5
6.1 OBJETIVO .....	5
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5

GENERAL

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

PLANTEADOS ..... 6

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....

7

8.1 Recurso ..... Hídrico  
..... 7

8.2 Recursos Hídricos del Ecuador .....  
9

8.3 Ciclo hidrológico .....  
10

8.4 Determinación de variables hidrológicas .....  
11

8.4.1 Área ..... (A).  
..... 11

8.4.2 Perímetro ..... (P).  
..... 11

8.4.3 Longitud de la cuenca ..... (L)  
..... 11

8.4.4 Ancho de la cuenca ..... (B).  
..... 11

8.4.5 Pendiente media de la cuenca.  
..... 11

8.4.6 Análisis ..... multitemporal.  
..... 12

8.4.7 Identificación de zonas con riesgo a  
inundaciones..... 12

8.4.8 Factores asociados con la forma  
..... 13

8.4.9	Factores asociados al relieve	13
8.4.10	Parámetros de bifurcación	14
8.5	Drones o vehículos aéreos no tripulados	14
8.5.1	Tipos de UAV	15
8.5.2	Clasificación de los UAV de acuerdo al uso y aplicación	16
8.5.3	Componentes de los UAV	16
8.5.3.1	Ventajas y desventajas del Dron	17
8.5.4	Plan de vuelo	18
8.5.4.1	Cálculos de factores de vuelo	18
8.5.4.2	Precisiones obtenidas	18
8.6	Fotogrametría	19
8.6.1	Tipos de imágenes utilizadas en fotogrametría	20
8.6.2	Aplicación de la fotogrametría	21
8.7	MARCO LEGAL	22
8.7.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008	22

8.7.2	CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (2017)	22
8.7.3	NORMATIVA TÉCNICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM)	22
8.7.4	ORDENANZAS MUNICIPALES DEL CANTÓN SALCEDO	23
9.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS	23
10.	ÁREA DE ESTUDIO	23
11.	METODOLOGÍA	24
11.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	24
11.2	TIPOS DE INVESTIGACIÓN	25
11.2.1	TIPO CUALITATIVA.	25
11.2.3	TIPO DESCRIPTIVA	25
11.3	MÉTODOS	25
11.3.1	Método descriptivo	25
11.3.2	Método exploratorio	25
11.3.3	Cálculo de factores de vuelo	25
11.3.4	Cálculo de altura de vuelo promedio	26

11.3.5	Cálculo del área de los polígonos	27
11.3.6	Levantamiento fotométrico	27
11.3.7	Optimización del patrón de vuelo	27
11.3.8	Colocación de puntos de control	28
11.3.9	Misiones de vuelo	28
11.3.10	Parámetros de Forma de la Microcuencas	28
11.3.10.1	Coeficiente de Compacidad de Gravelius:	28
11.3.10.2	Factor de forma	29
11.3.10.3	Factor de elongación:	29
11.3.10.4	Índice de alargamiento	29
11.3.11	Obtención de variables hidrológicas mediante Imágenes Satelitales	29
11.3.11.1	Perímetro	29
11.3.11.2	Pendiente	29
11.3.11.3	Volumen del cauce	30
11.3.12	Tratamiento de datos	30
11.4	TÉCNICAS	30

11.4.1	Fotogrametría con drones	30
11.4.2	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	30
11.4.3	Observación de campo	30
11.4.4	Análisis hidrológico y geomorfológico	30
11.5	INSTRUMENTOS	31
12.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	31
12.1	Ortofotos y DSM:	31
12.1.2	Cálculo del área de los polígonos	32
12.1.3	Puntos de control	34
12.1.4	Tratamiento de Datos	35
12.2	MORFOLOGIA DE LA MICROCUENCA	36
12.2.1	Coefficiente de Compacidad de Gravelius	36
12.2.2	Factor de forma	36
12.2.3	Factor de elongación	36
12.2.4	Índice de Alargamiento	37
12.2.5	Perímetro, Longitud y volumen	37
12.2.6	Pendiente	37
12.2.7	Volumen del cauce	40

12.2.8	Ancho y longitud del cauce	41
12.2.9	Erosión	41
12.2.10	Susceptibilidad a inundaciones	43
12.2.11	Tipo de suelo	44
12.3	TRATAMIENTO DE DATOS	46
12.3.1	ANÁLISIS DEL ÁREA DE INTERÉS	49
13.	CONTESTACIÓN A LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS	52
14.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	53
15.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
16	BIBLIOGRAFÍA	57
17.	ANEXOS	61

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Beneficiarios del proyecto</i>	4
Tabla 2	<i>Sistemas de tarea y actividades de los objetivos.</i>	6
Tabla 3	<i>Factores asociados a la forma de la cuenca</i>	13
Tabla 4	<i>Parámetros del relieve</i>	13
Tabla 5	<i>Parámetros de la red hídrica</i>	14
Tabla 6.	<i>Levantamiento fotométrico</i>	27
Tabla 7	<i>Rango de valores del factor de forma de Horton</i>	36
Tabla 8	<i>Rango de Alargamiento de la microcuenca</i>	37
Tabla 9	<i>Comparación del volumen obtenido en la quebrada compadre Huayco</i>	40
Tabla 10	<i>Comparación del anchi obtenido en la quebrada compadre Huayco</i>	41

Tabla 11 <i>Fotografías obtenidas en cada uno de los vuelos</i> .....	46
Tabla 12 <i>Comparación de los resultados de imágenes satelitales e imágenes mediante UAV</i> .....	49

**ÍNDICE DE FIGURAS ..... xiii**

Figura 1 <i>Clasificación de los UAV</i> .....	16
Figura 2 <i>Mapa de ubicación de la zona de estudio</i> .....	24
Figura 3 <i>Trazo de polígonos de referencia</i> .....	32
Figura 4 <i>Trazo del polígono de referencia en PI X4D</i> .....	33
Figura 5 <i>Ubicación de los 3 puntos de control</i> .....	34
Figura 6 <i>Ortofoto generado en PIX4D Mapper</i> .....	34
Figura 7 <i>Área de pendientes de la microcuenca compadre Huayco en ArcGis</i> .....	36
Figura 8 <i>Mapa de pendiente de la zona de estudio imagen satelital 2011</i> .....	37
Figura 9 <i>Mapa de pendiente de la zona de estudio imagen UAV 2024</i> .....	38
Figura 10 <i>TIN de la zona de estudio</i> .....	39
Figura 11 <i>Mapa de erosión de la zona de estudio imagen satelital 2011</i> .....	40
Figura 12 <i>Mapa de erosión de la zona de estudio imagen UAV 2024</i> .....	42
Figura 13 <i>Mapa de susceptibilidad a inundaciones de la zona de estudio</i> .....	43
Figura 14 <i>Mapa del tipo de suelo en la zona de estudio imagen satelital 2011</i> .....	44
Figura 15 <i>Mapa del tipo de suelo en la zona de estudio imagen UAV 2024</i> .....	44
Figura 16 <i>Fase Inicial del procesamiento de información en PIX4D</i> .....	46
Figura 17 <i>Generación de la malla de puntos o nube</i> .....	47
Figura 18 <i>Modelos digital de terreno 3D en PIX4D Mapper</i> .....	47

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:** “ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE UN TRANSECTO DE LA QUEBRADA COMPADRE HUAYCO, UBICADO EN LA PARROQUIA SAN MIGUEL, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA COTOPAXI, MEDIANTE LA FOTOGRAMETRÍA”

**Fecha de inicio:** Octubre 2024 **Fecha de finalización:** Marzo 2025

**Lugar de ejecución:** Parroquia San Miguel

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Carrera de Ingeniería Ambiental **Equipo**

**de Trabajo:**

Tutor de Titulación: Ing. Vincent Benjamin Velastegui Tapia Mg.

Investigador: Carvajal Núñez Cristopher Jesús Lector

1: Lcdo. Manuel Patricio Clavijo Cevallos Mg.

Lector 2: Lcda. Fonseca Largo Kalina Marcela Mg.

Lector 3: Ing. Cajas Cayo Isaac Eduardo Mg.

**Área de Conocimiento:** Protección del Medio Ambiente Ciencias Naturales. Medio Ambiente.

**Línea de investigación:** Análisis, Conservación y Aprovechamiento de la Diversidad Local.

**Línea de vinculación de la carrera:** Manejo y conservación del recurso Hídrico.

## 2. INTRODUCCIÓN.

La gestión y conservación de los recursos hídricos son pilares fundamentales para el desarrollo sostenible, ya que garantizan el equilibrio ecológico y el bienestar de las comunidades. En zonas rurales, donde la agricultura y otras actividades económicas dependen directamente del acceso y calidad del agua, esta gestión cobra una relevancia aún mayor (ONU-DAES, 2017). Para lograr una planificación adecuada, es crucial analizar en detalle las características hidrográficas de los cuerpos de agua, permitiendo así una gestión eficiente y sostenible. En este contexto, la quebrada Compadre Huayco, ubicada en la parroquia San Miguel del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, desempeña un papel significativo en el sistema hídrico local. Como afluente importante de la zona, la quebrada juega un rol crucial en el balance ambiental del cantón. No obstante, su dinámica del agua puede provocar peligros medioambientales, tales como erosión, inundaciones e inestabilidad en las riberas lo que podría impactar la infraestructura local y los ecosistemas aledaños.

A pesar de su importancia, la quebrada Compadre Huayco ha sido objeto de pocos estudios detallados sobre sus características hidrográficas, lo que dificulta la implementación de estrategias de conservación y manejo adecuadas. En este sentido, la fotogrametría ha surgido como una herramienta innovadora para el análisis de sistemas hídricos. Esta técnica, que combina ciencia y tecnología para obtener imágenes precisas del entorno mediante grabación, medición e interpretación fotográfica, ha sido potenciada con el uso de drones (Tecnoceano, 2020).

La integración de drones en la fotogrametría ha revolucionado la topografía y la cartografía, permitiendo capturar imágenes detalladas del terreno y facilitando la evaluación precisa de la topografía y la pendiente, aspectos esenciales en la planificación de infraestructuras hídricas. No obstante, la aplicación de esta tecnología en el estudio de la quebrada Compadre Huayco ha sido limitada. Por ello, este estudio busca llenar esa brecha, proporcionando un análisis detallado que permita comprender mejor la dinámica hídrica de la quebrada y sirva de base para futuras estrategias de gestión y conservación.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El estudio de la quebrada Compadre Huayco en la parroquia San Miguel, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi es necesario para entender el funcionamiento hídrico y geomorfológico de este recurso natural que es ecológicamente sustentable y sostenible para el crecimiento socioeconómico a nivel local. Las quebradas cumplen funciones fundamentales en el equilibrio ambiental, actuando como fuentes de agua, corredores para la biodiversidad y

reguladores del clima. En la actualidad, los cuerpos de agua se encuentran con múltiples riesgos derivados de la urbanización descontrolada, las actividades agrícolas y la deforestación, que impactan en la calidad y cantidad de agua accesible el seguimiento constante de los recursos acuáticos puede ofrecer información valiosa para las decisiones de administración ambientales (Martínez & Pérez, 2020).

Esta investigación busca cerrar las brechas existentes en la información técnica sobre la Quebrada Compadre Huayco. Aunque se cuenta con datos generales sobre los recursos hídricos de la región, el empleo de tecnologías como la fotogrametría ofrece la posibilidad de recopilar información de alta precisión y resolución. Es una herramienta moderna y tecnológica ofreciendo múltiples beneficios, clave para respaldar la toma de decisiones informadas en la gestión ambiental de la zona, favoreciendo la conservación y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico a la fotogrametría con dron, es posible generar modelos tridimensionales del terreno y de los elementos hidrográficos presentes. El uso de tecnologías innovadoras como la fotogrametría con drones proporciona un método eficiente y preciso para recopilar datos espaciales e hidrológicos. Este método permite obtener información detallada sobre el terreno, patrones de flujo, vegetación costera y posibles fuentes de contaminación en poco tiempo y con menor impacto en el medio ambiente que los métodos tradicionales. Además, ayuda a identificar áreas de riesgo, como áreas propensas a inundaciones o erosión, así como información clave para la gestión del sitio y la prevención de desastres naturales (Carvajal et al., 2021)

El impacto de este trabajo es significativo, ya que permite un entendimiento más profundo de un recurso natural esencial, promoviendo una gestión más sostenible y flexible. La quebrada, como un ecosistema crucial para la biodiversidad y el suministro de agua, enfrenta riesgos derivados de las actividades humanas y los eventos climáticos extremos. Por ello, disponer de datos precisos fortalece la capacidad de respuesta a nivel local y posiciona a la región como líder en la implementación de tecnologías innovadoras, también constituye una herramienta estratégica para enfrentar los retos actuales en la gestión de recursos hídricos, generando beneficios concretos para la comunidad, el medio ambiente y el avance tecnológico. Este análisis se centra en el uso de fotogrametría con drones, que pretende no solo diagnosticar el estado actual del transecto relevado, sino también generar aportes técnicos y científicos que puedan contribuir al desarrollo de políticas públicas basadas en evidencia.

El tema de investigación es importante en el aspecto académico y científico, ya que contribuye a llenar vacíos en la literatura sobre el uso de fotogrametría en contextos andinos, caracterizados

por complejas condiciones topográficas y climáticas. Los resultados obtenidos podrán ser aplicados en investigaciones futuras y en la elaboración de planes de manejo integrado de cuencas, garantizando la preservación de este recurso para generaciones futuras.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1** *Beneficiarios del proyecto*

Beneficiarios directos			Beneficiarios Indirectos		
Habitantes de la Parroquia San Miguel			Habitantes del Cantón Salcedo.		
Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
18.755	20.346	39.101	32.200	35.293	67.493

*Nota.* Indica la población beneficiada de la investigación. Elaborado por Carvajal, C. 2025

#### 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En las últimas décadas, los recursos hídricos han estado bajo una presión cada vez mayor debido a factores como el cambio climático, la deforestación, la expansión urbana y la actividad agrícola intensiva. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), más del 70% de los recursos de agua dulce del mundo están sujetos a algún tipo de contaminación o degradación, lo que amenaza no solo la calidad del agua, sino también la biodiversidad y el bienestar humano (UNESCO, 2021). Este problema global es particularmente evidente en el país, donde la geografía, la alta diversidad ecológica y las actividades humanas presentan desafíos importantes en la gestión y conservación de los recursos hídricos.

A nivel nacional, el uso inadecuado de los recursos naturales exacerba la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2022) señala que muchas cuencas hidrológicas del Ecuador presentan problemas relacionados con la erosión, sedimentación y contaminación del suelo, especialmente en zonas rurales donde predominan las prácticas agrícolas tradicionales. En el caso de las quebradas, estos cuerpos de agua a menudo se pasan por alto en los planes de gestión del agua, a pesar de su importante papel en el ciclo hidrológico y la prestación de servicios ecosistémicos locales.

En la provincia de Cotopaxi, que se caracteriza por su diversidad climática y geográfica, los arroyos forman un importante sistema hidrológico que sustenta las actividades agrícolas y abastece de agua potable a las zonas rurales. Sin embargo, la expansión de los cultivos y el uso

incontrolado de productos químicos agrícolas han provocado cambios en el flujo de agua, deterioro de las riberas de los ríos y pérdida de vegetación ribereña, debido a la falta del monitoreo regular y planes de conservación específicos para estas microcuencas exacerba la degradación de los ecosistemas fluviales en la región. La quebrada Compadre Huayco en la parroquia San Miguel de Salcedo es un caso típico de problemas locales de gestión del agua ya que este sistema natural enfrentando múltiples presiones de la actividad humana y la falta de una planificación adecuada. La sedimentación, el vertido de desechos sólidos, líquidos y la reducción de caudales durante la estación seca son problemas frecuentes que enfrentan las poblaciones locales (García et al., 2023).

La Quebrada Compadre Huayco necesita ser evaluada por su capacidad de retención de agua, estabilidad de sus orillas y conexión ecológica con el ecosistema circundante. Estas variables son esenciales no sólo para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del recurso, sino también para prevenir riesgos asociados, como inundaciones localizadas y pérdida de tierras durante la temporada de lluvias. La implementación de estudios hidrológicos avanzados permitirá una comprensión integral de la dinámica hídrica de este cuerpo de agua, sentando las bases para una gestión más sostenible y participativa. La creciente presión sobre los recursos hídricos a nivel global, nacional y local apunta a la necesidad urgente de tomar medidas inmediatas para proteger sistemas hidrológicos.

La utilización de drones en la investigación de cuerpos de agua ha facilitado la recolección de información exacta y en tiempo real, disminuyendo gastos y peligros en relación a los procedimientos convencionales (Fernandez, 2019). Estas herramientas ofrecen fotografías aéreas de alta resolución que pueden ser examinadas a través de métodos de fotogrametría y teledetección, simplificando la detección de alteraciones en la forma de los cauces y la calidad del agua.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis integral de las características hidrográficas de un segmento de la microcuenca quebrada Compadre Huayco, mediante la aplicación de técnicas de fotogrametría, con el propósito de generar información que contribuya a la gestión sostenible del recurso hídrico.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar datos topográficos y geoespaciales mediante la toma de fotografía aérea con dron para capturar imágenes aéreas de alta resolución del segmento de la microcuenca,

generando información precisa sobre la morfología del terreno y las características del cauce en el segmento de la microcuenca

- Analizar la morfología de los cuerpos de agua en el segmento de la microcuenca, incluyendo la medición de la longitud, ancho, pendiente, con el propósito de comprender su dinámica hidrológica.
- Mapear las características geográficas del segmento de la microcuenca mediante el procesamiento y análisis de imágenes, con la finalidad de obtener información precisa que facilite la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

En la tabla 2 se presenta una organización detallada de los objetivos específicos relacionados con las actividades, metodologías y resultados que se abordan.

**Tabla 2** *Sistemas de tarea y actividades de los objetivos.*

OBJETIVO	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
<b>Obj.1.</b> Recopilar datos topográficos y geoespaciales mediante la toma de fotografía aérea con dron para capturar imágenes aéreas de alta resolución del segmento de la microcuenca, generando información precisa sobre la morfología del terreno y las características del cauce en el segmento de la microcuenca	Delimitación del área de estudio mediante las coordenadas GPS. Realizar las capturas de imágenes georreferenciadas.	Análisis de los datos recopilados mediante el dron.	Base de datos geoespacial detallada.

<p><b>Obj.2.</b> Analizar la morfología de los cuerpos de agua en el segmento de la microcuenca, incluyendo la medición de la longitud, ancho, pendiente, con el propósito de comprender su dinámica hidrológica.</p>	<p>Medición de la pendiente y el relieve de los diferentes cuerpos de agua y detectar las áreas con erosión, sedimentación o cambios bruscos en la morfología.</p>	<p>Análisis de datos procesados para calcular parámetros morfológicos.</p>	<p>Mapas detallados de las características geomorfológicas de los cuerpos de agua y la identificación de áreas susceptibles a erosión o sedimentación</p>
<p><b>Obj.3.</b> Mapear las características geográficas del segmento de la microcuenca mediante el procesamiento y análisis de imágenes, con el fin de obtener información precisa que facilite la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos.</p>	<p>Clasificación de áreas según el tipo de cobertura y verificación de datos obtenidos mediante la fotogrametría.</p>	<p>Procesamiento de imágenes y datos geoespaciales mediante técnicas de clasificación de imágenes y análisis.</p>	<p>Identificación de áreas de interés para la conservación ambiental</p>

*Nota.* La tabla 2 muestra la ejecución de los objetivos con su respectiva actividad, metodología y resultados. Elaborado por Carvajal C, 2025.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1 Recurso Hídrico

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (2022) indica que, el agua es un recurso natural extremadamente esencial, aunque frágil, que se regenera continuamente en el ciclo hidrológico y posee un valor social, ambiental y estratégico para el progreso económico y social del territorio. Dado el clima y la geografía de nuestro país, el agua es un recurso abundantemente disponible en la región amazónica, pero a veces es limitado en la costa y en la sierra. Además, las condiciones estacionales de la distribución del agua a lo largo del año son evidentes, lo que genera problemas significativos en la administración del

recurso acuático. El agua, un recurso natural esencial, aunque frágil, se regenera continuamente en el ciclo hidrológico y posee un valor social, ambiental y estratégico para el progreso económico y social de la nación. Debido a las condiciones climáticas y geográficas de nuestro país, el agua es un recurso abundante en la región amazónica y a veces limitado en la costa y la sierra (Martínez, 2018). El agua se compone de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, puede presentarse en formas sólidas, gaseosas y líquidas. Las características físicas y químicas del agua son cruciales para la subsistencia de los ecosistemas.

Es esencial para el progreso sostenible y crucial para el crecimiento socioeconómico, la energía, la generación de alimentos, los ecosistemas y la supervivencia de las personas. Aunque todas las actividades socioeconómicas se basan en gran parte en la provisión de agua dulce y su calidad, existen 2200 millones de individuos que subsisten sin acceso a agua potable (García & Sánchez, 2019).

El ciclo del agua no se inicia en un punto concreto, pero para esta explicación, podríamos afirmar que se inicia en el océano. El sol, que promueve el ciclo hidrológico, calienta el agua marina, que se evapora en el aire en forma de vapor de agua. Las corrientes ascendentes llevan vapor de agua a la atmósfera superior, donde las temperaturas más frías provocan que este vapor se condense y se generen nubes. Las corrientes atmosféricas transportan las nubes a lo largo del planeta y las partículas de estas se chocan, se expanden y se precipitan. Una porción de estas precipitaciones se desprende en forma de nieve y se acumula en estratos de hielo y glaciares, capaces de conservar agua congelada durante millones de años (Martínez, 2018). En regiones más calurosas, la nieve se desprende al llegar la primavera. La nieve que se derrite se desplaza sobre la superficie en forma de agua de deshielo, ocasionando en ocasiones inundaciones. La mayoría de las precipitaciones se deposita en el océano o la tierra, donde se desplaza sobre la superficie como escorrentía superficial debido a la fuerza gravitatoria. Una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación. Una cuenca hidrográfica es una zona natural donde la precipitación genera un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica que comprende todos los sistemas de corrientes de agua establecidos por la topografía. Los límites de la cuenca o divisorias de agua se establecen de manera natural y están relacionados con las zonas más elevadas del territorio que comprende un río. forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o divisorias de agua se definen

naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Vásquez, 2017).

El manejo integrado de cuencas hidrográficas es un procedimiento que busca solucionar una serie compleja de problemas interconectados. El procedimiento debe ser flexible, o sea, edifica y adquiere conocimientos de la experiencia, respaldado en la ciencia y la información local. El propósito de esta causa es solucionar problemas compartidos, por lo que necesita consenso, colaboración y cooperación entre diversos actores e instituciones con una visión compartida (Arroyo, 2017).

La recarga de agua se refiere a la incorporación de agua a un acuífero proveniente de diversas fuentes: precipitaciones, agua superficial y agua transferida de otras fuentes. Los procedimientos para su establecimiento son variados, entre los más habituales se incluyen el balance hidrológico, el monitoreo con indicadores ambientales o artificiales (químicos e isotópicos), las mediciones directas con piezómetros, la cuantificación del flujo freático y las fórmulas empíricas. Los hallazgos resultan dudosos ya que las ecuaciones consideran las incertidumbres de los componentes, el carácter empírico o semiempírico de las fórmulas empleadas, las simplificaciones de variables y procesos, y los fallos en las mediciones de calibración (Romero et al., 2018).

## **8.2 Recursos Hídricos del Ecuador**

Al igual que en otras naciones, los recursos acuáticos de la República del Ecuador son renovables, aunque con restricciones. Es imprescindible mantener un registro detallado y exhaustivo de todos estos recursos, con el propósito de garantizar su preservación, que se basa en su adecuado uso y reparto justo. Para un largo periodo, en el país se ha notado que la repartición del agua se basa exclusivamente en la demanda y hay una distribución desbalanceada tanto en términos de espacio como de tiempo. En este escenario, resulta imprescindible que las entidades responsables de los recursos acuáticos dispongan de datos exactos y al día, que les faciliten optimizar su administración y garantizar la preservación de las fuentes y su correcta distribución.

La superficie del país se segmenta en 31 sistemas hidrográficos, que incluyen 79 cuencas. Estos sistemas se relacionan con las dos vertientes de agua que, al surgir de los grandes ríos, se desplazan hacia el océano pacífico en un total de 24 cuencas, lo que equivale a 123.243 kilómetros cuadrados, con un porcentaje de superficie del territorio nacional del 48.07%, en un número de 7, hacia la región oriental, que ocupa una zona de 131.802 kilómetros cuadrados (Mogro & Jácome, 2019).

Con un error del 30% probable, las contribuciones totales de la red hidrográfica nacional ascienden a 110 billones de metros cúbicos anuales en la vertiente del Océano Pacífico y a 290 billones de metros cúbicos anuales en la vertiente amazónica. La distribución espacial de los caudales es muy variada en las distintas regiones geográficas de Ecuador, debido a las variadas condiciones físico-climáticas que prevalecen en el territorio nacional. Es importante resaltar que, en Ecuador, el uso del agua subterránea es escaso, salvo en la olla de Latacunga (Idrovo & González, 2021).

### **8.3 Ciclo hidrológico**

Es relevante analizar el agua y el impacto que podemos ejercer en ella, desde que se precipita sobre la tierra hasta que se revierte a la atmósfera o a los mares. El ciclo hidrológico resalta las cinco etapas fundamentales que nos atraen: la precipitación, la evaporación y la transpiración, la escorrentía superficial, la interceptación y el agua de fondo.

El ciclo hidrológico se fundamenta en la circulación o traslado constante de cantidades de agua, tanto de un lugar del planeta a otro, como entre sus distintas condiciones (líquida, gaseosa y sólida). Este fenómeno tiene dos razones: la energía solar y la gravedad. La naturaleza ha diseñado una especie de maquinaria incomparable que controla y satisface las necesidades de cada organismo vivo (Global Water Partnership, 2018).

Según la Organización Meteorológica Mundial (2005), el ciclo hidrológico de la siguiente manera: "La serie de fases que atraviesa el agua desde la atmósfera hasta la Tierra y luego a la atmósfera: evaporación del agua en el suelo, océanos o continentes, condensación de nubes, precipitación, acumulación de agua en el suelo o exceso de agua y evaporación." El ciclo hidrológico implica procesos permanentes o indefinidos de transporte de recirculación. Este constante movimiento del ciclo se atribuye principalmente a dos factores: el primero, el sol, que proporciona la energía que impulsa la elevación del agua (evaporación), y el segundo, la gravedad terrestre, que causa la caída del agua condensada (precipitación y escorrentía).

El ciclo hidrológico comprende procesos de traslado de recirculación, ya sea indefinido o constante. Para mantener este movimiento constante, existen fundamentalmente dos motivos: primero, para garantizar el incremento de la energía del agua; segundo, por la gravedad del suelo, lo que provoca la pérdida de condensación lluvia y el drenaje (OROMAPAS, 2021). Así, se conoce como global al tomar en cuenta el ciclo hidrológico, ya que este sistema puede ser subdividido en tres: el subsistema atmosférico, el subsistema de aguas superficiales y el subsistema de aguas subterráneas. En cada subsistema, será posible conservar cantidades de agua en cualquier fase durante periodos de tiempo determinados. La

habilidad para almacenar un medio también se denomina almacenamiento, y el período en el que se conserva el volumen se denomina tiempo de permanencia.

#### **8.4 Determinación de variables hidrológicas**

Existen distintos tipos de parámetros mediante los cuales se pueden generar las variables hidrológicas especialmente con el uso de la fotogrametría, entre los principales se pueden describir los siguientes:

##### **8.4.1 Área (A).**

Es la proyección horizontal de la superficie de drenaje, un sistema de escorrentía que está dirigido de manera directa o indirecta a un mismo cauce natural en donde corresponde a la superficie que está delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio:

- a) La divisoria de aguas pasa por los puntos más altos de las cordilleras, cruzando los valles que estas delimitan.
- b) Su delimitación comienza en el punto de concentración y se continúa a cada lado de este punto con líneas siempre perpendiculares a las curvas de nivel.
- c) La divisoria de aguas nunca debe interceptar los cauces naturales.

##### **8.4.2 Perímetro (P).**

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de la cuenca es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.

Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P.

##### **8.4.3 Longitud de la cuenca (L)**

“Es la distancia horizontal que inicia en la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba en el que la tendencia general del río principal corte la línea de entorno de la cuenca”.

##### **8.4.4 Ancho de la cuenca (B).**

“No es más que la relación entre el área y la longitud de la cuenca”.

##### **8.4.5 Pendiente media de la cuenca.**

“Es la fluctuación de la inclinación, la cual contribuye a definir el comportamiento de la cuenca en relación con el movimiento de las capas del suelo. En áreas de elevada inclinación se observan más problemas de erosión, mientras que en áreas planas pueden surgir dificultades de drenaje y sedimentación.” (MINAMBIENTE, 2017).

$$S = (H-h)/L \text{ Donde:}$$

S: Pendiente de la cuenca (m/m)

H: Punto más alto de la cuenca (m)

H: Punto más bajo de la cuenca(m) L:

Longitud de la cuenca (m))

#### **8.4.6 Análisis multitemporal.**

Zapata (2018) indica que, el análisis multitemporal no es más que la comparación de variaciones físicas de un área específica. El método empleado para este tipo de análisis implica la elección de datos fundamentales mediante mapas temáticos e imágenes Landsat. Una vez obtenida esta información, se procede a formar la base de datos para el manejo de los elementos que la conforman, efectuando las modificaciones necesarias, su organización y la determinación de atributos. Este proceso se lleva a cabo utilizando el software ArcGis. Tras este paso para realizar una comprobación, se lleva a cabo un trabajo de campo con la finalidad de identificar las unidades que conforman el área que se está estudiando (vegetación), valorar la geometría, entre otros aspectos. A continuación, para entender el análisis en curso (vegetación, suelo, recursos hídricos, entre otros), se lleva a cabo el procesamiento de imágenes Landsat utilizando combinaciones de bandas que se adecuen al análisis necesario. Esto proporcionará un contraste y realice para cuerpos de agua, vegetación, estructuras topográficas y áreas sin cobertura de vegetación.

#### **8.4.7 Identificación de zonas con riesgo a inundaciones**

Existen áreas de cauces que pueden ser propensas a inundaciones y se pueden detectar a través de programas que facilitan la realización de simulaciones de posibles inundaciones, como el software HEC-RAS y su extensión para SIG, ArcGIS y HEC- GeoRAS. En Cartaya & Mantuano (2016) “utilizan una metodología implica delimitar el DEM-SRTM el área de estudio que abarca un segmento del río, identificando sus coordenadas de comienzo a término. A continuación, se lleva a cabo la determinación de la geometría del canal del Modelo Digital del Terreno en formato TIN vectorial, creando curvas de nivel y recolectando información geométrica de las secciones transversales. Dentro de ArcMap, se emplea la extensión HECGeoRAS con la información previamente producida. Se establecen capas que guardan una base de datos denominada "Geodatabase". Este software producirá la geometría del cauce claramente establecida y luego se incorporará al programa HEC-RAS, donde se introducirán datos de flujo para la simulación de inundaciones. La información que flujo se importa a la base de datos creada en HEC-GeoRAS, que corregirá los fallos producidos en el proceso previo.

#### 8.4.8 Factores asociados con la forma

Estos factores son rasgos vinculados con la forma de la cuenca, con el objetivo de crear una similitud geométrica y facilitan la comprensión del comportamiento hidrológico. (Cañibano & Gandini, 2018).

**Tabla 3** Factores asociados a la forma de la cuenca

<b>Perímetro y Área de drenaje</b>	Este parámetro se define como una superficie definida por la división de aguas de la región de análisis y se muestra generalmente en kilómetros cuadrados o ha.
<b>Índice de forma</b>	Este indicador vincula la forma de la cuenca con un cuadrado, si es baja, está menos propensa a incrementos que una de la misma zona y tiene un factor de forma más elevado.
<b>Índice de compacidad de Gravelius</b>	Relaciona el perímetro de la cuenca entre la circunferencia de un círculo con el área de la cuenca, entre más cercano se encuentre el valor a uno esta será más susceptible a crecidas.
<b>Factor de forma</b>	Relacionar el ancho medio del cauce principal con la longitud del cauce de la cuenca. Una cuenca alargada tiene menos probabilidades de recibir lluvias intensas al mismo tiempo a lo largo de la superficie, por lo que está expuesta a lluvias de menor intensidad.

*Nota.* La tabla 3 indica los factores relacionados con la microcuenca. Elaborado por Carvajal C, 2025.

#### 8.4.9 Factores asociados al relieve

Mientras que los factores asociados al relieve representan las diferentes elevaciones e irregularidades geográficas que se pueden presentar en una zona (Cañibano & Gandini, 2018).

**Tabla 4** Parámetros del relieve

<b>Longitud del cauce principal</b>	Corresponde a la longitud del cauce más largo, por lo general es el tramo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio y en esta se considera su sinuosidad.
-------------------------------------	--

<b>Pendiente del cauce principal</b>	Es la manera de determinar la relación que existe entre las diferencias de alturas y su longitud principal, con la finalidad de analizar características óptimas de aprovechamiento hidroeléctrico y solución en problemas de inundación.
<b>Pendiente de la cuenca</b>	A través de ella se brinda información de la velocidad de escorrentía y características de hidrogramas de la cuenca. Según el porcentaje de pendiente de la cuenca se puede determinar el tipo de relieve de esta.
<b>Curva hipsométrica</b>	La curva hipsométrica se define como aquella representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura.

*Nota.* La tabla 4 indica los parámetros del relieve microcuenca. Elaborado por Carvajal C, 2025.

#### **8.4.10 Parámetros de bifurcación**

Estos factores comprenden la alimentación que tienen las cuencas y los sistemas de drenaje de las mismas.

**Tabla 5** *Parámetros de la red hídrica*

<b>Bifurcación de la red</b>	La bifurcación de un cauce se conoce como el orden de los cursos de agua y estos se consideran en corrientes de primer orden que son aquellas corrientes fuertes, provenientes de nacientes y este orden no posee afluentes.
<b>Densidad de drenaje</b>	El índice de densidad de drenaje relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca y permite tener conocimiento sobre el sistema de drenaje de la cuenca.

*Nota.* La tabla 5 indica los parámetros de la red hídrica. Elaborado por Carvajal C, 2025.

#### **8.5 Drones o vehículos aéreos no tripulados**

Los vehículos aéreos sin tripulación (UAV), también llamados drones, han ganado un papel crucial en diversas disciplinas. Durante la última década, los UAV se han empleado en diversas aplicaciones, que incluyen la identificación y seguimiento de objetos, seguridad pública, supervisión del tráfico, operaciones militares, exploración de zonas escondidas o peligrosas, navegación tanto

interior como exterior, detección atmosférica, operaciones tras catástrofes y cuidado de la salud. Intercambio de datos, administración de infraestructuras, administración de emergencias y crisis, traslado de bienes, monitoreo y logística de incendios forestales, control y logística de incendios forestales (Parolvo & Barbosa, 2019).

Los UAV tienen la capacidad de comunicarse mediante tecnologías de corto y largo alcance inalámbricas, y sus dimensiones pueden categorizarse como nano, micro o grande. Son magníficas oportunidades para ofrecer conectividad celular gracias a los progresos constantes y en desarrollo. Los drones cuentan con lentes de visión en tiempo real (FPV), un sistema de localización global (GPS), sensores, estabilizadores y cámaras (Rosado, 2020).

### **8.5.1 Tipos de UAV**

Los UAV pueden categorizarse de acuerdo a su estructura o a su arquitectura. Hay dos clases principales de UAV "Sistema aéreo no tripulado" considerando su estructura o su edificación. Hay UAV de ala fija, que poseen un modelo de avión de ala fija; estos se componen de un armazón, generalmente de espuma de vidrio flexible, que es impulsado por uno o dos motores con propela. Posee una aerodinámica única, ya que su diseño se asemeja a un avión de casa, lo que lo hace mucho más resistente a volar durante vientos de lluvia moderados, a la vez que optimiza su uso puede llegar a tener una autonomía de vuelo de 60 minutos a más (Suarez, 2021).

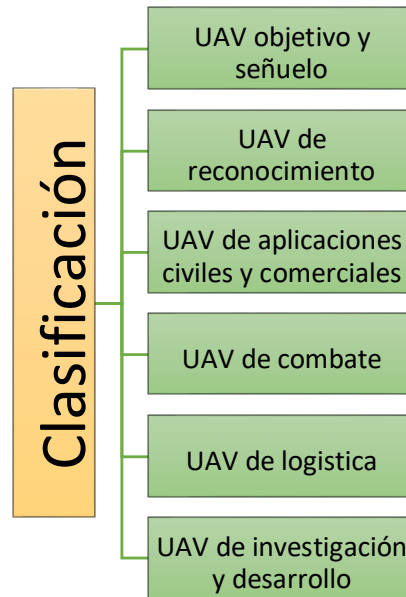
Además, los UAV multirrotor son impulsados por motores con propelas o hélices, que pueden variar entre 4 a 16 motores dependiendo del diseño del fabricante. Su autonomía de vuelo varía entre 20 a 40 minutos, dependiendo del tipo de vuelo que se lleve a cabo y principalmente de las condiciones meteorológicas, dado que, si no cuenta con un diseño aerodinámico, su resistencia al aire se incrementa.

También existen sistemas híbridos, lo que significa que pueden operar tanto con las características de multirrotor como de ala fija al mismo tiempo, lo que hace el equipo más adaptable en términos de uso. Es importante destacar que, este tipo de UAV está en una etapa de desarrollo medio. Pese a que existen prototipos como el modelo Muninn VXi UAV desarrollado por la "Técnica Universidad de Dinamarca", que han desarrollado un híbrido capaz de despegar y aterrizar verticalmente, realizar diversas maniobras y simultáneamente alcanzar velocidades superiores a 30 metros por segundo. (Yoza & Zuñiga, 2021).

### **8.5.2 Clasificación de los UAV de acuerdo al uso y aplicación**

Existen seis categorías funcionales de clasificación de los UAV que son:

**Figura 1** Clasificación de los UAV



*Nota.* La figura indica la clasificación de los UAV de acuerdo al uso y aplicación Fuente: Elaborado por Carvajal C. 2025.

### 8.5.3 Componentes de los UAV

Los componentes de los UAV se dividen en:

- **Armazón.** Estructura de la plataforma a desarrollar, donde se ajustarán los sensores y otros elementos con los que el UAV vaya a contar. Según el modelo a diseñar, puede ser fabricado de diversos tipos de materiales, siendo la fibra de vidrio uno de los más habituales. Sus rasgos fundamentales son que el marco debe ser sólido y versátil simultáneamente, buscando así aumentar su resistencia ante impactos o vientos.
- **Motor y Hélice.** Son elementos clave del UAV, el motor transforma una clase de energía en energía mecánica, con la capacidad de generar una fuerza que genera el movimiento de las hélices. Los motores empleados en estas plataformas son los conocidos como motores brushless. Una de las particularidades más destacadas de estos motores es su tamaño reducido, lo que permite disminuir su peso sin necesidad de disminuir su potencia.

Las hélices son un grupo de aletas de forma helicoidal que al moverse generan una fuerza de reacción, empleada para generar una reacción de propulsión. Estas pueden ser cubiertas por protecciones que proporcionan una mayor rigidez y prolongan significativamente la vida útil de las hélices y, en última instancia, del sistema, ya que estas pueden amortiguar cualquier tipo de impactos que la plataforma pueda experimentar.

- **Sistemas de vuelo.** Conjunto de componentes electrónicos como GPS, acelerómetro, giroscopio, control de radio, que van a habilitar al dispositivo para convertirse en un dispositivo inteligente.
- **Sensores.** Son los responsables de recolectar datos, es uno de los elementos fundamentales del UAS, se compone principalmente de la cámara de fotos, aunque también pueden incorporar otros tipos de sensores como: sensores infrarrojos, multiespectrales, entre otros. Su meta es recoger información, en el escenario de la fotogrametría, a través de las imágenes.
- **CPU.** Unidad de Procesos tiene la responsabilidad de gestionar la información del sistema de vuelo y de los sensores. En otras palabras, es la mente del equipo la responsable de procesar toda esta información.
- **Baterías.** Es la responsable de proporcionar la energía requerida para calentar a todos los elementos de la aeronave. Las baterías de Litio son las más empleadas, ya que proporcionan una excelente relación entre capacidad, peso, volumen y tensión. Estas baterías se cargan a través de energía eléctrica, por lo que los productores sugieren usar un cargador específico, y evitar cargar las baterías más allá de su voltaje nominal.

### 8.5.3.1 Ventajas y desventajas del Dron

Dentro de las principales ventajas tenemos la posibilidad de acceso a zonas de alto riesgo o difícil acceso, disminuir costos y bajar tiempos en trabajos de ingeniería, obtención productos de alta calidad y utilidad, en planificación y monitoreo, entre otros. Sin embargo, a pesar de todas las bondades que nos ofrece esta tecnología, también es necesario comentar algunas desventajas, tanto en aspectos técnicos como también en aspectos éticos. En el aspecto técnico se menciona la posibilidad de romperse el canal de comunicación entre el operador y el DRONE, la influencia de fenómenos físicos (meteorológicos) en el funcionamiento del DRONE, capacidad de vuelo limitada en la mayoría de DRONE usados en trabajos de ingeniería. En el aspecto ético destaca el uso inapropiado de imágenes o videos tomadas en gran resolución de individuos o espacios privados, constituyéndose en una seria amenaza a la inviolabilidad de la privacidad (Puerta, 2019).

### 8.5.4 Plan de vuelo

Según Lorente (2017) señala que, actualmente, los DRONE son aparatos aeronáuticos capaces de realizar sobrevuelos de manera completamente autónoma, gracias a la función de piloto automático que tienen. Este se encarga de los distintos mecanismos que controlan el

correcto funcionamiento y facilitan la realización de los sobrevuelos de manera autónoma. Se debe elaborar el plan de vuelo utilizando aplicaciones responsables de la comunicación con el piloto automático. Este consta de una serie de puntos de ruta por los que el DRONE debe atravesar, incluyendo coordenadas de latitud, longitud y altura, así como velocidad.

#### 8.5.4.1 Cálculos de factores de vuelo

Los cálculos son cruciales para establecer el número de vuelos requeridos para capturar toda la región de estudio. Se ha requerido efectuar dos cálculos para este fin. En la primera ecuación se establecerá la altura de vuelo para lograr la longitud requerida, mientras que en la segunda ecuación se establecerá la correlación entre la distancia focal y el factor de recorte.

Para el cálculo de la altura de vuelo promedio se necesita utilizar la siguiente ecuación:

*Cálculo para la altura de vuelo*

$$H = C * Em \text{ Donde:}$$

H= altura

C= longitud focal

Em= escala de la imagen

*Cálculo de la relación entre la distancia focal y el factor de recorte:*

$$C_{real} = \frac{c}{fr}$$

Donde:

C= longitud focal

Fr= factor de recorte

C real= distancia focal real

#### 8.5.4.2 Precisiones obtenidas

Para una precisión adecuada de un modelo fotogramétrico, es necesario identificar puntos de apoyo con GPS de doble o mono frecuencia, lo que establecería una precisión ideal.

Estos puntos facilitan la corrección del modelo y su ajuste a proporciones reales.

Después de tomar las fotografías, se utiliza un software fotogramétrico para orientarlas, estableciendo las coordenadas de vuelo de cada una. A través de la restitución fotogramétrica, se generan modelos digitales de superficie. La asignación de puntos de control en el campo de estudio disminuirá los fallos sin eliminar la característica sistemática.

Robson & James (2018), señalan que, para solucionar problemas en las imágenes de los DRONE cuando estos no pueden ajustar el ángulo de la cámara durante el vuelo y no se

pueden capturar imágenes durante los giros del DRONE, es necesario situar la cámara con un ángulo de visión de 5° e incrementar las líneas de vuelo.

### **8.6 Fotogrametría**

La fotogrametría es un método que busca obtener datos geográficos cuantificables y exactos del entorno físico que nos circunda, a través de recursos indirectos como la fotografía. En resumen, la fotogrametría emplea la fotografía para producir datos geográficos con capacidad de cálculo. La fotografía puede ser capturada tanto desde la tierra como desde el aire, razón por la cual se distinguen dos campos de la fotogrametría, la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea (Aguilar, 2019).

En este contexto, la fotogrametría terrestre se emplea en diferentes campos como la arquitectura o la ciencia, mientras que la fotogrametría aérea nos brinda la habilidad de crear modelos de elevación y es útil para crear curvas de nivel, mosaicos o nubes de punto de manera digital. En este contexto, la fotogrametría es el método que permite recopilar datos del terreno a través de imágenes aéreas que serán capturadas por drones (Camo & Medina, 2021).

La fotogrametría aérea son imágenes capturadas desde aeronaves, donde el eje óptico de la cámara de fotos se encuentra sensiblemente en línea recta con el suelo o con la corteza de la Tierra. Es importante resaltar que la fotogrametría aérea es una disciplina con varios años de historia, dado que este método se llevaba a cabo mediante aviones, equipados con cámaras especiales para capturar imágenes del terreno. Estas capturas se realizaban en películas negativas, que posteriormente se imprimían en papel físico. Mediante una técnica, se podían determinar distancias, volúmenes, materiales u orto mosaicos, a través de la restitución (Alonso & Gorostidi, 2020).

Sin embargo, con la aparición de los drones, este método tuvo un gran impacto debido a los costos, lo que lo hizo más adaptable. Así, la fotogrametría aérea implica la captura de imágenes mediante el uso de un dron o un avión del terreno, para posteriormente generar curvas de nivel, mosaicos ortográficos, mapas digitales, planos topográficos de altimetría, entre otros.

Dentro del periodo de la fotogrametría digital, se inició en los años 90 con la aparición de la computadora, sin embargo, esta actividad se intensificó con la introducción del GPS, la aparición de los drones y las aplicaciones tecnológicas. Es importante destacar que los drones se vuelven cada vez más accesibles para el consumidor y ofrecen más ventajas en términos de versatilidad, sencillez de transporte y calidad de fotografía (Guerrero & Faraone, 2018).

### **8.6.1 Tipos de imágenes utilizadas en fotogrametría**

Moyano (2017), clasifica a las imágenes fotográficas de la siguiente forma:

- En función del almacenamiento en analógico y digital (jpg, tiff, bpm).
- En función al sensor de toma en analógico (tipo obturador) y digital (sensor matricial, rectangular, lineal o puntual).
- En función a la resolución geométrica en métrica, semi métrica o no métrica.
- En función de las características de la toma en espacial, aérea, terrestre y dentro de ellas en vertical, horizontal, inclinada o panorámica.

Al capturar imágenes a baja altitud, no debemos presuponer que la superficie es lisa, ya que esto conlleva un riesgo en la ejecución del mosaico. Si no disponemos de un plano de referencia del área de estudio, sería imprescindible obtener un conocimiento detallado sobre el solapamiento de las imágenes, mediante la utilización de sensores como cámaras infrarrojas (García & Pérez, 2019). Cuando se capturan imágenes de baja altitud, se asume que la superficie es lisa, lo que implica que la superficie es plana tomar un riesgo durante la ejecución del mosaico. Elementos como: árboles, irregularidades o pendientes, originados por la topografía del terreno, o incluso vehículos y construcciones, pueden alterar la perspectiva de las imágenes. Sin un marco de referencia para el estudio del terreno, el solapamiento de las imágenes requeriría de una información detallada, para la cual se encuentran sensores o, por ejemplo, cámaras infrarrojas. Por lo tanto, los puntos a distintos niveles en las imágenes pueden provocar serios errores en la superposición de las imágenes individuales (Villarreal & Zárate, 2019).

Días (2020), recomienda que para la obtención de las imágenes a usar en fotogrametría se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Calibración de la cámara a partir del fotografiado de un patrón de calibración conocido.
- Orientación de las imágenes escogiendo puntos comunes.

A partir de la orientación a las imágenes, se lleva a cabo la extracción de las características del modelo con fundamentados en puntos, líneas y superficies. Este procedimiento ha transformado su naturaleza manual en automática mediante la creación de una nube de puntos. Los procesos pueden cambiar en función de lo propuesto, esto dependerá del software de negocios que se emplee.

### **8.6.2 Aplicación de la fotogrametría**

Según Arévalo y Bayona (2018), mencionan que, existen diversos procesos para desarrollar el fotogramétrico como son:

- **Orientación interna.** - La orientación interna es el proceso que se realiza para que los sensores internos se encuentren calibrados. Es decir, en este punto se alinea los sensores para que estos capturen el objetivo deseado. Vale la pena destacar que este proceso en la actualidad es realizado de forma digital.
- **Orientación externa.** - Este proceso sirve para cuadrar las fotografías tomadas al terreno al cual se tomó la información
- **Puntos de control.** - Este proceso sirve como mecanismos de referencia en las coordenadas de GPS. Esto se debe a que en muchas ocasiones el GPS de navegación que vienen incluidos en los UAV, tienden a tener una variación en las coordenadas por lo que es preciso tener los puntos de control para tener coordenadas de GPS satelital. Vale la pena destacar, que si existen UAV que pueden tener sistemas de GPS de precisión.
- **Puntos de chequeo.** - Un punto de chequeo aportan a validar los resultados obtenidos dentro del proceso de fotogrametría.
- **GSD o ground sample distance.** - Es el valor que se le da a los pixeles comparados con la realidad del terreno. Es decir, la representación que se le da a la imagen en función de la nitidez.
- **El proceso de levantamiento de la información.** - Se realiza mediante la adquisición de información sobre los objetos a través de la fotografía. Esta tarea se lleva a cabo a través de la visión estereoscópica, que incluye la toma de la fotografía.
- **Aérea triangulación.** - Lo cual consiste en el cosido de todas las fotografías no de los puntos comunes que hay con los traslapes y es en este proceso en el cual se complementan con el uso de los puntos de control en el software.
- **Generación del modelo digital del terreno (MDT).** - Esta tarea es muy importante dado que facilita la recreación del terreno en el que se está elaborando y, a partir de esto, se produce la ortofotografía.
- **Ortofotografía.** - Esta actividad es de gran importancia ya que ubica de forma digital los elementos que se han capturado en fotografía.

- **Uso de Software.** - La utilización del software es crucial para la ejecución de los datos recabados, es importante resaltar que cada aplicación puede ofrecer múltiples beneficios. Estos programas, procesarán los datos y podrán llevar a cabo las diversas funciones necesarias. Es importante resaltar que los procedimientos difieren dependiendo de la calidad y adaptabilidad de los programas.

## **8.7 MARCO LEGAL**

### **8.7.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008**

Es la norma suprema que establece los derechos fundamentales, la protección ambiental y la gestión de los recursos hídricos.

**Art 12:** Declara que el agua es un derecho humano fundamental, inalienable, y no se podrá privatizar.

**Art 395:** Define a la naturaleza como sujeto de derechos y establece el desarrollo sostenible como principio fundamental.

**Art 408:** Los recursos hídricos son de propiedad del Estado y de aprovechamiento colectivo.

### **8.7.2 CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (2017)**

**Regula la protección, conservación y uso sostenible de los recursos naturales.**

**Art8:** Establece la obligatoriedad de realizar estudios de impacto ambiental en intervenciones sobre ecosistemas sensibles.

**Art 33:** Regula el monitoreo de recursos hídricos y fomenta el uso de tecnologías como drones para evaluaciones ambientales.

**Art 52:** Prohíbe actividades que puedan alterar la calidad y cantidad de agua en las quebradas.

### **8.7.3 NORMATIVA TÉCNICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM)**

Regula el uso de drones para la obtención de datos geoespaciales.

**Resolución IGM 2018:** Establece los requisitos para la obtención de permisos de vuelo y registro de drones para actividades de levantamiento fotogramétrico.

**Normativa técnica:** Exige la georreferenciación precisa de datos capturados mediante fotogrametría.

### **8.7.4 ORDENANZAS MUNICIPALES DEL CANTÓN SALCEDO**

El GAD Municipal de Salcedo regula el uso y conservación de las quebradas dentro de su jurisdicción.

**Ordenanza para la Gestión de Recursos Naturales (2020):** Establece la protección de fuentes hídricas como la quebrada Compadre Huayco y promueve estudios técnicos para su preservación.

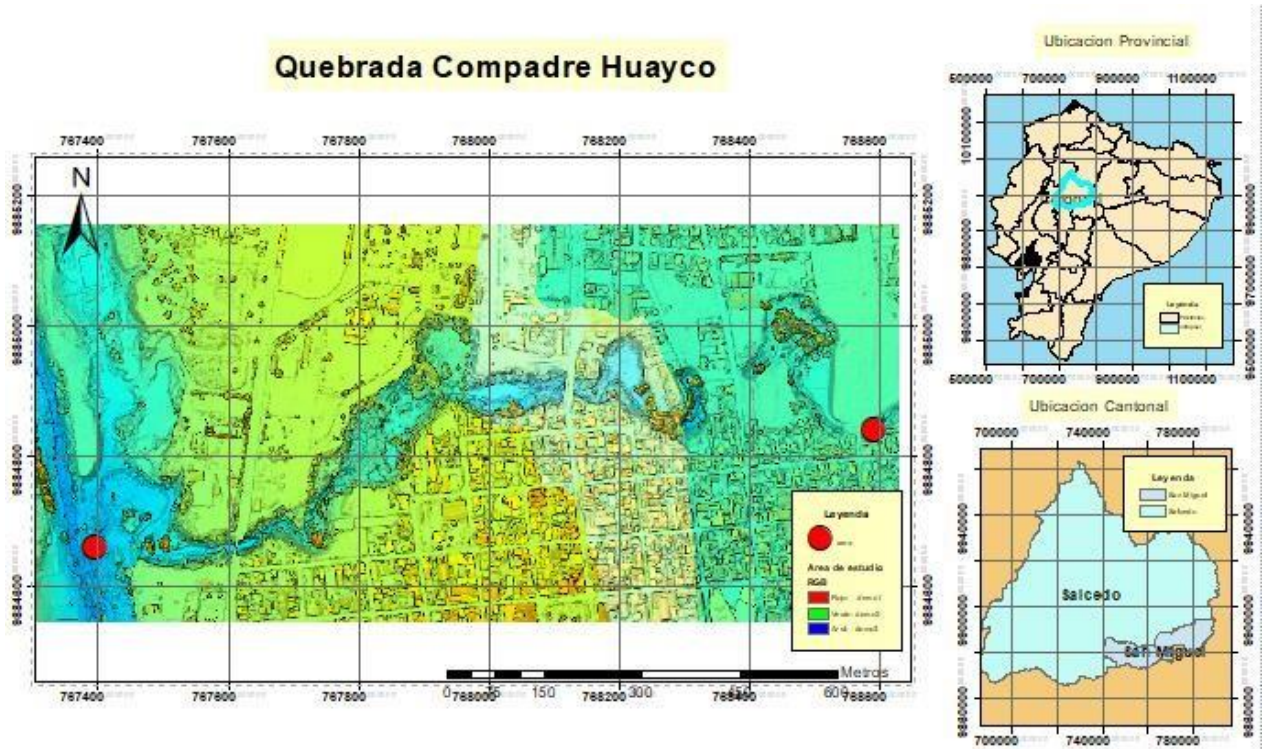
## **9. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS**

- 1. ¿Cómo influye la morfología del cauce de la Quebrada Compadre Huayco en la dinámica hidrológica y la distribución de los caudales durante eventos de lluvia en la microcuenca?**
  
- 2. ¿Cuál es la precisión y efectividad de la fotogrametría con drones en la estimación de las características geospaciales y la identificación de áreas de riesgo hídrico, como la erosión y los deslizamientos, en la quebrada estudiada?**

## **10 ÁREA DE ESTUDIO**

La quebrada Compadre Huayco es un afluente de una cuenca mayor que drena las aguas desde las laderas de las montañas cercanas, se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi cantón Salcedo, parroquia San Miguel, sus límites son al norte el cantón Latacunga, al sur la provincia de Tungurahua, al este la Cordillera Central de los Andes (Provincia de Napo) y al oeste el cantón Pujilí. La microcuenca cuenta con una longitud de  $2,086 \text{ Km}^2$ , y un área de  $0,28 \text{ Km}^2$ , el transecto está situado desde el barrio San Miguel hasta el barrio La Palmira con las siguientes coordenadas que va desde  $X = 767391,986$ ,  $Y = 9884617,637$  sur, hasta las coordenadas  $X = 768537,105$  –  $Y = 9884846,237$  norte, tiene un clima de montaña, caracterizado por temperaturas moderadas, con variaciones notables según la altitud. Las temperaturas pueden ser frescas a lo largo del año, con posibles precipitaciones durante la temporada de lluvias. Las condiciones climáticas varían desde un clima seco en algunas épocas hasta lluvias intensas durante el invierno (Chicaiza, 2014).

**Figura 2** Mapa de ubicación de la zona de estudio



*Nota.* Ubicación de la quebrada compadre Huayco. Elaborado por Carvajal C, 2025

## 11. METODOLOGÍA

Esta investigación se fundamentó en dos secciones: la primera en un modelo descriptivo de revisión bibliográfica a través de documentos, artículos de varios autores que respaldan el tema de estudio, con el objetivo de interpretar teorías a través del uso de recursos como; trabajos de investigación, ponencias, libros y entrevistas que contribuyeron a guiar el tema de estudio.

La segunda parte de la investigación se basó en un modelo exploratorio que es una herramienta indispensable a través de la fotogrametría con dron para obtener información más detallada.

### 11.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio tiene un enfoque cualitativo, puesto que se fundamenta en la recolección y análisis directo de datos numéricos para explorar las características del cuerpo de agua los cuales son adquiridos mediante diferentes métodos, se utilizó instrumentos tecnológicos para medir y describir el terreno, asegurando exactitud en la interpretación de las variables hidrográficas.

## **11.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN**

### **11.2.1 TIPO CUALITATIVA.**

La investigación cualitativa es una investigación que examina las cualidades de acciones, relaciones, problemas, medios, materiales o herramientas en una situación o problema específico. Intento lograr una descripción holística, es decir, analizar de forma detallada un tema o actividad concreta, y me interesa más entender cómo surge la dinámica o cómo surge el problema o la actividad. En la investigación se recopiló información mediante las imágenes de UAV y satelitales para entender la dinámica hidrológica de la zona de estudio.

### **11.2.3 TIPO DESCRIPTIVA**

Describen las particularidades de un fenómeno, tema o grupo de estudio. Este tipo de estudio analiza de manera cualitativa un fenómeno o asunto antes de avanzar con un análisis numérico. Por lo tanto, se realiza previo a cualquier tipo de investigación analítica, dado que la evolución de diversos métodos facilita a los científicos una mejor comprensión del fenómeno. En esta investigación se utilizó el método descriptivo, dado que los hallazgos se lograron a través de los datos obtenidos, lo que facilitó la identificación de las características de la quebrada compadre Huayco.

## **11.3 MÉTODOS**

### **11.3.1 Método descriptivo**

Se utilizó para identificar el área de estudio y se definió los parámetros de vuelo como altura, superposición y cobertura, con ello se procedió a la instalación y medición de los puntos de control terrestre dentro del transepto de la Quebrada Compadre Huayco.

### **11.3.2. Método exploratorio**

Se capturaron imágenes aéreas mediante fotogrametría con dron, obteniendo datos topográficos y geoespaciales precisos para el análisis detallado del área de estudio.

### **11.3.3 Cálculo de factores de vuelo**

Los factores necesarios para un vuelo fotogramétrico son muy importantes para lograr los resultados deseados, por lo que es necesario analizar parámetros como la altitud promedio de vuelo, calcular la distancia focal de la cámara del dron y a escala del proyecto, también es necesario obtener el área promedio del polígono de referencia.

### **11.3.4 Cálculo de altura de vuelo promedio**

Se determinó inicialmente la altura de vuelo, la cual no excede la distancia entre el terreno que se fotografía y el eje del lente del UAV. La altura de la imagen que el UAV captura está determinada por la distancia focal de la cámara, la distancia desde el sensor y el muestreo,

si se incrementa la distancia focal a una altura determinada, el área que capta cada píxel se reduce, lo que reducirá la distancia de muestreo y cada píxel capturará un área más pequeña, lo que resultará en una resolución espacial superior (González, 2017).

Para el cálculo de la altura de vuelo promedio se necesita utilizar la siguiente ecuación:

$$H = C * Em$$

Donde:

- **H** = Altura.
- **C** = Longitud focal.
- **Em** = Escala de la imagen.

Dentro de los factores requeridos para solucionar la ecuación se encuentra la longitud o distancia focal (C), una característica técnica del "Phantom 4 Pro". El catálogo oficial del producto DJI (2022), señaló que la distancia focal es de 20 mm, sin embargo, de acuerdo con los datos de las imágenes capturadas con este UAV, se evidenció que es de 8.8 mm. Esta discrepancia entre la especificación proporcionada por el fabricante y la información real, se origina porque el tipo de sensor utilizado en la cámara es notablemente inferior al de 35 mm estándar que utiliza el UAV, que es un modelo DJI FC6310.

Teniendo en cuenta que el factor de recorte es de 2,7 y la distancia focal de 24 mm, se pudo proceder al cálculo de las variables:

*Relación entre la distancia focal y el factor de recorte.*

$$C_{real} = \frac{C}{Fr}$$

$$C_{real} = \frac{24 \text{ mm}}{2.7}$$

$C_{real} = 8,8 \text{ mm}$  Donde:

- **C** = Longitud focal
- **Fr** = Factor de recorte
- **C real** = Distancia focal real DJI Phantom 4.

Una vez determinada la distancia focal verdadera, se necesitó otra variable para determinar la altura. Por ende, se requirió determinar la escala apropiada para este tipo de proyectos fotogramétricos en áreas montañosas. Fue crucial seleccionar una escala para representar los objetos.

### 11.3.5 Cálculo del área de los polígonos

Mediante *Google Earth* se realizó el diagnóstico del área de estudio con la finalidad de entender y dimensionar el perfil de la quebrada, en el cual se utilizó herramientas de rutas y polígonos para realizar las rutas perpendiculares a la línea de trayectoria de la microcuenca.

### 11.3.6 Levantamiento fotométrico

Para el estudio fotogramétrico, se requirió optimizar el patrón de vuelo o la ruta de vuelo, respetando los criterios de altura y evaluando su factibilidad. Se examinó la disposición de puntos de control y se valoró una ruta de vuelo eficaz. Para esta recopilación de datos, se empleó el UAV "DJI Phantom 4 PRO" equipado con una batería de reserva (Fotografía 1)

### 11.3.7 Optimización del patrón de vuelo

Se realizó un patrón de vuelo o una ruta de vuelo en donde se determinó cuantos vuelos son necesarios para cubrir el área total de estudio, en donde se utilizó el equipo de UAV Phantom 4 pro, se realizó 5 vuelos en los cuales se abarco una longitud de 150 ha.

**Tabla 6.** *Levantamiento fotométrico*

VUELO	LONGITUD	ALTURA
PRIMER VUELO	30 ha	150 m
SEGUNDO VUELO	30 ha	150 m
TERCER VUELO	30 ha	150 m
CUARTO VUELO	30 ha	150 m
QUINTO VUELO	30 ha	150 m

*Nota.* La tabla 6 indica a que altura se realizó cada vuelo. Elaborado por Carvajal C, 2025

### 11.3.8 Colocación de puntos de control

Los puntos de control son elementos luminosos y vibrantes que se ubican en estudios fotogramétricos para ser reconocidos desde el aire. Estos objetos son geolocalizados con dispositivos GPS de mayor exactitud que un UAV, con el objetivo de optimizar la eficacia de proyectos topográficos (Fotografía 2).

### 11.3.9 Misiones de vuelo

Después de realizar los cálculos y optimizar el patrón de vuelo, se llevó a cabo el vuelo del UAV. Para obtener la información inicial, para ello se realizó una visita al área de estudio,

creando un itinerario que inicia con la recarga de las baterías y el control remoto del UAV. Luego, se comprobó que las hélices estén en óptimas condiciones y que el equipo tenga memoria interna.

Se transmitió a la memoria interna del UAV los datos en formato KML de los 20 polígonos de referencia creados anteriormente en "Google Earth" para mejorar la logística durante los vuelos fotogramétricos.

En el área de estudio, fue importante determinar la ubicación espacial en la que nos encontramos, por lo que se requirió disponer de mapas geográficos o tener acceso al programa "Google Earth". Así, se estableció que el polígono está más próximo al área de despegue. Los sitios seleccionados para despegar deben cumplir con determinados requisitos como estar alejados de cables y líneas de alta tensión para prevenir choques. Asimismo, es crucial que el sitio se encuentre aislado de árboles que impidan la visibilidad de los operadores y que no haya dispositivos o aparatos electrónicos que puedan interferir en la conexión del mando con el UAV.

### **11.3.10 Parámetros de Forma de la Microcuencas**

#### **11.3.10.1 Coeficiente de Compacidad de Gravelius:**

En este parámetro se definió la forma de la superficie que tiene la microcuenca, mediante la siguiente formula:

$$C_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

**C<sub>g</sub>**= coeficiente de Gravelius

**P**= Perímetro de la cuenca en Km

**A** = Superficie de la cuenca en  $Km^2$

#### **11.3.10.2 Factor de forma**

En este parámetro se midió la tendencia de la microcuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas a partir de la siguiente formula:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

#### **11.3.10.3 Factor de elongación:**

Relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma el cual fue calculado a partir de la siguiente formula:

$$R_e = \frac{(1,128)(\sqrt{A})}{L_c}$$

**L<sub>c</sub>** = Longitud acial de la cuenca km

$A$  = Área de la cuenca  $\text{km}^2$

Los valores de  $Re$  inferiores a 1, implicará formas alargadas, y cuanto menor sea  $Re$  más alargada será la forma de la cuenca. Valores próximos a 1 determinará a una cuenca con una forma redonda.

#### **11.3.10.4 Índice de alargamiento**

Es la relación entre la longitud axial de la microcuenca con su ancho máximo, el cálculo se realizó utilizando la siguiente formula:

$$I_a = \frac{La}{B_{max}}$$

$La$ = longitud axial km

$B_{máx}$ = ancho máximo de la cuenca km

### **11.3.11 Obtención de variables hidrológicas mediante Imágenes Satelitales**

#### **11.3.11.1 Perímetro**

Para la obtención del perímetro se utilizó en programa ArcGis donde se subió el DEM del área de estudio para proceder a analizar la información requerida, se seleccionó el cauce principal de la quebrada compadre Huayco para calcular longitud y perímetro de la misma.

#### **11.3.11.2 Pendiente**

Se utilizaron datos procesados de la quebrada compadre Huayco, para determinar el porcentaje de la pendiente en la microcuenca y finalmente, para ello se transformó el raster en polígono donde se obtuvo la tabla de área de pendientes.

#### **11.3.11.3 Volumen del cauce**

A partir de la herramienta Surface volumen se obtuvo el tramo de estudio y mediante el TIN se calculó el volumen del área de estudio.

#### **11.3.12 Tratamiento de datos**

Se examinaron las imágenes adquiridas para identificar sus atributos basándose en los datos de campo. Mediante el uso del programa ArcGIS, se crearon los mapas vinculados a cada resultado. La gestión de datos se realizó utilizando el programa PIX4D Mapper, donde se consiguieron mosaicos de alta resolución, utilizados en el análisis morfológico del campo de estudio. En los cinco levantamientos realizados, se recolectaron un total de 160 imágenes, las cuales fueron necesarias para el diagnóstico morfométrico del área de estudio. Este fue capaz de alcanzar detalles acerca de la geomorfología, escarpes y deslizamientos de terreno.

## 11.4 TÉCNICAS

### 11.4.1 Fotogrametría con drones

El uso de drones para la fotogrametría implica la captura de imágenes desde el aire a través de vehículos aéreos no tripulados (UAV), dotados de cámaras de alta resolución. Esta metodología facilitó la adquisición de modelos digitales de la zona de estudio (MDT) y ortofotos con alta exactitud.

### 11.4.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La implementación de los SIG facilita el manejo, almacenaje, estudio y representación visual de los datos geospaciales recogidos en terreno. Estas herramientas facilitaron el cálculo de la pendiente, volumen, longitud, perímetro de la zona de estudio simplificando la comprensión de los datos y generando los diferentes mapas.

### 11.4.3 Observación de campo

La observación de campo es una técnica de validación que permite verificar la exactitud de los datos obtenidos mediante la fotogrametría y el análisis SIG. Se realizó mediante inspecciones in situ al área de estudio.

### 11.4.4 Análisis hidrológico y geomorfológico

Esta metodología facilitó la valoración de las propiedades del cauce, inclinación y flujo de agua de la microcuenca, reconociendo patrones geomorfológicos que inciden en la dinámica del agua.

## 11.5 INSTRUMENTOS

- **Dron:** es una herramienta eficiente para generar ortofotos, modelos digitales de elevación (MDE) y mapas de alta precisión.
- **Software de planificación y procesamiento:** El uso de software especializado en planificación de vuelos y procesamiento de datos obtenidos por drones es fundamental para garantizar precisión y calidad en los resultados.
- **Software SIG:** Permiten procesar, analizar y visualizar datos geospaciales, transformando información obtenida mediante drones y otros equipos en mapas temáticos, análisis espaciales y modelos cartográficos detallados.

- **PIX4D Mapper:** software que permite generar modelos tridimensionales, mapas ortofotograficos y nubes de puntos mediante imágenes aéreas capturadas con drones, cámaras terrestres o satélites.

## 12 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados y el análisis de los datos recopilados mediante las metodologías aplicadas. El propósito es obtener información relevante sobre el comportamiento de la quebrada mediante la fotogrametría con dron a través de imágenes aéreas interpretando las características morfológicas de la misma

### 12.1. Ortofotos y DSM:

Durante el tratamiento de datos se procesó los cinco primeros polígonos de manera individual, resultando en diez DSM y ortofotos que simbolizaban cada polígono trazado, y que a su vez representaban una porción del campo de estudio. Finalmente, se llevó a cabo un procesamiento de los veinte polígonos en un único plano, produciendo una extensa ortofoto requerida para su exportación al programa "ArcGis", con el objetivo de obtener variables hidrológicas. Este proceso de procesamiento duró cuatro días y resultó en productos que pesaban más de 40 GB de memoria.

Se debe utilizar una altura de vuelo que supere los 150 metros, ya que recoge datos de áreas de hasta 9000 metros cuadrados sin comprometer la resolución, y optimizando adecuadamente la energía de las baterías. Además, se determinó que es la altura perfecta para eludir barreras en una misión aérea.

Las ortofotos facilitan la identificación de rasgos del cauce que pueden pasar inadvertidos a primera vista y que no son perceptibles con imágenes satelitales (Aguilar, 2019). Se detectaron alteraciones en la forma del río, mediante la elevada resolución del orto mosaico, también nos facilitó la identificación de áreas con residuo sólidos, pendiente y el tipo de suelo.

**Análisis.** - La implementación de ortofotos y modelos digitales de superficie (DSM) para el estudio hidrológico en la quebrada Compadre Huayco, se evidencia la efectividad de estos instrumentos tecnológicos en investigaciones de alta precisión. La ortofotografía, al ofrecer imágenes de alta resolución, facilita la identificación de rasgos particulares del terreno que resultan complicados de reconocer con imágenes satelitales de menor precisión debido a

que las ortofotos resultan fundamentales para investigaciones de geomorfología, gracias a su habilidad para ilustrar elementos fundamentales del ambiente con gran precisión.

En contraposición, el vuelo de 150 metros de altura, empleado en la captura de imágenes, evidencia ser el más adecuado tanto en cuanto a eficiencia energética como en la calidad de los datos adquiridos. Este método técnico se apoya en estudios como el realizado por Ventura (2020), que detalla que las misiones aéreas a alturas moderadas incrementan la cobertura espacial sin poner en riesgo la exactitud. Además, la utilización de programas especializados como ArcGIS para el análisis subsiguiente fortalece la incorporación de herramientas contemporáneas en investigaciones hidrológicas.

### 12.1.2 Cálculo del área de los polígonos

Al momento de crear el polígono (figura 3), se consideraron aspectos técnicos del UAV, como el tiempo de funcionamiento de la batería. El catálogo técnico del UAV "Phantom 4 pro", informó que las baterías duran alrededor de 30 minutos. No obstante, de acuerdo con pruebas anteriores, se ha establecido que las baterías empleadas en este estudio duraban alrededor de 19 minutos en vuelo bajo condiciones climáticas propicias (sin vientos turbulentos). Asimismo, se determinó que el UAV vuelve a su lugar de origen cuando la batería llega al 30% de energía, lo que disminuye el tiempo de vuelo efectivo a 13 minutos.

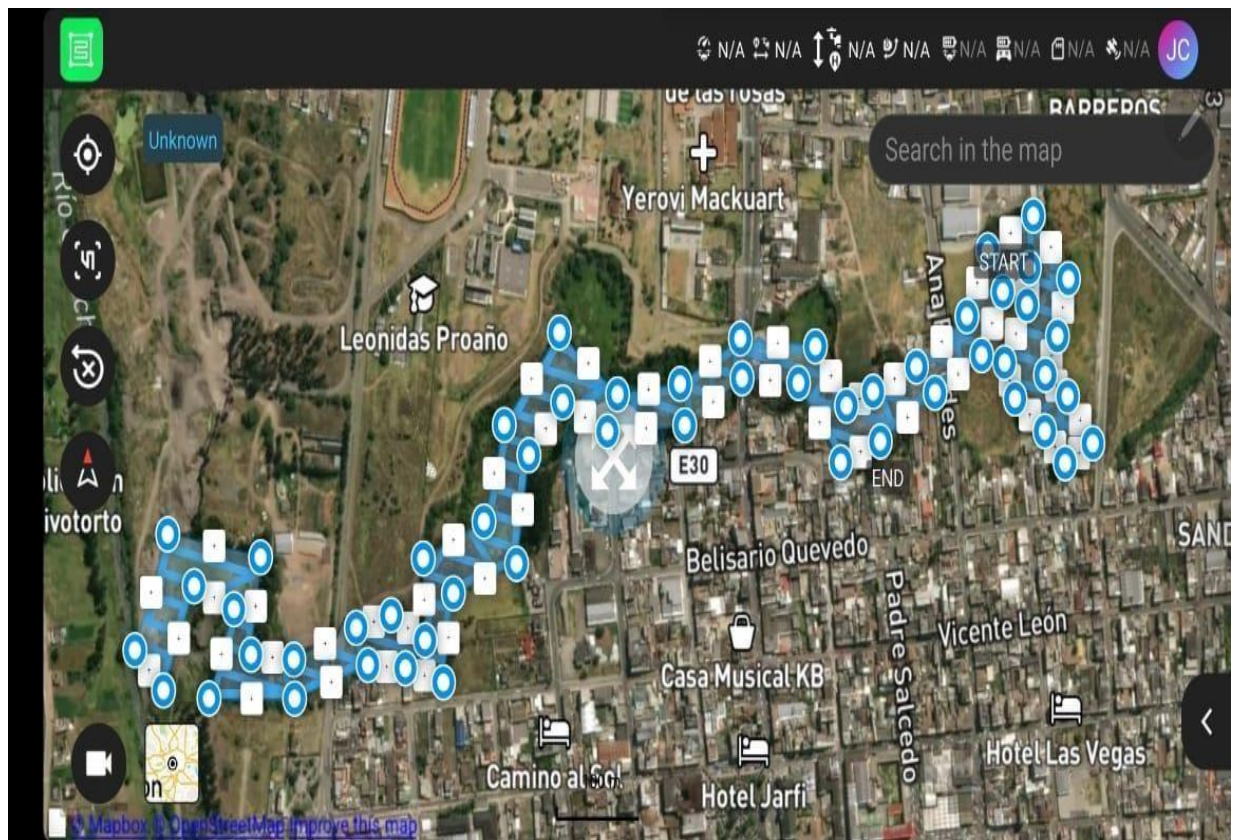
**Figura 3** Trazo de polígonos de referencia



**Nota:** Calculo del área de polígono. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

Además, dado que el dispositivo no es reciente, el uso prolongado de la batería también disminuye la capacidad inicial nominal. Tomando en cuenta estas particularidades, tras la creación del polígono, se exportaron estos datos a un archivo de extensión KML que puede ser consultado en la aplicación "PIX4D Capture". Con este polígono como punto de referencia, en la aplicación se dibujó el trazado de un polígono innovador que establece el área de cobertura y facilita la identificación del tiempo de vuelo requerido para alcanzar la zona de interés (figura 4).

**Figura 4** Trazo del polígono de referencia en PIX4D



**Nota:** Trazo de polígonos. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

En la siguiente imagen se observa el trazo de los polígonos el cual se realizó a una altura de 150 metros con la finalidad de obtener una resolución esperada, a partir de ello se generó 20 polígonos para cubrir toda el área de interés.

### 12.1.3 Puntos de control

En esta situación, se establecieron 3 puntos de control de material plástico (figura 5), con colores brillantes (amarillo - negro) a lo largo de los 20 polígonos, con el objetivo de ser visibles desde el aire e identificados con mayor precisión en el software "PIX4D Mapper".

**Figura 5** Ubicación de los 3 puntos de control



**Nota:** Coordenadas de los 3 puntos de control. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

#### 12.1.4 Tratamiento de Datos

Se representa un ortomosaico en la nube de puntos generada a partir de las imágenes aéreas tomadas por el dron (figura 6), en la cual se visualizó construcciones, se identificó el uso de los suelos y la relación que tiene de la zona urbana con las áreas verdes.

**Figura 6** Ortofoto generado en PIX4D Mapper



**Nota:** Nube de puntos a partir de imágenes aéreas. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

## 12.2 MORFOLOGIA DE LA MICROCENCA

### 12.2.1 Coeficiente de Compacidad de Gravelius

El coeficiente de compacidad de la quebrada compadre Huayco es de 1.65 lo que indica una forma oblonga a rectangular.

$$C_g = \frac{3,100613km}{2\sqrt{\pi 0,280326km^2}}$$

$$C_g = 1.65$$

### 12.2.2 Factor de forma

El factor de forma de la quebrada compadre Huayco es de 0,71 el cual indica que la microcuenca de forma ensanchada, por lo tanto, es más propensa a que el agua de escorrentía genere erosión en áreas específicas.

$$K_f = \frac{0,280326}{0,915928^2}$$

$$K_f = 0.71$$

**Tabla 7** Rango de valores del factor de forma de Horton

Rango de Valores	Forma de la Cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,3 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 -1,12	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

**Nota:** Los valores se asocian la forma de la cuenca. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### 12.2.3 Factor de elongación

Indica un factor de elongación bajo, lo que sugiere que la microcuenca Compadre Huayco tiene una forma alargada, debido a que valores menores a 0.5 están asociados con cuencas elongadas, lo que implica que los caudales pueden concentrarse lentamente en comparación con cuencas más circulares. Esto podría reducir el riesgo de inundaciones rápidas, pero aumentar el tiempo de concentración del flujo.

$$R_e = \frac{(1,128)(\sqrt{0,280326})}{2.234}$$

$$R_e = 0.267$$

### 12.2.4 Índice de Alargamiento

El rango de alargamiento de la quebrada compadre Huayco es de 4,85, el cual indica que la microcuenca es muy alargada y propensa a inundaciones.

$$I_a = \frac{2.234}{0.46}$$

$$I_a = 4.85$$

**Tabla 8** Rango de Alargamiento de la microcuenca

Rango de $I_a$	Clases de alargamiento
0 – 1,4	Poco alargada
1,5 – 2,8	Moderadamente alargada
> 2,9	Muy alargada

**Nota:** Determina el alargamiento de la cuenca. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### 12.2.5 Perímetro, Longitud y volumen

El perímetro, longitud y volumen de la microcuenca de la quebrada Compadre Huayco muestra una caracterización detallada de su extensión y capacidad hídrica. La longitud del tramo delimitado es de 1,797 km, lo que permite definir con precisión la estructura del cauce principal. Además, el perímetro es de 3,120 km y el volumen estimado de la microcuenca es de 79,286,115 m<sup>3</sup>, lo que indica una significativa capacidad de almacenamiento de agua, relevante para la gestión hídrica y el análisis de riesgo de inundaciones y gestión hídrica (Fotografía 6).

### 12.2.6 Pendiente

En la (figura 7) se observa la tabla de pendientes generada a partir del programa ArcGis.

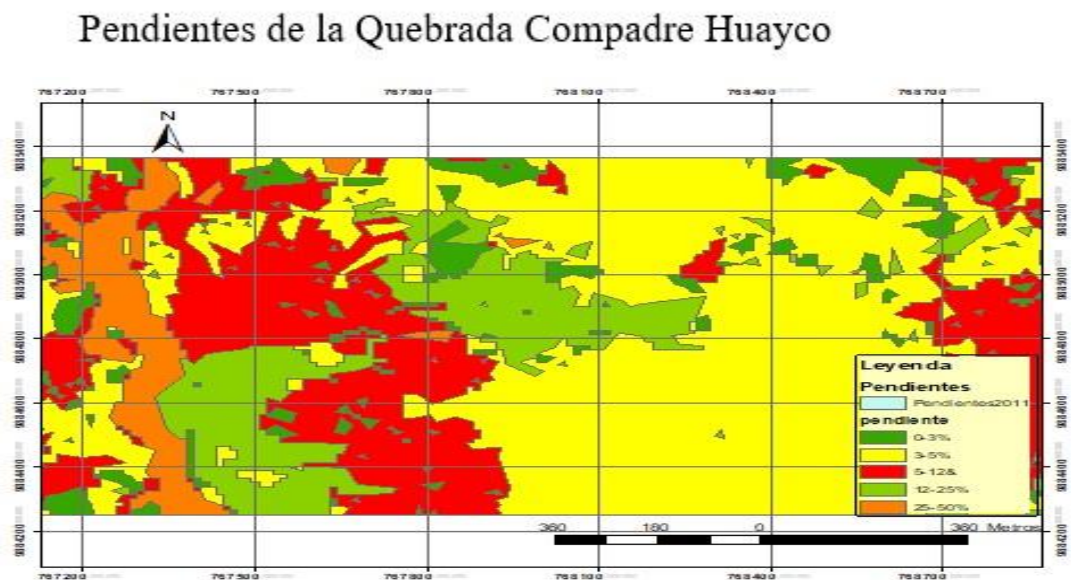
**Figura 7** Área de pendientes de la microcuenca compadre Huayco en ArcGis

OBJECTID *	Shape *	gridcode	Shape Length	Shape Area	area hec	perndiente
1	Polígono	1	52595,716281	224589,386488	22	0-3%
2	Polígono	2	87266,537595	180949,348472	18	3-5%
3	Polígono	3	79857,259882	140712,677477	14	5-12%
4	Polígono	4	72551,574674	176656,669232	18	12-25%
5	Polígono	5	29744,637869	72565,55968	7	25-50%
6	Polígono	6	4696,817248	10826,293605	1	50-75%

**Nota:** Calculo en ArcGis del área de pendiente. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025.

En la siguiente (figura 7), se observa que las áreas con menor pendiente (0-3%, en verde claro) se concentran en la zona central del mapa, lo que indica terrenos más estables y potencialmente aptos para la agricultura o asentamientos, las pendientes moderadas (12-25%, en verde oscuro) están distribuidas de forma intermedia y pueden ser vulnerables a procesos erosivos si no se implementan medidas de conservación y las áreas con pendientes elevadas (25-50%, en amarillo) y muy altas (>50%, en rojo) se localizan en los bordes del mapa, especialmente al oeste y este, donde el terreno es más accidentado y susceptible a erosión intensa y desprendimientos.

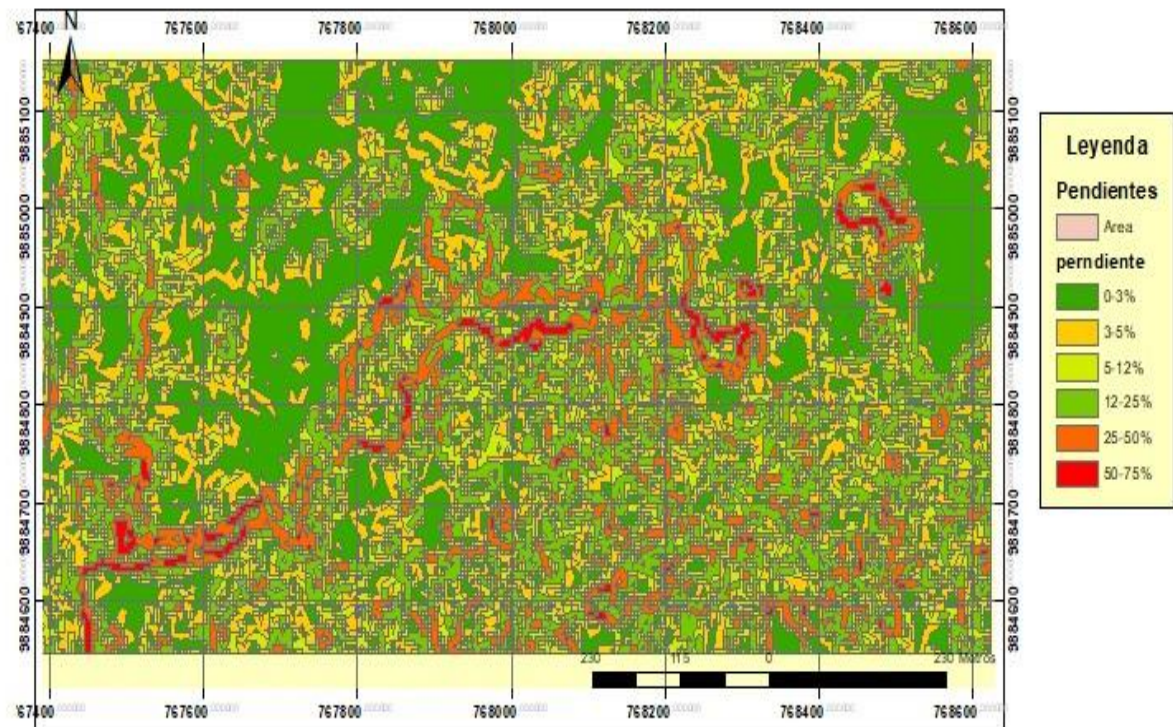
**Figura 8** Mapa de pendiente de la zona de estudio imagen satelital 2011



**Nota:** Mapa generado mediante el shape pendiente año 2011. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

Se realizó el análisis con la información obtenida la pendiente fue una de las variables morfológicas analizadas en la microcuenca de la quebrada compadre Huayco los rangos de la pendiente se presentan de forma variable, el cual está relacionado con la quebrada presente, se observa la ( figura 7) que con 22 ha la pendiente que predomina es a nivel, la cual es de uso agrícola, posteriormente 18 ha tiene una pendiente ligeramente inclinada esta área es afectada por la erosión hídrica, 14 ha cuanta con una pendiente moderada, 7 ha presentan una pendiente ligeramente escarpada presentado erosión en el suelo y finalmente 1ha cuenta con una pendiente muy pronunciada donde se encuentra el desprendimiento de rocas, como se observa en la Figura 13.

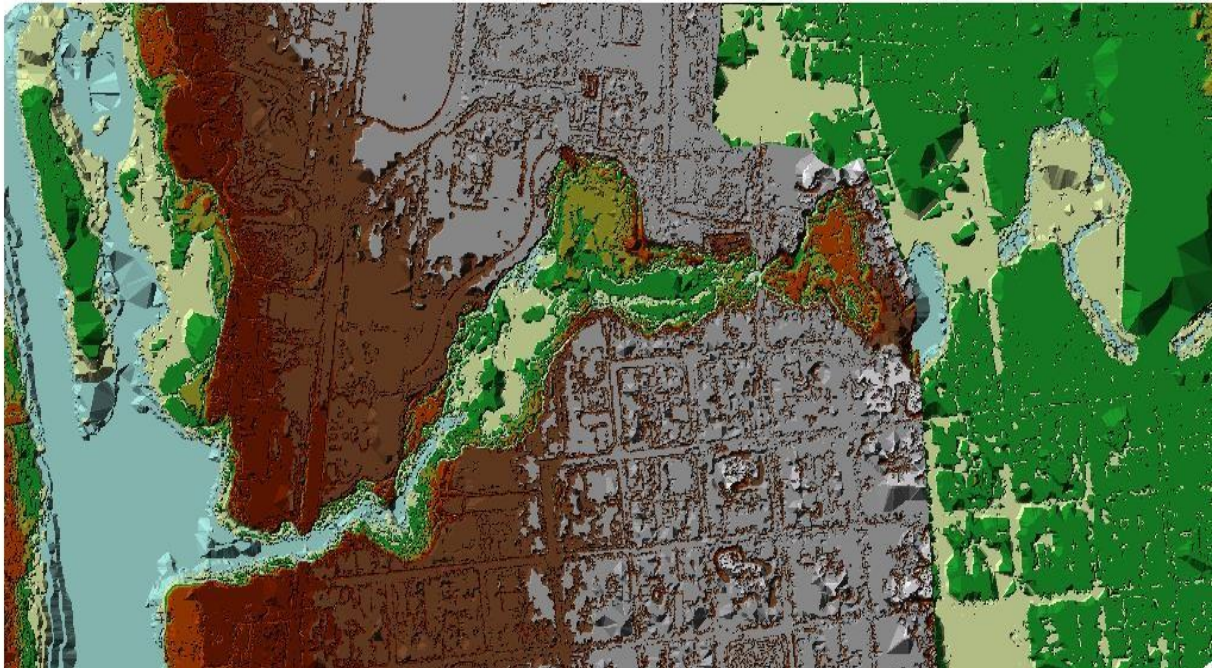
**Figura 9** Mapa de pendiente de la zona de estudio imagen UAV 2024



**Nota:** Mapa generado mediante imagen aérea por el dron 2024. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

A continuación, en la figura 10 se generó un TIN utilizando el modelo de elevación digital del área de estudio mediante un raster para posteriormente interpolar el ramo del río con el TIN previamente creado, se elaboró un perfil de pendiente en 3D utilizado ArcGis, generado una imagen que muestra la pendiente que sigue el cauce del río.

**Figura 10** TIN de la zona de estudio



*Nota:* Indica la pendiente que sigue el cauce del río mediante una imagen aérea. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### 12.2.7 Volumen del cauce

A partir del TIN generado se utilizó la herramienta Surface volumen para obtener el volumen del tramo de estudio el cual es 79286115 m<sup>3</sup>.

A partir del análisis de los resultados, se realizó una comparación de los resultados con la finalidad de evidenciar cual es el método preciso.

**Tabla 9** Comparación del volumen obtenido en la quebrada compadre Huayco

Volumen en m <sup>3</sup>	
Uso de imágenes satelitales	Uso de imágenes por UAV
82,281,469	79,286,115

*Nota.* Resultados sobre el volumen del cauce a partir de imágenes satelitales e imágenes UAV.

Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### 12.2.8 Ancho y longitud del cauce

**Tabla 10** Comparación del ancho obtenido en la quebrada compadre Huayco

Ancho en km
-------------

<b>Variable</b>	<b>Uso de imágenes satelitales</b>	<b>Uso de imágenes por UAV</b>
<b>Ancho</b>	0,016401km	0,01025km
<b>Longitud</b>	1,7973 km	2,08684 km

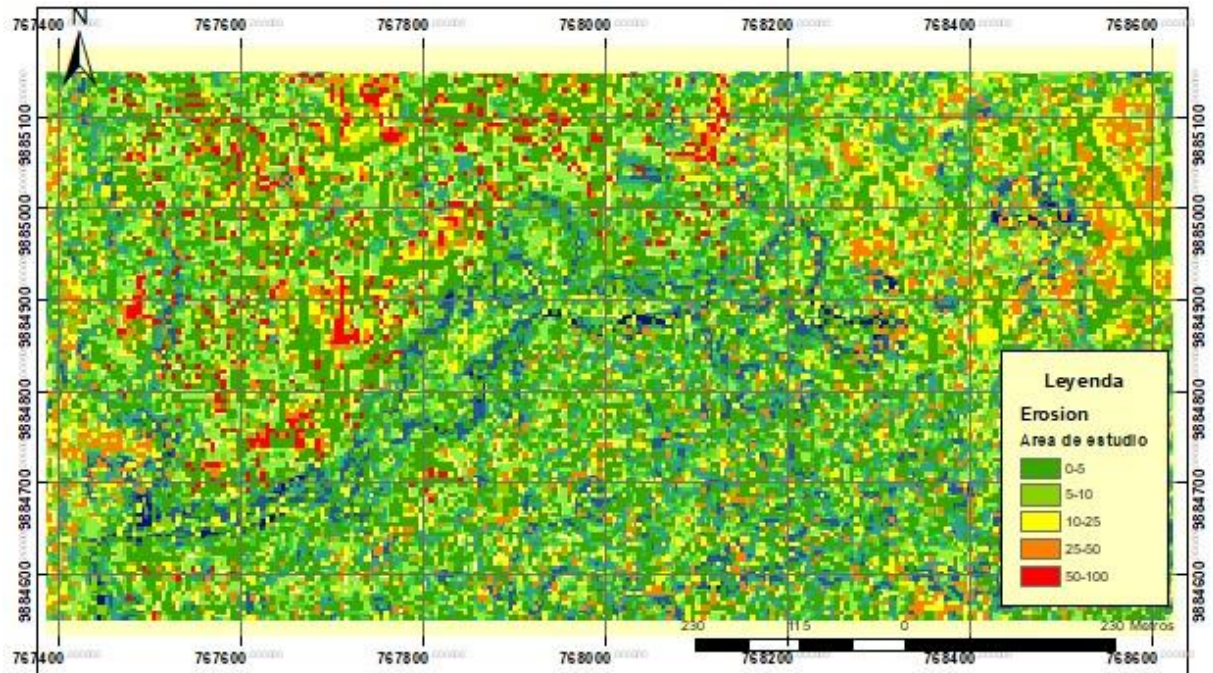
*Nota.* Datos obtenidos a partir de imágenes satelitales e imágenes UAV. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### **12.2.9 Erosión**

Se observa una distribución variada de la erosión en la zona de estudio, lo que permite identificar áreas de mayor vulnerabilidad, en la cual predomina en la mayor parte del mapa de 0-10 como se observa en la (figura 11) en verde claro, lo que indica zonas con menor afectación por escorrentía y procesos erosivos, la erosión moderada 10-25, en amarillo y verde oscuro distribuida de manera dispersa en la microcuenca, puede ser consecuencia de factores como la pendiente y la cobertura vegetal, la alta erosión 25-50, en naranja, se presenta en ciertos sectores y es indicativa de suelos con mayor susceptibilidad a la degradación y finalmente la erosión extrema 50-100, en rojo que se concentra en puntos específicos, generalmente asociados con pendientes elevadas, suelos degradados o intervención humana.

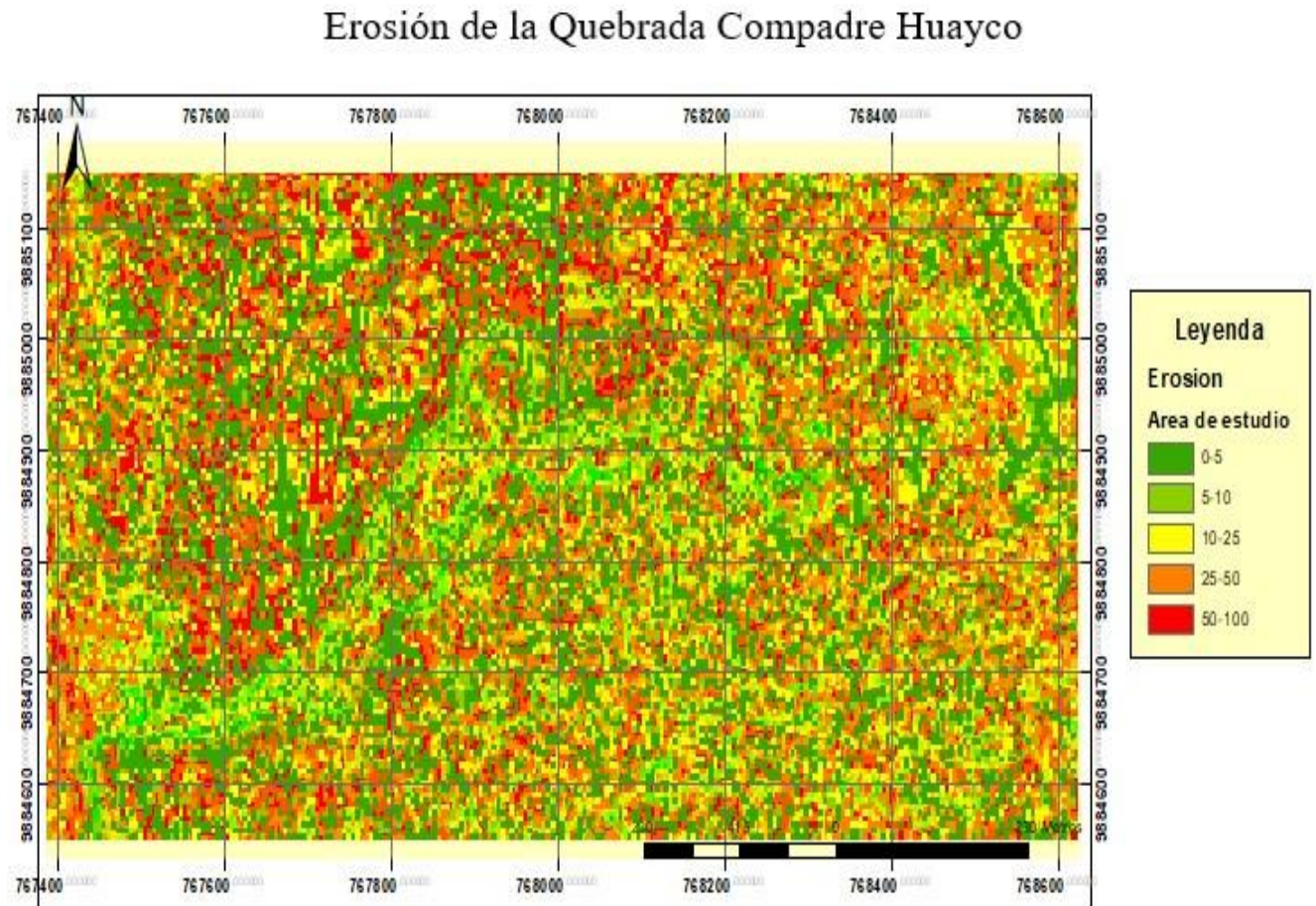
**Figura 11** *Mapa de erosión de la zona de estudio imagen satelital 2011*

## Erosión de la Quebrada Compadre Huayco

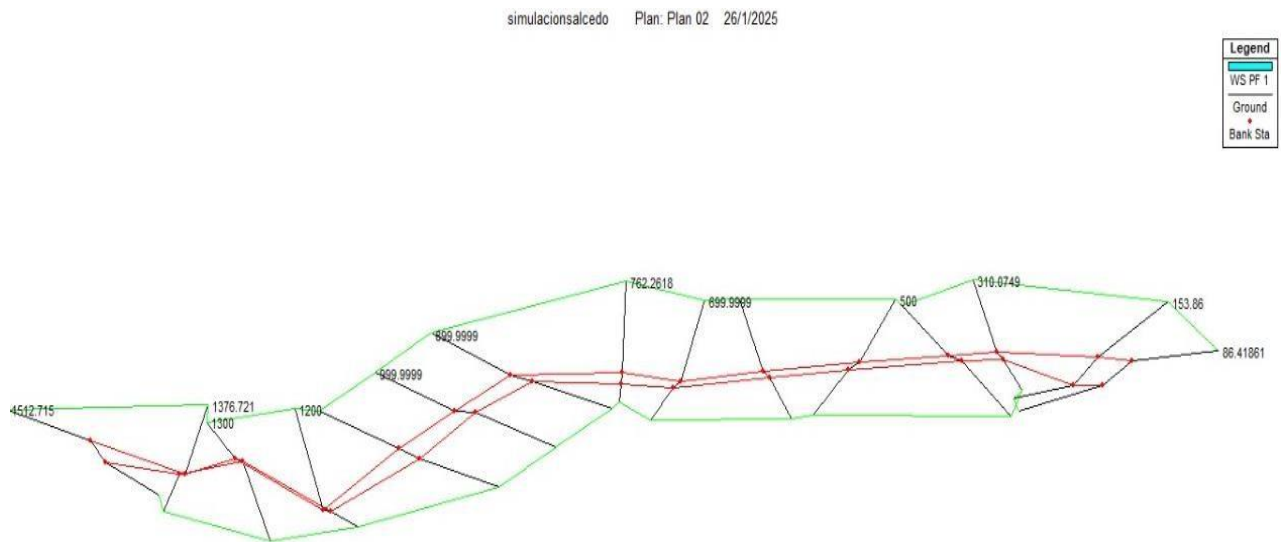


**Nota:** Mapa generado mediante el shapefile erosión año 2011. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

Se define como erosión al proceso de eliminación por agua, viento o labranza, para ello se realizó el mapa de susceptibilidad de erosión en la herramienta ArcGis, del cual se sacó los porcentajes de erosión de la microcuenca mediante las imágenes generadas por el Dron se observa en la (figura 12). (OIEA, 2024) menciona que debido a varios factores como: la pendiente, el tipo de suelo, la precipitación, escorrentía, la cobertura del suelo, factores antrópicos, se identifica la susceptibilidad de los suelos a procesos erosivos, en este sentido se representa que en la erosión está distribuida heterogéneamente sin embargo existen áreas críticas debido a la pendiente elevada y fenómenos de desprendimiento.

**Figura****12***Mapa de erosión de la zona de estudio imagen UAV 2024***12.2.10 Susceptibilidad a inundaciones**

Se evidencia que la quebrada presenta secciones con riesgo de inundación (figura 17), particularmente en los tramos bajos. Este riesgo puede estar relacionado con una combinación de factores, como una reducción en la capacidad hidráulica del cauce, pendientes suaves o acumulación de sedimentos. (Orosco et al., 2024) menciona que la simulación puede ser clave para la implementación de medidas de control, como el reforzamiento de las márgenes, construcción de diques o mejoramiento del drenaje aguas abajo. Es fundamental monitorear estas áreas críticas para mitigar impactos futuros, especialmente en eventos de lluvias intensas o crecidas.

**Figura****13***Mapa de susceptibilidad a inundaciones de la zona de estudio*

**Nota:** Determina susceptibilidad a inundaciones generada en el programa ArcGis. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

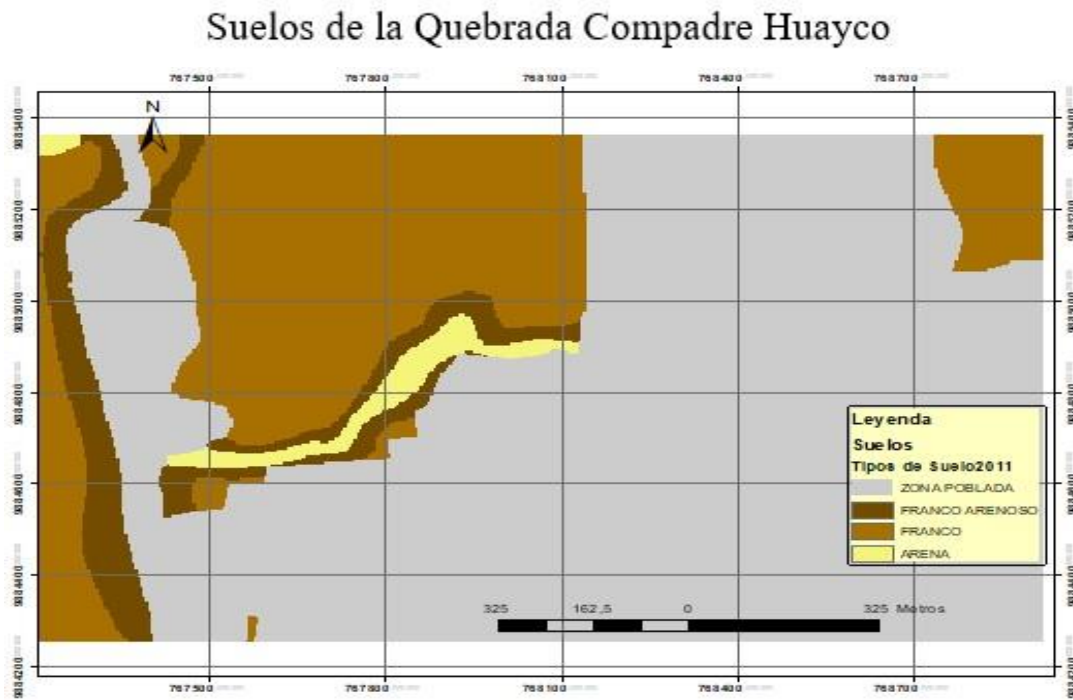
**12.2.11 Tipo de suelo**

Se observa en la (figura 18) la distribución de los diferentes tipos de suelo en la microcuenca de la quebrada Compadre Huayco, el tipo de suelo franco arenoso se encuentra en gran parte del territorio, especialmente en la zona sureste, el tipo de suelo franco se ubica en la zona norte y algunas partes centrales y son suelos con mejor retención de humedad y mayor fertilidad, adecuados para la agricultura y la vegetación, el tipo de suelo arena se concentra en franjas cercanas al cauce de la quebrada .

**Figura**

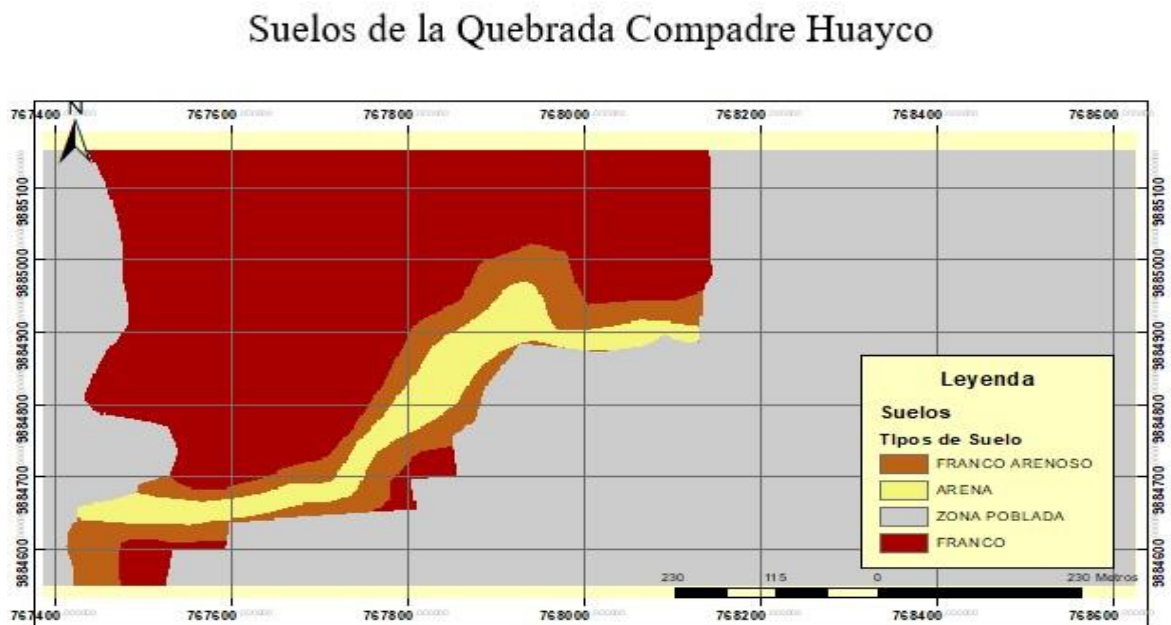
14

*Mapa del tipo de suelo en la zona de estudio imagen satelital 2011*



*Nota:* Mapa generado mediante el shape tipo de suelo año 2011. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

**Figura 15** *Mapa del tipo de suelo en la zona de estudio imagen UAV 2024*



*Nota:* Mapa generado mediante imagen aérea por el dron 2024. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

**Análisis.** - El estudio morfológico de la microcuenca Compadre Huayco muestra cómo factores esenciales como la pendiente, el volumen y las propiedades del cauce, en combinación con elementos como la erosión, la propensión a inundaciones y la naturaleza del suelo, se entrelazan para establecer la dinámica ambiental de esta zona. El cambio en las inclinaciones evidencia una relación directa con los procesos de erosión del terreno. Las zonas con pendientes moderadas y levemente inclinadas (18 y 14 ha) son las más impactadas por la erosión del agua, resaltando la relevancia de la inclinación en la susceptibilidad del terreno a la degradación. En contraposición, los terrenos con inclinaciones más pronunciadas (1 ha) presentan un peligro considerable para la estabilidad geológica.

Respecto al volumen del cauce, los resultados logrados a través de imágenes UAV (79,286,115  $m^3$ ) mostraron una precisión superior a las imágenes satelitales, lo que coincide con investigaciones como la realizada por (Ventura, 2020), que subrayan que los UAV facilitan análisis más exhaustivos gracias a su elevada resolución. Igualmente, el estudio del ancho y longitud del cauce muestra diferencias notables entre ambos procedimientos, en los que las imágenes UAV detectan valores de longitud superiores (2.08684 km), lo que fortalece su efectividad en la identificación de detalles topográficos más pequeños.

La erosión en la microcuenca se distribuye de forma variada, influenciada por elementos como la inclinación alta y el tipo de terreno franco arenoso, más propenso al desprendimiento, las zonas críticas de erosión resaltan la importancia de implementar tácticas de preservación del suelo, como la aplicación de cobertura vegetal, para disminuir el efecto de las precipitaciones y la escorrentía.

### 12.3 TRATAMIENTO DE DATOS

Se exporto todas las fotografías al software PIX4D Mapper, con la finalidad de obtener datos ortofotos de cada uno de los polígonos seleccionados de la Quebrada Compadre Huayco este análisis se realizó en 3 pasos:

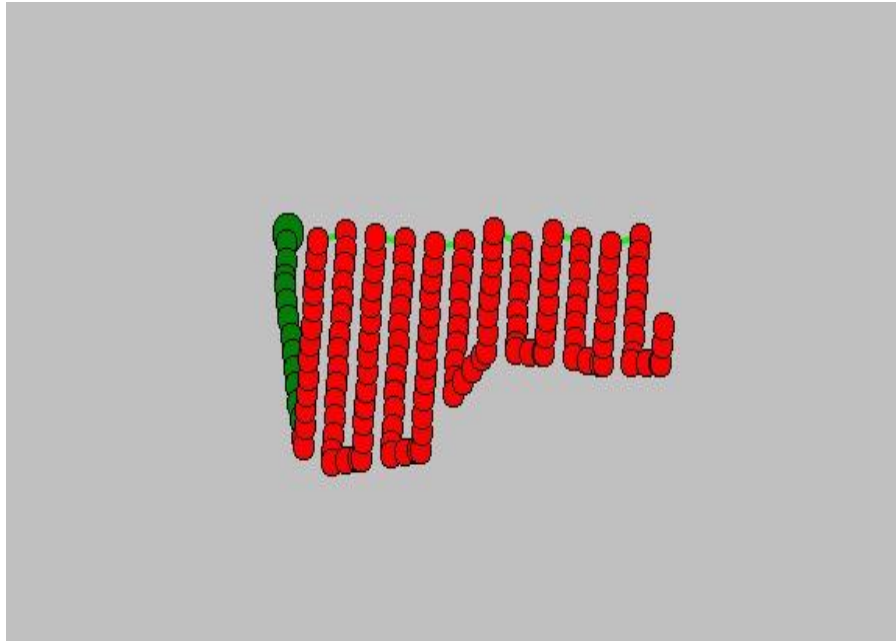
**Tabla 11** *Fotografías obtenidas en cada uno de los vuelos*

N.º de vuelo	N.º de fotografías
1	32 fotografías
2	32 fotografías
3	32 fotografías
4	32 fotografías
5	32 fotografías

**Nota.** N° total de fotografías tomadas con el dron. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

1. **Proceso Inicial.** - Se exporto las imágenes obtenidas al software y se georreferencio cada una de ellas, donde se generó una previsualización del área como se observa en la Imagen

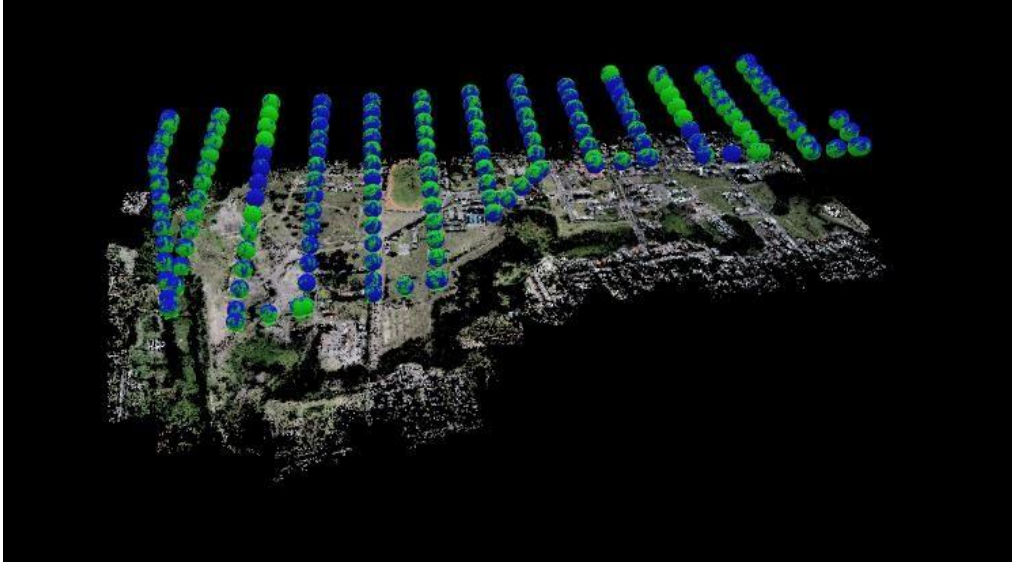
**Figura 16** Fase Inicial del procesamiento de información en PIX4D



**Nota.** Análisis de las imágenes obtenidas en los vuelos. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

2. **Generación de la malla de puntos o nube.** - El software representa puntos representados en colores azules y verdes, los cuales corresponden a la cámara y posición clave para las capturas de las imágenes sobre el modelo 3D, a partir de ello se genera la malla de puntos para visualizar el lugar de mejor manera.

**Figura 17** *Generación de la malla de puntos o nube*



*Nota.* Vista en 3D de las imágenes obtenidas en la zona de estudio. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

**3. Obtención del SM u Orto mosaico.** - Como último paso se obtuvo el Modelo Digital de superficie en tres dimensiones, en el cual se observó detalles topográficos como el cauce de la quebrada, zonas de vegetación y los relieves naturales en las orillas.

**Figura 18** *Modelos digital de terreno 3D en PIX4D Mapper*



*Nota.* Imagen generada con datos topográficos mediante el análisis de las diferentes fotografías aéreas. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

### 12.3.1 ANALISIS DEL ÁREA DE INTERES

En la siguiente tabla proporciona información integral de las características geográficas presentes en la microcuenca de la quebrada compadre Huayco, la cual permite mejora la comprensión de las actividades humanas o fenómenos naturales presentes en la misma.

**Tabla 12** Comparación de los resultados de imágenes satelitales e imágenes mediante UAV

<b>Comparativa de Resultados</b>			
<b>Variable</b>	<b>Uso de imágenes satelitales</b>	<b>Uso de imágenes por UAV</b>	<b>Análisis</b>
<b>Ancho</b>	0,016401km	0,01025km	Las imágenes satelitales presentan un valor ligeramente mayor en comparación con UAV lo que sugiere que los UAV ofrecen mayor precisión en la delimitación del cauce.
<b>Longitud</b>	1,7973 km	2,08684 km	La imagen UAV es más precisa en la delimitación del área de estudios debido a la detección de contornos y límites.
<b>Volumen</b>	82,281,469	79,286,115	Los UAV registran un volumen menor frente a las imágenes satelitales (lo que puede deberse a una mejor precisión en la medición de la profundidad del cauce.
<b>Pendiente</b>	0% - 75%	0%-75	Las imágenes satelitales de 2011 proporcionaron un análisis general de la pendiente, permitiendo la categorización de las áreas según su inclinación y potencial de uso.  El uso de UAV en 2024 ha permitido obtener un mapeo más detallado, identificando variaciones más pequeñas en la pendiente y mejorando

			la precisión en la detección de zonas vulnerables.
<b>Erosión</b>	0 – 100	0 – 100	El uso de UAV en 2024 ha permitido una caracterización más detallada y precisa de las áreas erosionadas, mejorando la identificación de sectores críticos que requieren medidas de conservación del suelo. En contraste, las imágenes satelitales de 2011 brindaban una visión general, pero con menor resolución para evaluar variaciones locales.
<b>Tipo de suelo</b>	2011	2024	A lo largo de los años, la dinámica del suelo en la microcuenca Compadre Huayco ha sido influenciada por factores como la erosión, la pendiente y la intervención humana. El uso de UAV en 2024 ha permitido una caracterización más precisa del suelo, destacando la importancia de monitorear estos cambios para mitigar riesgos ambientales y promover un manejo adecuado del recurso suelo.
<b>Susceptibilidad a inundaciones</b>	Sin Información	Riesgo de inundación	Se destaca el uso de UAV ya que nos ayuda a identificar el riesgo de inundación, mediante las imágenes de alta resolución y así poder tener una base de datos para estudios posteriores para reforzar la necesidad de tomar medidas de control.

<b>Análisis multitemporal</b>	2011	2024	El análisis multitemporal de imágenes satelitales y datos recopilados con UAV de la microcuenca, se identificó
			que ha mantenido una morfología estable durante un período de 13 años.

*Nota.* Análisis de las variables morfológicas de la zona de estudio. Fuente: Elaborado por Carvajal C, 2025

La tabla 12 comparativa muestra las discrepancias notables entre la utilización de imágenes satelitales y UAV para el estudio de las propiedades geográficas de la microcuenca Compadre Huayco. En cuanto a su amplitud, las imágenes satelitales cubren zonas más amplias, mientras que las imágenes UAV, a pesar de ser más exactas, tienen restricciones en su cobertura, tal como lo indica (Ventura, 2020), que los UAV son perfectos para investigaciones locales por su elevada resolución, pero resultan ineficaces en análisis regionales.

En términos de longitud del cauce, el UAV muestra una mayor exactitud al definir contornos y límites, lo que resulta esencial para investigaciones minuciosas de microcuencas. (Prieto, 2018) atribuye la habilidad de los UAV para identificar modificaciones geomorfológicas más pequeñas, lo que también justifica los resultados más precisos en la determinación del volumen, pese a las discrepancias significativas en los resultados logrados entre ambas metodologías.

Respecto a la pendiente, ambos procedimientos muestran un rango parecido (0%-75%), sin embargo, la resolución elevada de las imágenes UAV posibilita la captura de pequeñas variaciones topográficas que no son detectables a través de imágenes satelitales. Este grado de precisión también se manifiesta en la valoración de la erosión, en la que las imágenes UAV proporcionan una representación más exacta de las zonas impactadas, un punto notable es la propensión a inundaciones, en la que únicamente las imágenes UAV pudieron elaborar mapas de riesgo precisos en las áreas bajas de la quebrada.

La investigación se enfocó en el estudio minucioso de las características hidrográficas de la quebrada Compadre Huayco, utilizando métodos sofisticados de fotogrametría y análisis espacial. Se utilizaron ortofotos y modelos digitales de superficie (DSM) para determinar con exactitud las propiedades morfológicas del cauce, la diversidad de las inclinaciones, los

procesos de erosión y las áreas de riesgo de inundación. La utilización de drones posibilitó la recopilación de datos con gran precisión, proporcionando una resolución superior frente a las imágenes satelitales tradicionales. Esta tecnología permitió identificar con mayor exactitud cambios geomorfológicos y variaciones en la dinámica de los ríos, lo que permitió un estudio minucioso de las condiciones del terreno.

Entre los descubrimientos más relevantes, se estableció que la microcuenca tiene una forma alargada, lo que la hace especialmente propensa a procesos de erosión en determinadas zonas. El terreno presenta una variación considerable en su inclinación, con áreas estables que son adecuadas para actividades agrícolas y otras con pendientes marcadas que suponen un elevado peligro de deslizamientos de tierra, y se detectaron zonas críticas con intensa erosión y zonas extremadamente susceptibles a inundaciones, lo que subraya la importancia de aplicar estrategias eficaces de administración y preservación del territorio.

Respecto a la capacidad del cauce, el cálculo fundamentado en información recogida a través de UAV mostró un volumen de 79,286, 115 m<sup>3</sup>, evidenciando una discrepancia mínima con los cálculos derivados de imágenes satelitales. También, el estudio del tipo de suelo mostró que en la zona de estudio predominan los suelos franco arenosos, lo cual impacta directamente en la infiltración del agua y la estabilidad del suelo. Este elemento es vital para el diseño de estrategias de mitigación, dado que los terrenos con esta composición pueden incrementar la propensión a la erosión y alterar la retención de agua en la microcuenca.

### **13. CONTESTACIÓN A LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS**

#### **1. ¿Cómo influye la morfología del cauce de la Quebrada Compadre Huayco en la dinámica hidrológica y la distribución de los caudales durante eventos de lluvia en la microcuenca?**

La estructura del cauce de la quebrada Compadre Huayco tiene un impacto considerable en la dinámica hidrológica y la disposición de los caudales durante sucesos de lluvia, dado que su forma alargada ( $K_f = 0.71$ ) y su alto índice de alargamiento ( $I_a = 4.85$ ) promueven la acumulación y el desplazamiento gradual del agua, lo que aumenta la propensión a la erosión en zonas concretas. La fluctuación de la pendiente, con áreas de inclinación reducida (0-3%) en el centro adecuadas para la infiltración y otras con inclinaciones superiores al 50% en los bordes, provoca variaciones en la rapidez del flujo, incrementando la posibilidad de desprendimientos y erosión en áreas vulnerables. También, la capacidad del cauce para almacenar agua (79,286,115 m<sup>3</sup>) y la existencia de terrenos franco arenosos promueven la infiltración durante eventos de fuertes precipitaciones, el agua se desliza velozmente desde las pendientes elevadas hacia las áreas bajas, causando un

aumento en los flujos que, junto con la sedimentación, incrementa la probabilidad de inundaciones y erosión rápida. Esta relación entre la geomorfología, la hidrología y las propiedades del suelo resalta la relevancia de tácticas de administración que disminuyan los impactos de la escorrentía y la inestabilidad del suelo.

**2. ¿Cuál es la precisión y efectividad de la fotogrametría con drones en la estimación de las características geoespaciales y la identificación de áreas de riesgo hídrico, como la erosión y los deslizamientos, en la quebrada estudiada?**

El uso de drones para la fotogrametría en la quebrada Compadre Huayco ha evidenciado una gran exactitud y eficacia en la evaluación de propiedades geoespaciales y en la detección de zonas de riesgo hídrico, tales como la erosión y los deslizamientos. La utilización de ortofotos y modelos digitales de superficie (DSM) posibilitó la detección de cambios en la morfología del cauce con más precisión que las imágenes satelitales, simplificando la detección de áreas de erosión con valores de 0 a 100 y pendientes críticas que llegan hasta el 75%. El procedimiento utilizado demostró que las imágenes UAV proporcionan una resolución superior en la delimitación del cauce, con un ancho de 0,01025 km y una longitud de 2,08684 km, en contraste con las imágenes satelitales que capturaron 0,016401 km y 1,7973 km, respectivamente. Igualmente, mediante UAV se estimó el volumen del cauce de 79,286,115  $m^3$ , en cambio, mediante imágenes satelitales se estimó de 82,281,469  $m^3$ , lo que señala una precisión superior en la medición de profundidad utilizando drones. Adicionalmente, el estudio multitemporal mostró que, durante los últimos 13 años, la quebrada ha conservado una morfología estable, aunque con propensión a inundaciones en sus zonas bajas.

## **14. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **14.1 IMPACTO TECNICO**

La aplicación de fotogrametría por medio de drones en la Quebrada Compadre Huayco facilita la adquisición de información topográfica y geoespacial de gran exactitud, mejorando así el estudio hidrológico y geomorfológico. Con una altura de vuelo ideal de 150 metros, se obtienen imágenes precisas que simplifican la elaboración de ortofotos y modelos digitales de elevación (DSM), sobrepasando la resolución de las fotografías satelitales. La tecnología UAV facilita la identificación precisa de cambios en el cauce, erosión y pendientes críticas (0%-75%), además de cuantificar con precisión el ancho (0,01025 km), la longitud (2,08684 km) y la capacidad del cauce (79,286,115  $m^3$ ). Instrumentos como PIX4D y ArcGIS optimizan el manejo de datos, posibilitando

un análisis multitemporal y la modelización de peligros, tales como inundaciones y deterioro del suelo.

#### **14.2 IMPACTO SOCIAL**

El uso de drones para la fotogrametría en la quebrada Compadre Huayco genera un beneficio social al suministrar información exacta para la administración sostenible de los recursos acuáticos en la parroquia San Miguel. La resolución elevada de las imágenes UAV facilita la identificación de áreas de riesgo, como áreas susceptibles a la erosión e inundaciones, lo que simplifica la organización de acciones preventivas. Con estos datos, es posible elaborar estrategias eficaces para mitigar catástrofes naturales, disminuyendo el efecto de deslizamientos y crecidas que impactan a la comunidad. Además, el acceso a información exhaustiva potencia la toma de decisiones de autoridades locales y habitantes, fomentando una mejor organización del territorio. La implementación de estas investigaciones fomenta iniciativas de preservación ambiental, salvaguardando el ecosistema y asegurando la seguridad del agua.

#### **14.3 IMPACTO AMBIENTAL**

Desde una perspectiva ambiental, el estudio de la microcuenca a través de la fotogrametría con drones facilitó la identificación con gran exactitud de zonas susceptibles a la erosión del agua, deslizamientos de tierra y modificaciones en la utilización del suelo. La tecnología UAV, que incluye imágenes de alta resolución y modelos digitales de altitud, simplificó la identificación de pendientes críticas (0%-75%) y áreas con gran riesgo de deterioro. Esta información facilita la realización de diagnósticos exhaustivos acerca del efecto de la actividad humana en la cobertura del suelo, fomentando estrategias de preservación fundamentadas en pruebas. Adicionalmente, los datos recabados son esenciales para la recuperación ecológica y la salvaguarda de la biodiversidad, disminuyendo la fragmentación de los hábitats naturales.

#### **14.4 IMPACTO ECONOMICO**

El uso de drones y programas especializados en el análisis geoespacial produce ventajas económicas al mejorar la administración eficaz de los recursos acuáticos y perfeccionar su empleo en áreas fundamentales como la agricultura. La exactitud de los datos facilita el seguimiento de la disponibilidad de agua, la identificación de áreas de riesgo y la creación de estrategias para minimizar las pérdidas debido a la erosión e inundaciones. Esto permite una organización agrícola más eficaz, disminuyendo los gastos relacionados con el derroche de agua y la degradación del terreno. Además, al evitar catástrofes naturales a través de una gestión eficiente del territorio, se reducen los daños en cultivos e infraestructura, reduciendo así las pérdidas económicas y a aplicación de estas tecnologías disminuye la demanda de investigaciones topográficas costosas, proporcionando una opción más ágil y asequible.

## **15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **15.1 CONCLUSIONES**

El uso de ortofotos y modelos digitales de superficie (DSM) facilitó el análisis exhaustivo del ambiente hidrológico de la quebrada Compadre Huayco, ofreciendo datos exactos acerca de la estructura del cauce y las modificaciones del suelo. Los hallazgos demuestran la efectividad de la tecnología actual para detectar problemas como alteraciones en la estructura del cauce y la acumulación de sedimentos, elementos que afectan la dinámica del agua y la geomorfología del área de análisis.

A partir de los datos morfológicos de la microcuenca Compadre Huayco, obtenidos mediante herramientas como UAV y ArcGIS, fue posible identificar factores clave que influyen en su dinámica ambiental. Los resultados demuestran que las pendientes moderadas e inclinadas (18, 14 y 1 ha) están relacionadas directamente con procesos de erosión y desprendimientos, destacando la importancia de estrategias de estabilización del suelo. Además, el volumen del cauce ( $79,286,115 \text{ m}^3$ ) y su longitud (2,08684 km), obtenidos mediante UAV resaltan la precisión de estas tecnologías frente a métodos satelitales. La susceptibilidad a inundaciones en tramos bajos evidencia la necesidad de medidas de control hidráulico.

Se demuestra que las imágenes UAV proporcionan una mayor precisión en la representación de las características del cauce, facilitando la identificación precisa de áreas impactadas por la erosión y susceptibles a inundaciones. No obstante, su escasa cobertura espacial hace que las imágenes satelitales sean más apropiadas para investigaciones de gran envergadura, particularmente en análisis multitemporales, donde los registros históricos son esenciales para valorar las variaciones hidrológicas y geomorfológicas en la microcuenca.

## 15.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda al GAD Municipal, priorizar el uso de estrategias de gestión ambiental que combinen el uso de ortofotos y modelos digitales de superficie con un monitoreo constante para detectar cambios en la morfología del cauce y el uso del suelo en la quebrada Compadre Huayco e integrar políticas de sostenibilidad que regulen las actividades humanas, como la construcción de infraestructuras y la disposición de residuos sólidos, para minimizar impactos negativos.

Sería conveniente que las autoridades competentes del cantón Salcedo implemente estrategias de conservación del suelo en las áreas con pendientes moderadas y franco arenoso, priorizando técnicas como la cobertura vegetal y la construcción de terrazas para reducir la erosión hídrica. Además, en los tramos bajos del cauce, se deben diseñar medidas de mitigación de inundaciones, como la instalación de diques y el refuerzo de márgenes fluviales, con base en los datos obtenidos mediante UAV, y se debe fomentar el uso adecuado del suelo en áreas que tienen un mayor potencial para actividades agrícolas sostenibles, combinando prácticas de manejo que reduzcan la vulnerabilidad del ecosistema.

Con la información obtenida se recomienda a futuros investigadores, el uso de drones con RTK para incrementar la exactitud geoespacial y disminuir la necesidad de puntos de control en tierra. Los drones equipados con sensores LiDAR o de múltiples espectros mejoran la identificación de cambios en la erosión y la cobertura del terreno. En zonas amplias, añadir imágenes satelitales de pago puede optimizar gastos y tiempo al proporcionar análisis de variaciones históricas.

## 16 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, F. (2019). *Fusion de nubes de puntos de escáner láser terrestre y fotogrametría aérea basada en imágenes de drones para el inventario de bosques mediterraneos*.
- Alonso, I., & Gorostidi, J. (2020). *Fotogrametría portable en proceso con marcadores ópticos aplicada a la metrología dimensional de alto rango*.
- Arévalo, B., y Bayona. (2018). *Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital*. Tecnura.
- Arroyo, A. (2017). *Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas*.
- Camo, P., & Medina, A. (2021). *Modelado 3d Low-Cost para integrar en un simulador un circuito existente de karting mediante fotogrametría aérea con drones*.
- Cañibano, A., & Gandini, M. (2018). *El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca*. Eco Matemático.
- Cartaya, S., & Mantuano, R. (2016). *Identificación de zonas de riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo*. Manabí- Ecuador.
- Carvajal, R., García, E., y Rivera, C. (2021). *Aplicaciones de la fotogrametría en la gestión de recursos hídricos*. Geografía Aplicada.
- Chicaiza, T. A. (2014). *Caracterización y propuesta de tratamiento biológico de las aguas residuales que descargan en la quebrada Compadre Huayco, para mitigar la contaminación ambiental, en el barrio Nuestro Pueblo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Chulde, P., & Gómez, J. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN UAV, PARA MISIONES ESTRATÉGICAS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FAE, UTILIZANDO PANELES SOLARES*. Ambato- Ecuador.
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Lexis.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). LEXIS. czar, dsd, & dsfd. (2021).
- Días, M. (2020). *Análisis Fotogramétrico de Imágenes adquiridas por un avión no tripulado*. Universidad de las palmas de Gran Canaria, Madrid.
- DJI. (2022). *Phantom 4*. <https://www.dji.com/global/support/product/phantom-4-pro>.
- Fernandez, J. (2019). Drones y teledetección para el análisis de cuerpos de agua. *Medio Ambiente*.
- GADM SALCEDO. (2018). *Cuerpos de agua y canales de riego en el cantón Salcedo*.

- García, J., & Pérez, M. (2019). *Utilización de imágenes aéreas digitales de pequeño formato para la evaluación de desastres*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- García, L., Andrade, J., y Cárdenas, F. (2023). *Impacto de la actividad agrícola en cuerpos de agua: Estudio de caso en Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- García, M., & Sanches, F. (2019). *EL Agua*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/12/cap4.pdf>
- Global Water Partnership. (2018). *Ciclo Hidrológico*. Lima- Perú. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)
- González, L. (2017). *Metodología para la generación de mapas tridimensionales a partir de fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Guerrero, S., & Faraone, M. (2018). *Aplicación de Fotogrametría y Modelación 3D en Geología y Minería*. Revista de Investigaciones DINAMIGE-MIEM.
- Idrovo, B., & González, I. (2021). *Efecto del cambio del uso del suelo en la producción y retención de sedimentos: caso de una cuenca hidrográfica de montaña*. Revista Geoespacial.
- Lorente, P. (2017). *Representación y edición de un plan de vuelo sobre un modelo digital de elevación en entorno*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Martínez. (2018). *El agua como fuente de conflictos Estudio de la cuenca*. 2018. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/41111/PFC%20EL%20AGUA%20COMO%20FUENTE%20DE%20CONFLICTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, A., & Pérez, F. (2020). *Gestión Sostenible de recursos hídricos: Retos y oportunidades en América Latina*.
- MINAMBIENTE. (2017). *Caracterización de la Cuenca del Río la Vieja, Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca*.
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2022). *Informe sobre el estado de los recursos hídricos en Ecuador*. Quito- Ecuador.
- Mogro, C., & Jácome, M. (2019). *Análisis del cambio tecnológico del sistema de riego de siete directorios del río san Juan Ecuador*. Revista Investigación Agraria.
- Moyano, G. (2017). *EL USO DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL COMO REGISTRO COMPLEMENTARIO EN ARQUEOLOGÍA. ALCANCES DE LA TÉCNICA Y CASOS DE APLICACIÓN*. Argentina.

- OIEA. (2024). *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?*
- ONU-DAES. (2017). *Agua y desarrollo sostenible*.  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml)
- OROMAPAS. (2021). *Ciclo Hidrológico*. <https://www.oromapas.gob.mx/cultura-del-agua/ciclo-hidrologico/>
- Orosco, T. M., Reyes, a. J., Chavarría, P. J., & Alarcón, L. J. (2024). *Modelación Hidrológica e Hidráulica de la Quebrada El Tejado para la Análisis de Zonas de Inundación en la Ciudad de Quito en 2023*.  
<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/227>.
- Parolvo, S., & Barbosa, C. (2019). *Observacion de material particulado NO2, SO2, O3 y H2S en la región Amazonica*. *Sciencia of the Total Environmment*.
- Prieto, M. (2018). *Herramientas de Sig en estudios hidrologicos*.
- Puerta, C. (2019). *Tecnología DRONE en levantamientos topográficos*. Universidad nacional de Colombia, Bogota.
- Robson, S., & James, M. (2018). *Error vertical sistemático en topografía derivada de UAV*.
- Romero, F., Cozano, M., y R, G. (2018). *Zonas ribereñas. Proteccion restauracuib y contexto legal en Chile*.
- Rosado, E. (2020). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicada a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura.
- Suarez, O. (2021). *Herramienta aspersora para drones de semillas para cultivo por voleo, con sistemas de control y mando a distancia*. *Revista Metalnova*.
- Tecnoceano. (2020). *Fotogrametría: Definición y aplicaciones*.  
<https://tecnoceano.com/category/fotogrametria/>
- UNESCO. (2021). *Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua*. Organizacion de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Vásquez, V. (2017). *Manejo de Cuencas Alto Andinas*. Lima.  
<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/1891/1/Abel%20antonio%20Osorio%20Vasquez.pdf>
- Ventura, L. (2020). *Ventajas del uso de UAV en estudios geoespaciales*.
- Villarreal, J., & Zárate, B. (2019). *Análisis de la precision de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados UVA respecto a la densidad de puntos de control*. Universidad Técnica Particular de Loja.

- Yoza, M., & Zuñiga, K. (2021). El uso de los drones en el ámbito profesional. *Revista Científica Multidisciplinaria ISSN 2602- 8166*.
- Zapata, A. (2018). *Análisis multitemporal mediante sensores remotos de cobertura de la tierra para el periodo de tiempo 1999-2011 en el Municipio San Jacinto, Bolívar*.  
Universidad militar nueva granada Bogotá.