



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, MEDIANTE VEHÍCULOS  
AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES) Y GPS DE PRECISIÓN, EN EL SECTOR DEL  
RÍO MONJAS AL NORORIENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: JONATHAN ANDRES POMA ORTEGA

TUTOR: CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA

Quito - Ecuador

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Jonathan Andres Poma Ortega con documento de identificación No: 0952500213, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 16 de septiembre del año 2022.

Atentamente,



---

Jonathan Andres Poma Ortega

0952500213

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jonathan Andres Poma Ortega con documento de identificación No. 0952500213, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Trabajo experimental: “Análisis de riesgo por movimientos en masa, mediante vehículos aéreos no tripulados (Drones) y GPS de Precisión, en el sector del río Monjas al Nororiente del Distrito Metropolitano de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de septiembre del año 2022.

Atentamente,



---

Jonathan Andres Poma Ortega

0952500213

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, César Iván Álvarez Mendoza con documento de identificación N° 1720100922, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES) Y GPS DE PRECISIÓN, EN EL SECTOR DEL RÍO MONJAS AL NORORIENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Jonathan Andres Poma Ortega con documento de identificación N° 0952500213, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de septiembre del año 2022.



---

Ing. César Iván Álvarez Mendoza PhD.  
1720100922

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por darme la fortaleza para continuar en este proceso, a mis padres, por su sacrificio y paciencia en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí. Ha sido un orgullo y privilegio el ser su hijo.

A mi hermana y hermano por estar siempre presentes, y dándome ese apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, directivos y profesores en especial a mi docente tuto PhD César Iván Álvarez, por compartir sus conocimientos y experiencias.

Mi agradecimiento a todos, mi familia, mis amigos que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Delimitación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.4 Hipótesis.....	4
1.5 Ubicación Geográfica.....	4
1.6 Descripción de las características generales del área de estudio.....	5
1.6.1 <i>Climatología</i> .....	5
1.6.2 <i>Tipo de Suelo</i> .....	5
1.6.3 <i>Geología</i> .....	5
1.6.4 <i>Tectónica Local</i> .....	5
1.6.5 <i>Erosión</i> .....	5
1.6.6 <i>Susceptibilidad a deslizamientos</i> .....	6
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	7
2.1 Riesgo.....	7
2.2 Vulnerabilidad.....	7
2.3 Movimientos en masa.....	7
2.3.1 <i>Desprendimientos y Volcamientos</i> .....	7
2.3.2 <i>Flujos y Reptaciones</i> .....	8
2.3.3 <i>Deslizamientos</i> .....	9
2.3.4 <i>Factores que propician los movimientos en masa</i> .....	10
2.3 Sistemas de Información Geográfica.....	11
2.4 Drone.....	11
2.4.1 <i>Usos y aplicaciones del drone</i> .....	11
2.4.2 <i>Reglamento de RPA's en Ecuador</i> .....	12
2.4.3 <i>DJI Phantom 4 pro</i> .....	16
2.5 GPS.....	16

2.6	GNSS.....	16
2.7	GPS e-Survey e-300 pro.....	16
2.7.1	<i>Método Estático</i> .....	19
2.8	GCP.....	20
2.9	DroneDeploy.....	20
2.10	UAV Forecast.....	20
2.11	Fotogrametría.....	20
2.12	Trimble Bussines Center.....	21
2.13	PIX4D.....	21
2.13.1	<i>Nube de Puntos</i> .....	21
2.13.2	<i>Ortofoto</i> .....	21
2.13.3	<i>Modelo digital de superficie</i> .....	22
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
3.1	Materiales.....	23
3.2	Métodos.....	24
3.2.1	<i>Recolección de Datos</i> .....	25
3.2.2	<i>Post-Procesamiento de Puntos de Control</i> .....	31
3.2.2	<i>Procesamiento de imágenes con PIX4D Mapper</i> .....	34
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>64</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Características del GPS</i> .....	26
<b>Tabla 2</b>	<i>Coordenadas del mes de febrero</i> .....	39
<b>Tabla 3</b>	<i>Coordenadas del mes de marzo</i> .....	40
<b>Tabla 4</b>	<i>Coordenadas del mes de abril</i> .....	40
<b>Tabla 5</b>	<i>Coordenadas del mes de mayo</i> .....	41
<b>Tabla 6</b>	<i>Errores RMS medidos en los GCP</i> .....	42
<b>Tabla 7</b>	<i>Densidad promedio</i> .....	42
<b>Tabla 8</b>	<i>Magnitudes Horizontal y Vertical en cm</i> .....	50
<b>Tabla 9</b>	<i>Gráfico <math>\Delta S</math> y <math>\Delta H</math> entre los periodos T4-T1</i> .....	51
<b>Tabla 10</b>	<i>Velocidad anual de cada punto</i> .....	53
<b>Tabla 11</b>	<i>Desplazamiento entre T4 y T1 en las coordenadas x, y, z</i> .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ubicación Geográfica del área de estudio</i> .....	4
<b>Figura 2</b>	<i>Desprendimientos y Volcamientos</i> .....	8
<b>Figura 3</b>	<i>Flujos</i> .....	9
<b>Figura 4</b>	<i>Flujo traslacional</i> .....	10
<b>Figura 5</b>	<i>Flujo Rotacional</i> .....	10
<b>Figura 6</b>	<i>Seguros</i> .....	15
<b>Figura 7</b>	<i>GPS e-Survey e-300 pro</i> .....	17
<b>Figura 8</b>	<i>Accesorios de GPS e-Survey e-300 pro</i> .....	18
<b>Figura 9</b>	<i>Ubicación de las estacas</i> .....	24
<b>Figura 10</b>	<i>Lonas prediseñadas para topografía</i> .....	25
<b>Figura 11</b>	<i>Receptor (Base) armado en el trípode</i> .....	27
<b>Figura 12</b>	<i>Mira apuntando al centro de la lona</i> .....	28
<b>Figura 13</b>	<i>Página web del GPS</i> .....	29
<b>Figura 14</b>	<i>Configuración de vuelo en DroneDeploy</i> .....	30
<b>Figura 15</b>	<i>Drone armado</i> .....	31
<b>Figura 16</b>	<i>Informe de procesamiento de Línea Base</i> .....	32
<b>Figura 17</b>	<i>Distribución de Puntos de Control respecto a la base</i> .....	33
<b>Figura 18</b>	<i>Lista de Puntos Obtenida del TBC</i> .....	34
<b>Figura 19</b>	<i>Procesamiento en PIX4D</i> .....	35
<b>Figura 20</b>	<i>Nube de Puntos</i> .....	37
<b>Figura 21</b>	<i>Control de Calidad</i> .....	38
<b>Figura 22</b>	<i>Ortofoto mes de febrero (Izquierda) y mayo (Derecha)</i> .....	43
<b>Figura 23</b>	<i>DSM mes de febrero (Izquierda) y mayo (Derecha)</i> .....	44
<b>Figura 24</b>	<i>Diferencia entre los períodos T2-T1</i> .....	45
<b>Figura 25</b>	<i>Diferencia entre los períodos T3-T2</i> .....	46
<b>Figura 26</b>	<i>Diferencia entre los períodos T4-T3</i> .....	47
<b>Figura 27</b>	<i>Punto de Objeto</i> .....	48
<b>Figura 28</b>	<i>Diferencia entre los períodos T4-T1</i> .....	49
<b>Figura 29</b>	<i>Movimiento Característico de la Superficie del Terreno</i> .....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Informe de procesamiento de línea base</i> .....	64
<b>Anexo 2</b> <i>Reporte de Calidad</i> .....	66

## RESUMEN

La presente investigación se realizó para analizar la susceptibilidad de movimientos en masa en los alrededores del Río Las Monjas además de comprobar la utilidad que tienen las tecnologías drone y GPS, para realizarlo se utilizó un drone que nos permitió tomar 80 fotografías aéreas aproximadamente por cada vuelo, posteriormente se usó un GPS diferencial para lo cual se colocó 8 puntos de control y una base con el fin de recopilar los datos en esos puntos y finalmente se procesó tanto los datos obtenidos del GPS como las fotografías obtenidas en el drone para obtener el Modelo Digital de Superficie y junto con las coordenadas poder crear un modelo de velocidades que nos permita ver de mejor manera el comportamiento que está teniendo el suelo de la zona de estudio, por lo que el presente trabajo resulta ser de gran importancia por la incidencia de los deslizamientos en la ciudad, por estas razones, en sectores junto a las quebradas y laderas se recomienda acciones de prevención para lo cual se deberá contar con sus respectivos estudios a fin de que permitan identificar las áreas susceptibles a este tipo de inestabilidades y proporcionar información verídica hacia la población y a los organismos competentes que puedan ayudar a disminuir los efectos de este fenómeno.

Palabras clave: Movimientos en masa, Drone, GPS, Modelo Digital de Superficie, Modelo de Velocidades

## **ABSTRACT**

The present investigation was carried out to analyze the susceptibility of landslide in the surroundings of the Las Monjas River, in addition to verifying the usefulness of drone and GPS technologies, to carry it out a drone was used that allowed us to take approximately 80 aerial photographs for each flight, later a differential GPS was used for which 8 control points and a base were placed in order to collect the data at those points and finally both the data obtained from the GPS and the photographs obtained in the drone were processed to obtain the Model Surface Digital and together with the coordinates to be able to create a speed model that allows us to better see the behavior that the soil of the study area is having, for which the present work turns out to be of great importance due to the incidence of the landslides in the city, for these reasons, in sectors next to the ravines and slopes, prevention actions are recommended for the which must have their respective studies in order to identify the areas susceptible to this type of instabilities and provide true information to the population and to the competent agencies that can help reduce the effects of this phenomenon.

Keywords: Landslide, Drone, GPS, Digital Surface Model, Speed Model

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problema

Existen muchos desastres geológicos en el mundo cada año, que incluyen a los movimientos en masa, la ocurrencia de desastres geológicos generalmente tiene las características de brusquedad y daño al medio ambiente.

Después de su inicio, amenazará directa o indirectamente la seguridad de la vida humana y la propiedad, y el trabajo de rescate de emergencia no suele ser oportuno.

En América Latina ha habido una gran cantidad de víctimas y daños materiales por esta clase de eventos de movimientos en masa debido a que muchos asentamientos humanos se encuentran en zonas de riesgos y, debido a las intensas lluvias que se han venido presentando recientemente, los deslizamientos son cada vez más comunes viéndose afectados tanto las personas como la naturaleza, solo en los últimos 20 años se han registrado 548 de estos fenómenos. (ONU, 2020)

Los movimientos en masa cuentan con varios factores como las fisuras, velocidad de desplazamiento y la topografía del terreno, factores que se los puede comprender mediante el uso combinado del GPS y drones a través de un modelamiento de la superficie logrado con la fotogrametría.

La ciudad de Quito en los últimos treinta años, casi ha cuadruplicado su población, lo que ha determinado la utilización irracional del terreno, incluidas zonas consideradas como de protección natural y de alta peligrosidad ante diversas catástrofes naturales, causando el consiguiente riesgo a la población y a su infraestructura civil (Orellana, 2008).

Pero esta no es una problemática solo de la ciudad pues estos eventos ocurren en todo el país en especial en la época de lluvias como lo menciona el diario Infobae que durante febrero del 2021 las fuertes lluvias afectaron a las 24 provincias del país provocando deslizamientos de tierra y entre las más afectadas se encontraban las provincias del Guayas, El Oro y Esmeraldas. (Infobae, 2021)

De acuerdo con los estudios sobre el eje territorial (Municipio, 2011) aproximadamente tres cuartas partes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) cumple con las condiciones necesarias para que existan eventos geomorfológicos tales como los deslizamientos y derrumbes.

Es así como, debido a la gran densidad poblacional presente en la ciudad, se tiene zonas vulnerables a los desastres ya que incluso en zonas con pendiente fuertes se encuentran asentamientos que van a aumentar el riesgo de sufrir pérdidas humanas.

Como está sucediendo en la quebrada Carreteras en la ciudad de Quito en donde se vive una pesadilla en la que al menos 100 familias se encuentran en riesgo por el debilitamiento del talud de la quebrada y, ante tanta insistencia, lograron exponer esta problemática al Consejo Metropolitano. (Teleamazonas, 2021).

Y, al no dejar un espacio de seguridad, provoca una inestabilidad en las laderas debido al peso de las viviendas que en días lluviosos producen una erosión intensa del terreno evidenciada por la presencia de cárcavas, deslizamientos y flujos de lodo, entre otros efectos geodinámicos, lo que significa que se podría tener una alta probabilidad de daños ocasionados por estos fenómenos naturales.

Es debido a esto que se utiliza la tecnología combinada de los drones y GPS, la aplicación y promoción de esta tecnología sirve para ayudarnos a crear acciones de prevención y disminuir el riesgo que tiene la población ante estos fenómenos.

## **1.2 Delimitación**

Una de las zonas que corresponden al DMQ es la cuenca del Río Monjas que se ubica al nororiente de la ciudad y pasa por parroquias tanto urbanas como rurales y es una las zonas más propensas a deslizamientos en la ciudad por lo que el informe final de la elaboración del plan integral de riesgos de la cuenca del Río Monjas (Rivera, 2016) considera que es indispensable la creación de un sistema de monitoreo para registrar el comportamiento del río y, además, un sistema de alerta temprana para la población

Según el director metropolitano de Gestión de Riesgos en Quito se ha determinado que unos 77 taludes están en situación de vulnerabilidad. Los técnicos de esta secretaria realizan un análisis de los eventos registrados en años anteriores, para conocer la incidencia de deslizamientos (Carvajal, 2020).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar el riesgo de movimientos en masa usando drones y GPS de Precisión en el sector Río Monjas en el DMQ, para el establecimiento de un plan de prevención de riesgos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Establecer un modelo de velocidades de los movimientos en masa a partir de los datos obtenidos en el programa PIX4D en los diferentes puntos de medición acorde a la georreferenciación con GPS de precisión

Definir un modelo entre coordenadas en dos tiempos distintos, mediante el análisis del desplazamiento del suelo, tecnología Drone y GPS.



Establecer medidas de prevención para reducir o mitigar el riesgo de la población ante movimientos en masa en el sector.

#### 1.4 Hipótesis

Los barrios de San Antonio son susceptibles a las consecuencias de los movimientos en masa por la estabilidad relativa de la pendiente debido a su cercanía con el río Las Monjas.

#### 1.5 Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra en las cercanías del Río Las Monjas de Pichincha cuyas coordenadas UTM WGS84 son: 785431.7576 al este, 9999054.2921 al norte y 2378.4997 msnm y se encuentra junto al conjunto La Antonia y tiene una superficie aproximada de 10.962,5 m<sup>2</sup>.

#### Figura 1

*Ubicación Geográfica del área de estudio*



Nota. Imagen tomada con el programa Google Earth

## **1.6 Descripción de las características generales del área de estudio**

### **1.6.1 Climatología**

El clima en la zona de estudio es tropical semiárido y su temperatura varía entre los 16° a los 24°, cuenta con una precipitación de 40 a 700 mm/año (Rivera I. M., 2016).

### **1.6.2 Tipo de Suelo**

El tipo de suelo que predomina es hidromórfico y tiene origen volcánico además de alofánicos de proyecciones volcánicas (Rivera I. M., 2016)

### **1.6.3 Geología**

El río Las Monjas se ubica morfológicamente en el Valle Interandino, esta formación geomórfica se relaciona con varias zonas de la región (Chota, Quito-Guayllabamba, Latacunga-Ambato, Alausí-Riobamba) (Villagómez, 2003)

### **1.6.4 Tectónica Local**

Los depósitos volcánicos cuaternarios cubren el límite estructural del valle central, pero están muy cerca de las fallas Cordilleras y Calacalí-Pallatanga en el oeste y Peltetec en el este. La característica más importante de la región es el "Sistema Activo de Fallas Inversas de Quito", que jugó un papel crucial en el desarrollo tectónico de la región. (Rivera I. M., 2016)

### **1.6.5 Erosión**

Esta característica se manifiesta en la cuenca debido principalmente al viento y agua lo que conlleva a la pérdida de terrenos. La zona tiene un proceso de degradación severa debido a la fuerte presión antrópica, así como la inestabilidad de los taludes del Río Monjas.

### **1.6.6 Susceptibilidad a deslizamientos**

Camacho (2017), menciona que la susceptibilidad de deslizamientos es muy alta debido principalmente a que existen pendientes que van de los 70-200%, en especial la zona norte cerca del Río Las Monjas su geología consiste en depósitos aluviales y cuenta con estructuras antrópicas por lo que el riesgo a presentarse un deslizamiento es muy alto.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Riesgo**

El riesgo tiene que ver con la posibilidad de que un daño ocurra y pueda generar pérdidas tanto en lo social, económico y ambiental, esta posibilidad se no se la puede cuantificar, sino que tiene que ver con algo cualitativo.

### **2.2 Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad se define como la tendencia o predisposición a ser afectado adversamente. Según lo establecido por el IPCC, la vulnerabilidad es el resultado de la combinación de tres componentes: exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación (Paneque, 2020)

### **2.3 Movimientos en masa**

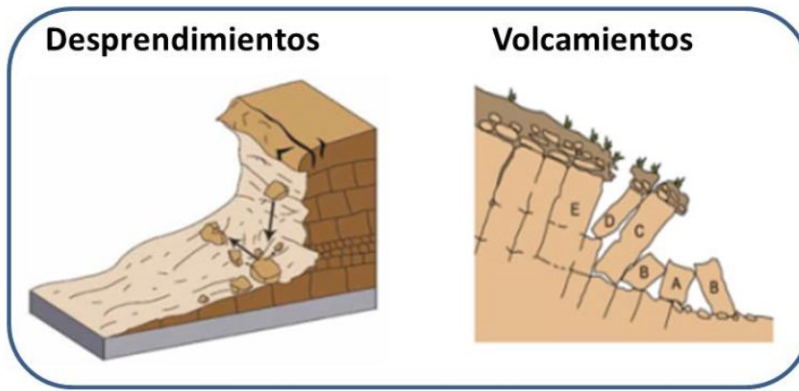
El movimiento de masas es el proceso por el cual una masa con materia, que puede incluir roca, suelo, tierra o escombros, se mueve hacia abajo bajo la influencia de la gravedad (Moreno, 2021)

#### **2.3.1 Desprendimientos y Volcamientos**

Se trata de una rotación hacia adelante de una masa de tierra o roca con respecto a un punto por debajo del centro de gravedad del material que se mueve, ya sea por gravedad o por la presión ejercida por el agua.

**Figura 2**

*Desprendimientos y Volcamientos*



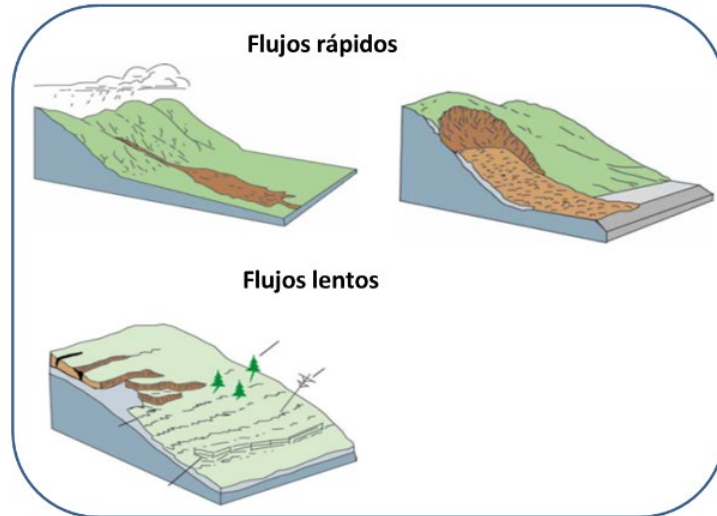
Nota. Tomado de Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (GEMMA, 2007)

### **2.3.2 Flujos y Reptaciones**

Es el cambio en su forma de una masa de suelo o roca tras movimientos muy lentos debido a la acción de la gravedad. Suele manifestarse por el derribo de árboles y postes eléctricos, deslizamiento de carreteras y vías férreas y la aparición de grietas.

**Figura 3**

*Flujos*



Nota. Tomado de Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (GEMMA, 2007)

### **2.3.3 Deslizamientos**

Es el movimiento cuesta abajo de una masa de tierra o roca que se da principalmente en la superficie de una falla (el punto débil del terreno) y puede presentarse en dos formas:

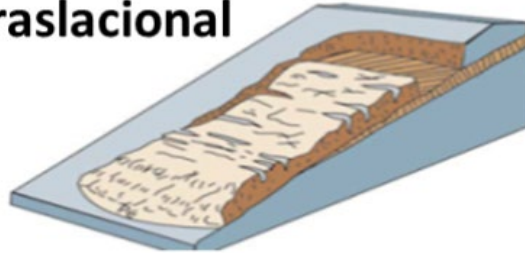
#### **2.3.3.1 Deslizamiento traslacional**

El deslizamiento puede ocurrir en una falla del suelo que tiene forma cóncava o curva.

**Figura 4**

*Flujo traslacional*

### **Deslizamiento traslacional**



Nota. Tomado de Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (GEMMA, 2007)

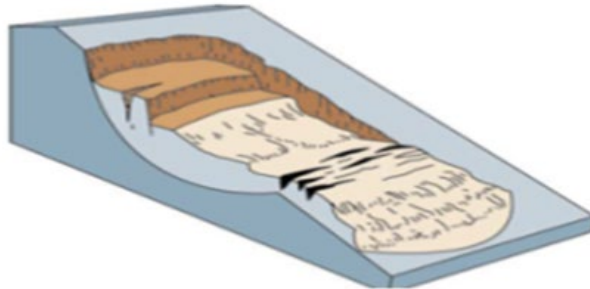
#### **2.3.3.2 Deslizamiento Rotacional**

En este caso el desplazamiento del suelo empieza en una falla ondulada o plana

**Figura 5**

*Flujo Rotacional*

### **Deslizamiento rotacional**



Nota. Tomado de Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (GEMMA, 2007)

#### **2.3.4 Factores que propician los movimientos en masa**

Existen diversos factores que pueden incidir en los movimientos en masa entre los cuales tenemos las condiciones del terreno, procesos naturales y procesos artificiales. En cuanto a las condiciones del terreno se pueden producir debido a una pendiente elevada, a la presencia de fallas

geológicas o a la falta de cobertura vegetal pues no habrá raíces que mantengan firme el suelo; En los procesos naturales tenemos a lluvias muy intensas y prolongadas, sismos y erosiones del suelo debido al agua y finalmente en los procesos artificiales tenemos la actividad minera, alteración del drenaje natural y excavaciones. (GEMMA, 2007).

### **2.3 Sistemas de Información Geográfica**

Sistema de información geográfica (SIG), es un sistema de información que consta de hardware y software y una serie de pasos para administrar, analizar y modelar datos de georreferencia con el fin de solventar problemas de planificación y gestión.

### **2.4 Drone**

El drone o también conocido como UAV (unmanned aerial vehicle), cuya traducción es vehículo aéreo no tripulado, vehículo o nave con capacidad de realizar misiones con cierto grado de autonomía, la novedad de la llegada a las ciertas aplicaciones civiles dificulta la existencia de un consenso en su definición, que cuestiona si un determinado sistema responde o no al concepto de UAV existe (A. Barrientos).

En general las denominaciones que tiene el drone hacen referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo, lo que no necesariamente significa autonomía. Ya que previo a su desplazamiento existe un control o configuración por el operador.

#### **2.4.1 Usos y aplicaciones del drone**

Un drone es similar a un avión de aeromodelismo, pero más sofisticado. Viene integrado con cámaras, GPS y sensores, inicialmente desarrollado con fines militares, como misiones espías y hasta portando misiles. (Digital, 2019)



Los drones se manejan haciendo uso de aplicaciones para smartphones o tablets o con un control parecido a joystick, siendo este una de las mejores características puesto que con el tiempo se vuelven cada vez más intuitivos al momento de su uso. Al haber cada vez más personas interesadas en su uso tanto en el sector público como en el privado se estima que habrá más operaciones realizadas por drones que por aeronaves tripuladas en la próxima década. (Barrido, 2018)

#### **2.4.2 Reglamento de RPA's en Ecuador**

La División General de Aviación Civil emitió una resolución (DGAC, 2020), para modificar el reglamento para la **“Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia”** cuyo documento fue expedido el 04 de noviembre del 2020 y aplican para las aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) usados en actividades civiles cuyo peso (masa) máximo al despegue (MTOW) sea superior a 0.25 Kilogramos y menor o igual a 150 Kilogramos.

##### **Art. 8.- Responsabilidad por la operación.**

- (a)** El operador de una RPA es responsable de la seguridad de la operación de cada vuelo.
- (b)** Ninguna persona podrá iniciar o continuar el vuelo si conoce que la RPA no se encuentra en condiciones para realizar una operación segura.
- (c)** El operador de una RPA es responsable solidariamente con el explotador y/o propietario de la aeronave, por la operación de la misma.
- (d)** El operador de una RPA es responsable que la aeronave no represente ningún

peligro para personas, animales, otras aeronaves y bienes, en caso de pérdida del control de la aeronave por cualquier motivo.

**(e)** Las RPAs destinados para actividades recreativas que sean operados por menores de edad, deberán encontrarse bajo la supervisión directa de un adulto. La responsabilidad absoluta de la operación recaerá sobre el explotador y/o propietario de la aeronave y de manera solidaria, sobre la persona que ejerza la patria potestad del menor.

**(f)** El operador de una RPA, no podrá iniciar el vuelo a menos que la RPA se encuentre debidamente registrado de conformidad a lo establecido en el presente Reglamento.

#### **Art. 16.- Horas de operación.**

Salvo autorización especial emitida según el Capítulo D de este Reglamento, las RPAs serán operadas en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC).

#### **Art. 17.- Altura máxima de vuelo.**

La operación de las RPAs no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL).

#### **Art. 18.- Operaciones en las cercanías de un aeródromo, helipuerto, zonas**

prohibidas, zonas restringidas, zonas intangibles, áreas sensibles, estratégicas y

zonas de seguridad del Estado.

Las RPA no serán operadas:

- (a)** A una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5 NM) de los límites o linderos de cualquier aeródromo o zonas de seguridad del Estado o a una distancia igual o mayor a 0.9 kilómetros (0.5 NM) de los límites o linderos de cualquier helipuerto, lo que resulte más restrictivo.
- (b)** En zonas prohibidas, zonas restringidas, zonas intangibles y zonas de seguridad del estado determinadas por la ley.
- (c)** Dentro de un radio de 9 kilómetros (5 NM) de una zona de incendio forestal.
- (d)** Cerca de personas o propiedades cuya operación involucre vulneración de su privacidad personal y familiar.
- (e)** A una distancia menor a 150 metros (500 ft) de los centros de privación de libertad o centros de rehabilitación social; excepto la operación de RPAs del Servicio Nacional de Atención Integral a Personas Adultas Privadas de la Libertad y A Adolescentes Infractores (SNAI) que por sus competencias y actividades propias de vigilancia por seguridad en los CPL y CRS deben realizarlo.
- (f)** En zonas ocupadas por equipos de emergencia o auxilio tales como el cuerpo de bomberos, hospitales, clínicas, asilos, etc.

(g) Las entidades públicas o privadas competentes según corresponda, tendrán la facultad de aplicar el derecho de inhibición o derribo (tecnología anti-dron) o tomar acciones necesarias, cuando un RPA incumpla lo señalado en este reglamento.

**Art. 26.- Seguros.**

(a) El propietario o el operador de la RPA en actividades de trabajos aéreos, está en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual deberá contar y presentar ante la AAC los seguros correspondientes que cubra la responsabilidad civil frente a terceros, según los montos mínimos de cobertura que se establecen a continuación

**Figura 6**

*Seguros*

De 0,25 kg hasta 25 kg de peso (masa) máximo de despegue (MTOW)	USD 3.000,00
De más de 25 kg hasta 50 kg de peso (masa) máximo de despegue (MTOW)	USD 6.000,00
De más de 50 kg hasta 150 kg peso (masa) máximo de despegue (MTOW)	USD 12.000,00

Nota. Obtenida de (DGAC, 2020)

### **2.4.3 DJI Phantom 4 pro**

El drone tipo DJI Phantom 4 es un multirrotor o multicoptero que es un helicóptero con más de dos rotores. Una ventaja de este tipo de naves es que la mecánica del rotor es más simple para el control del vuelo. A diferencia de los uno y dos rotores que utilizan los helicópteros con paso variable cuyo tono varía según la hoja rota para la estabilidad y el control de vuelo, los multirrotos suelen hélices fijas; el control de movimiento del vehículo se consigue variando la velocidad relativa de cada rotor para cambiar el empuje y el par producido por cada uno. (Tacca, 2015)

### **2.5 GPS**

The Global Positioning System (GPS) es un sistema de ubicación tomando como referencia una constelación de aproximadamente 24 satélites que orbitan la Tierra a una altura aproximada de 11,0000 millas (cmtinc, 1996).

Los satélites GPS contienen relojes ultra precisos que se encuentran sincronizados a la hora GPS tan precisos que solo pueden tener como máximo una diferencia de una millonésima de segundo respecto a la Coordinated Universal Time (UTC). (Gongora, 2011).

### **2.6 GNSS**

Un sistema global de navegación por satélite (GNSS) es un tipo de navegación por satélite que proporciona cobertura mundial. Un GNSS se define por una constelación de satélites en órbita que trabajan junto con una red de estaciones de control terrestre y receptores que calculan las posiciones terrestres a través de una versión adaptada de trilateración.

### **2.7 GPS e-Survey e-300 pro**

Este equipo nos permite conectarnos con 800 canales de seguimiento GNSS lo que nos brinda una solución fija para los trabajos en el terreno

**Figura 7**












*GPS e-Survey e-300 pro*












Nota. Obtenido del Manual de Usuario Receptor GNSS E300 Pro (BMP, 2020)

**Figura 8**

*Accesorios de GPS e-Survey e-300 pro*

Base E300 Pro					
NO.	Item	Cantidad	Modelo	Descripción	Imagen
1	Estuche de transporte base	1	-	Estuche de transporte para la estación base La radio externa y el cable se pueden poner dentro	
2	Receptor GNSS E300 Pro	1	-	-	
3	Cargador	1	KSA-45P-45W D5	Puerto tipo C	
4	Cable de energía	1	-	Tipo-C a Tipo-C	
5	Enchufe del cargador	4	-	-	
6	Cinta de medida	1	-	3m/10ft-16mm	
7	Antena UHF	1	QT440A	Antena UHF interna, 430-450MHz, 4dBi, TNCJ	
8	Poste de extensión	1	-	25cm	
9	Conector de tornillo	1	-	-	
10	Bandeja	1	-	-	
11	Tarjeta de garantía	1	-	-	

Móvil E300 Pro					
NO.	Item	Cantidad	Modelo	Descripción	Imagen
1	Estuche Portátil	1	-	Estuche de transporte para la estación móvil El controlador y el soporte se pueden colocar dentro	
2	Receptor GNSS E300 Pro	1	-	-	
3	Cargador	1	KSA-45P-45W D5	Puerto tipo C	
4	Cable de Energía	1	-	Tipo-C a Tipo-C	
5	Enchufe del Cargador	4	-	-	
6	Cinta de Medida	1	-	3m/10ft-16mm	
7	Antena UHF	1	QT440A	Antena UHF interna, 430-450MHz, 4dBi, TNCJ	
8	Conector de Tornillo	1	-	-	
9	Tarjeta de Garantía	1	-	-	

Nota. Obtenido del Manual de Usuario Receptor GNSS E300 Pro (BMP, 2020)

### 2.7.1 Método Estático

El método estático diferencial es usado en la cartografía y consiste en ubicar dos o más estaciones como base mientras que el rover se mantiene en un punto fijo una vez ubicada tanto la base como el rover permanecerán fijas por un lapso de tiempo de 30 minutos a 1 hora para que los



datos que arroje el satélite puedan ser grabados, esto se repite por cada punto en el que se desea obtener su posición. (C. Eucaris, 2018).

## **2.8 GCP**

Los puntos de control terrestre (GCP) se definen como puntos en la superficie de la tierra de ubicación conocida que se utilizan para georreferenciar datos.

## **2.9 DroneDeploy**

Es una aplicación para Android e IOS que proporciona un análisis en profundidad para la cartografía digital a través de un software basado en la nube, esta aplicación nos permite diseñar el plan de vuelo para el dron.

## **2.10 UAV Forecast**

Es una app que nos permite saber de antemano las previsiones meteorológicas, las zonas de exclusión aérea y la velocidad del viento todo para decirnos si el tiempo y el lugar son aptos o no para realizar el vuelo del dron.

## **2.11 Fotogrametría**

La fotogrametría se considera una técnica de medición indirecta pues nos permite obtener propiedades geométricas de los objetos que necesitemos y su ubicación espacial mediante el procesamiento de imágenes fotográficas. (ZELAYA, 2016).

La aplicación más conocida es en la cartografía y es muy útil debido a que permite estudiar un objeto que se encuentra en movimiento haciendo uso de cámaras. (M. Núñez, 2015), el concepto de fotogrametría se refiere a medir sobre las fotos, una vez tomada la foto se puede obtener información acerca de la geometría del objeto de forma bidimensional mientras que haciendo uso de dos fotos se podrá obtener una visión tridimensional. (Quirós, 2014).

Según el libro fundamento de la fotogrametría (Zapata, 2004) la fotogrametría tiene sus inicios en el año de 1867 a manos de Aimé Laussedat quien por primera vez presenta fototeodolito que era una combinación de un teodolito y una cámara.

## **2.12 Trimble Bussines Center**

Es un software de escritorio altamente desarrollado para trabajos topográficos, con características especiales para el procesamiento y administración de datos tales como; nubes de puntos, Ortofoto y GNSS, a través de su software CAD, ayudan a los profesionales de la ingeniería y la ciencia geoespacial a trabajar instantáneamente con datos de campo, logrando resultados de alta precisión. (TBC, 2020)

## **2.13 PIX4D**

Es un software usado en la fotogrametría cuya licencia es comercial y se encuentra disponible para procesar estructuras de movimiento (SfM), utilizando imágenes capturadas oficialmente de drones para crear: mapeo profesional sobre modelos 3D.

### **2.13.1 Nube de Puntos**

La nube de puntos es una base de datos que contiene puntos en el sistema de coordenadas tridimensional. Sin embargo, desde la perspectiva típica del flujo de trabajo, lo único importante es que la nube de puntos es un registro digital muy preciso de un objeto o espacio. Se puede guardar como una gran cantidad de puntos que abarcan las superficies de un sólido detectado. (Grzegorz, 2016).

### **2.13.2 Ortofoto**

Una ortofoto (también conocida como ortofotografía) es una imagen aérea que ha sido corregida geoméricamente (orto rectificadas) para que la imagen sea uniforme de borde a borde.

Las ortofotos se corrigen para eliminar los efectos del terreno (lo que sucede cuando toma una superficie 3D y la convierte en un producto 2D) y las distorsiones que resultan de la lente de la cámara y el ángulo en que se tomó la foto desde el plano.

### **2.13.3 Modelo digital de superficie**

DSM (modelo de superficie digital) es un modelo digital topográfico, que describe el relieve y la situación en la superficie. Consiste en un modelo de terreno digital y representa la superficie de la tierra, incluidos todos los objetos en ella.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se recopiló datos sobre el desplazamiento del suelo haciendo uso del drone mediante técnicas fotogramétricas y GPS realizando vuelos en un total de cuatro periodos diferentes con el fin de obtener la dirección y las variables de coordenadas para el modelamiento del gráfico de velocidades.

Las fotos obtenidas se analizaron con el programa PIX4D para producir modelos de superficie ortomosaica y digital.

El estudio se basó en un artículo científico denominado “The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Monitoring Rapidly Occurring Landslides” (Yaprak, 2018), el cual fue adaptado para permitirnos comparar la posición de los datos con el programa PIX4D y, como resultado de estas comparaciones, se calcularon los desplazamientos además de que nos mostró un diagrama que indica el cambio de posición bidimensional, cambios de altura en los distintos periodos de tiempo y su magnitud, finalmente mediante una fórmula que nos permitió calcular la diferencia entre los componentes de las coordenadas cartesianas entre el primer y cuarto vuelo se obtuvo un modelo de velocidades que nos indicó la velocidad y dirección en la que se está moviendo el suelo.

#### 3.1 Materiales

- ✓ Drone Dji Phantom 4 pro
- ✓ GPS E-Survey
- ✓ Computadora de gama alta
- ✓ Estacas
- ✓ Lonas

### 3.2 Métodos

Se utilizaron un total de ocho estacas en el área de estudio más una como base. Las estacas se colocaron de tal manera que se podían colocar encima una lona con un tipo de diseño para poderlos visualizar de una mejor manera en las fotos tomadas desde arriba, cerca del lugar del deslizamiento de tierra, pero donde futuros deslizamientos de tierra no los afectarían.

**Figura 9**

*Ubicación de las estacas*



Nota. Elaborado por: Autor

**Figura 10**

*Lonas prediseñadas para topografía*



Nota. Se imprimió en lonas un diseño que ayude a observar de mejor manera los puntos de control

### **3.2.1 Recolección de Datos**

Para la obtención de coordenadas precisas de las estacas se va a utilizar el método estático GPS con el equipo GPS E-Survey el cual consiste en posicionar para la medida de distancias con gran precisión un receptor (Base) se estaciona y observa al segundo receptor (Rover) durante un periodo mínimo de 15 minutos en cada una de las estacas, según la redundancia y la precisión necesarias y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar, hay que tener en cuenta que a través de la mira que apunta directamente abajo se debe señalar al centro de la lona como se muestra en la Figura 12. El GPS cuenta con las siguientes características:

**Tabla 1***Características del GPS*

Características de GPS-E300 PRO	
Canales	800
Rastreo Satelital	GPS, BDA, GLONASS, Galileo, SBAS, IRNSS, QZSS, L-Band
Adquisición de señal	< 1 seg.
Sistema Operativo	Linux
Inicialización fiabilidad	>99, 9%
Memoria	8 GB
Precisión estática	Horizontal 2,5 mm + 0,5ppm Vertical: 5 mm + 0,5 ppm
Precisión RTK	Horizontal: 8 mm +1 ppm Vertical: 15 mm + 1 ppm

Nota. Obtenido de: (e-Survey, 2020)

## Figura 11

*Receptor (Base) armado en el trípode*

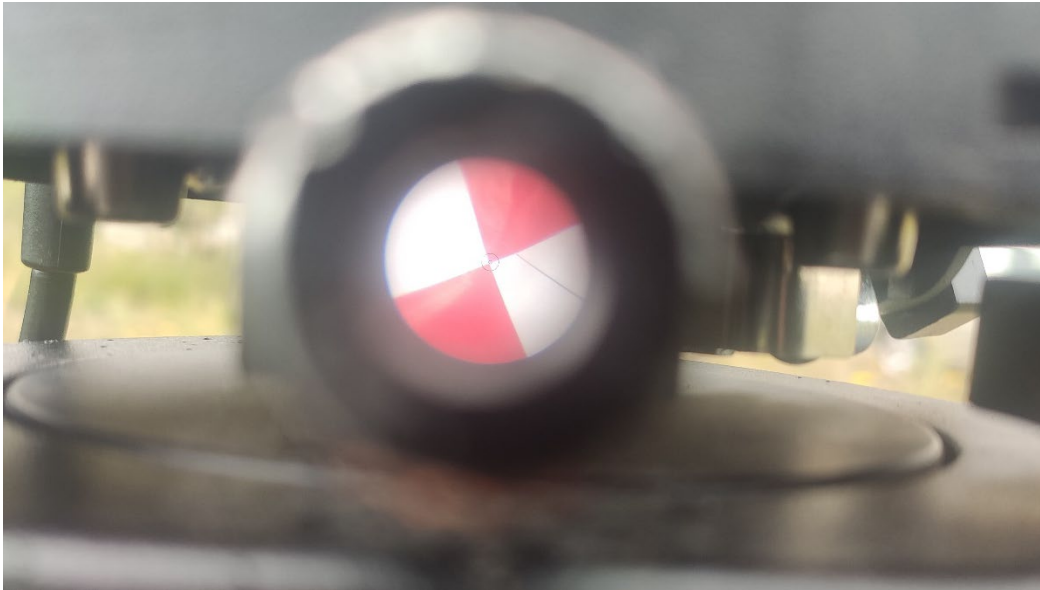


Nota. Se necesita escoger una zona que no tenga muchos obstáculos para poder nivelar el trípode de manera más fácil



## Figura 12

*Mira apuntando al centro de la lona*



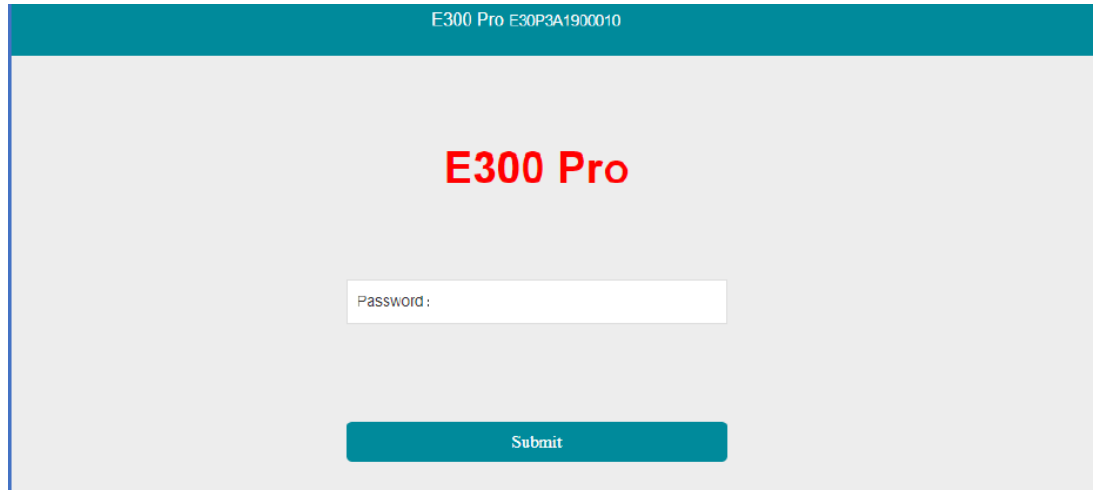
Nota. Debe apuntar al centro de la lona para una mayor precisión

Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos. Este método es el empleado para medir distancias mayores de 20 kilómetros con toda precisión. (González, 2014).

Una vez tomados los datos de cada punto se puede ingresar a la página <http://192.168.10.1/> en cualquier dispositivo para poder descargar los datos crudos en formato Rinex2.1.

### Figura 13

*Página web del GPS*



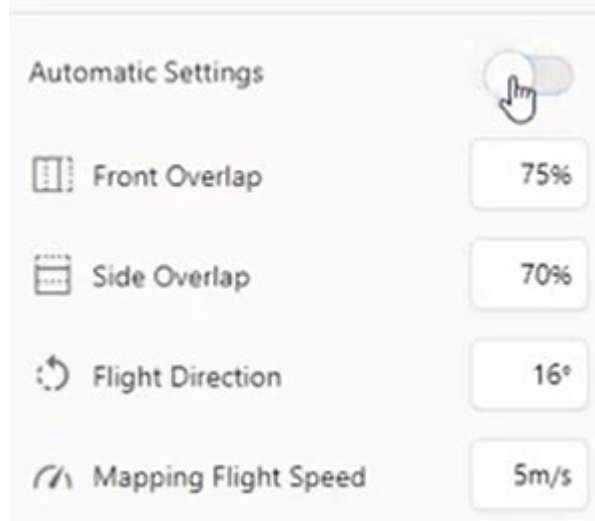
Nota. La contraseña para ingresar a la página se encuentra en el manual de usuario

Los planes de vuelo se realizaron siguiendo las mediciones del GPS de las estacas y obteniendo sus coordenadas a través del análisis. Los vuelos se realizaron en cuatro periodos diferentes y con la ayuda de la app UAV Forecast se logró realizar en tiempos en los que no hubo lluvias o nevadas, donde el área de deslizamientos de tierra fue más activa.

El plan de vuelo para el estudio se establece dentro del software DroneDeploy en el celular con una superposición vertical del 75%, superposición horizontal del 70%, una altitud de vuelo de 80 metros y una velocidad de vuelo de 5 m / seg. Se calcularán varias imágenes superpuestas para cada píxel de ortomosaicos.

**Figura 14**

*Configuración de vuelo en DroneDeploy*



Nota. Elaborado por: Autor

El plan de vuelo preparado se carga en el dron dji Phantom 4 pro y se obtienen las fotos del área de estudio. Los mismos parámetros de entrada se utilizaron en todos los periodos de febrero a mayo. Factores meteorológicos fueron considerados en la toma de fotografías aéreas y los periodos de tiempo más adecuados son elegidos para los vuelos. Las fotos obtenidas de cada período de vuelo se almacenan en una computadora con un espacio de almacenamiento vacío de 100 GB y 16 GB de RAM.

**Figura 15**

*Drone armado*



Nota. Elaborado por: Autor

### **3.2.2 Post-Procesamiento de Puntos de Control**

Ya obtenidas las fotos y los datos crudos empezamos a usar el programa Trimble Business Center (TBC) el cual nos corregirá los datos del GPS usando una nueva plantilla de configuración la cual nos pedirá datos como empresa, nombre de usuario, etc., se usó el Datum WGS 84, Zona 17 South y Geoide EGM96 (Global) con una precisión de  $0,00500\text{m}+1\text{ppm}$ .



Para establecer un punto de referencia se usó como base la estación QUI1 del Instituto Geográfico Militar para corregir los errores en las coordenadas de la línea base y nos arrojará un informe de procesamiento de línea base con las coordenadas corregidas.

**Figura 16**

*Informe de procesamiento de Línea Base*

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
QUI1 — 1234 (B1)	QUI1	1234	Fija	0,007	0,026	15°51'02"	23846,992	-520,327

**Resumen de aceptación**

Procesado	Pasado	Indicador		Fallida	
1	1	0		0	

De: QUI1					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	778986,3015 m	Latitud	S0°12'54,56220"	Latitud	S0°12'54,56220"
Norte	9976195,8523 m	Longitud	A78°29'36,98920"	Longitud	A78°29'36,98920"
Elevación	2896,6789 m	Altura	2922,3890 m	Altura	2922,3890 m

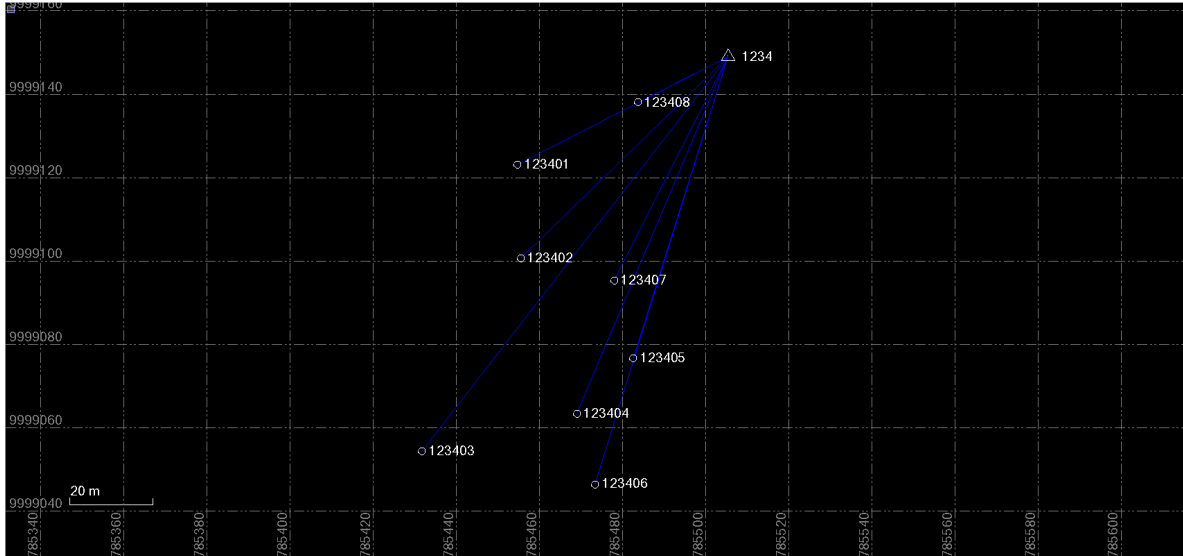
Hasta: 1234					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	785505,3896 m	Latitud	S0°00'27,68898"	Latitud	S0°00'27,68898"
Norte	9999149,0129 m	Longitud	A78°26'06,35282"	Longitud	A78°26'06,35282"
Elevación	2376,6450 m	Altura	2402,0616 m	Altura	2402,0616 m

Nota. El informe nos avisa en caso de que las coordenadas tomadas no hayan pasado por el control de calidad

Una vez obtenidas las coordenadas de la base se procede a importar las coordenadas del Rover junto con las nuevas coordenadas de la base en una nueva plantilla con las mismas configuraciones, en el caso de que hubiera salido una bandera roja en alguna coordenada significaría que ese punto no pasó el control de calidad y el error que presenta es muy grande.

**Figura 17**

*Distribución de Puntos de Control respecto a la base*



Nota. No se obtuvo ninguna bandera roja lo que nos indica que todas las coordenadas tienen un rango de error aceptable

Al finalizar con el post-procesamiento se obtendrá un informe de procesamiento de la línea base (Ver Anexo 1) y una lista de puntos las cuales se tendrán que importar al programa Excel para su posterior uso.

**Figura 18**

*Lista de Puntos Obtenida del TBC*

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Código de característica
1234	785505,3895	9999149,0128	2376,6450	
123401	785454,7228	9999123,1263	2377,8375	
123402	785455,5181	9999100,6060	2378,1179	
123403	785431,7576	9999054,2921	2378,4997	
123404	785473,4041	9999046,3977	2378,1931	
123405	785468,9699	9999063,2599	2378,3610	
123406	785482,5926	9999076,6241	2377,8827	
123407	785477,9590	9999095,2651	2378,0387	
123408	785483,7037	9999138,0258	2377,5241	

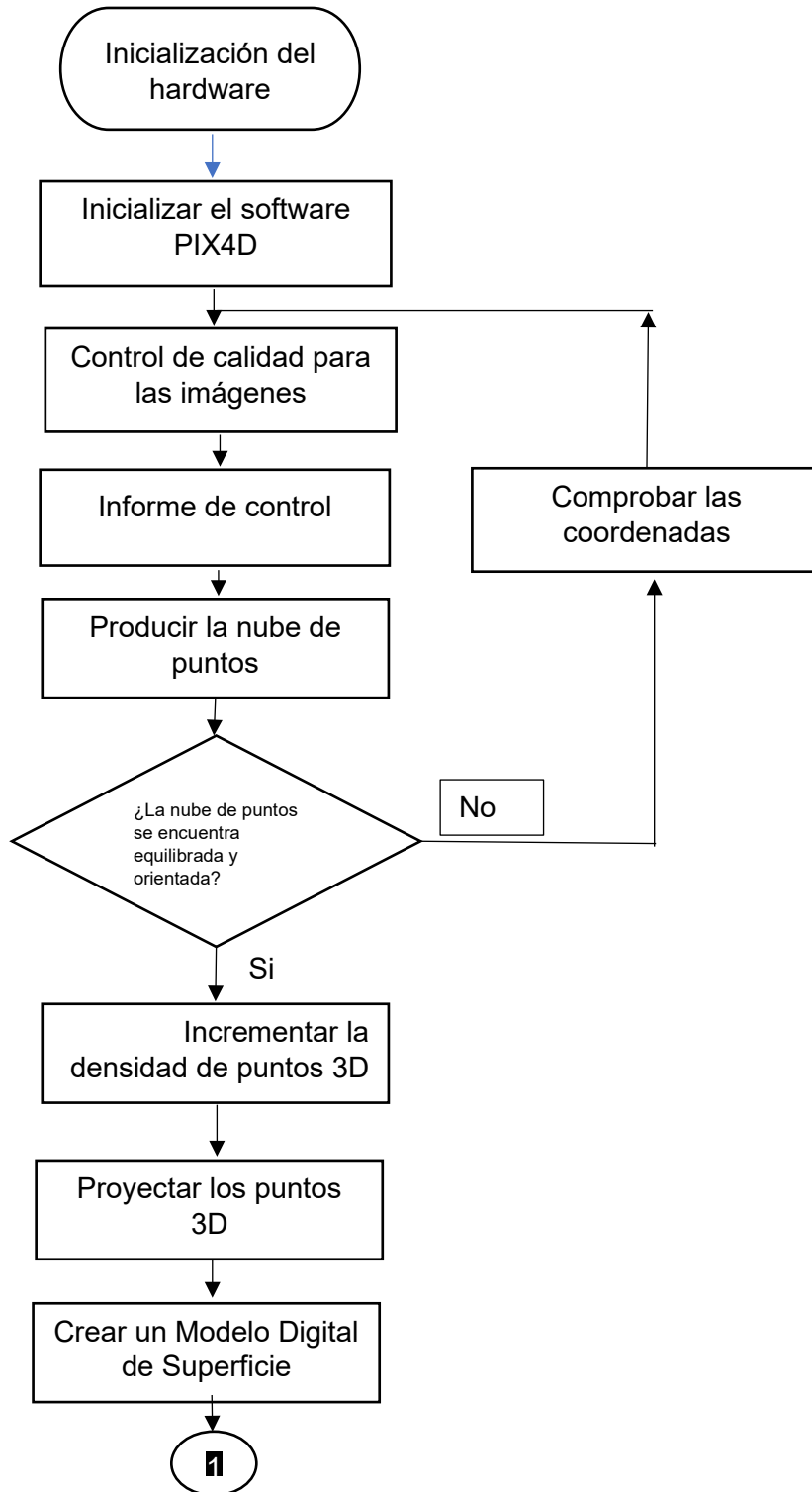
Nota. La lista de puntos se la obtiene en cada informe que se lo realice de cada mes

### **3.2.2 Procesamiento de imágenes con PIX4D Mapper**

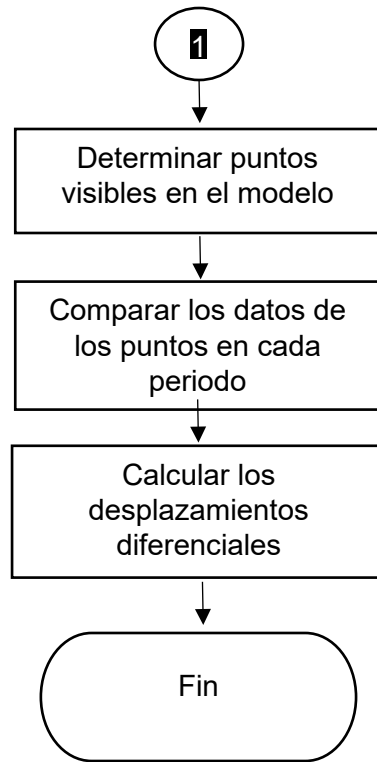
En la primera etapa, se realizan controles de calidad para las imágenes, el conjunto de datos, la optimización de la cámara y GPS se calculan y el software produce la calidad de verificación para cada uno de los períodos de tiempo. La distancia de muestreo en tierra (GSD) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de la imagen GSD, menor es la resolución espacial de la imagen y menos visible son los detalles. (PIX4D, 2019); Las estacas se utilizan para corregir la ubicación geográfica del proyecto por lo que se importa el Excel que elaboramos anteriormente. El proceso general lo podemos ver a continuación en un diagrama de flujo.

**Figura 19**

*Procesamiento en PIX4D*



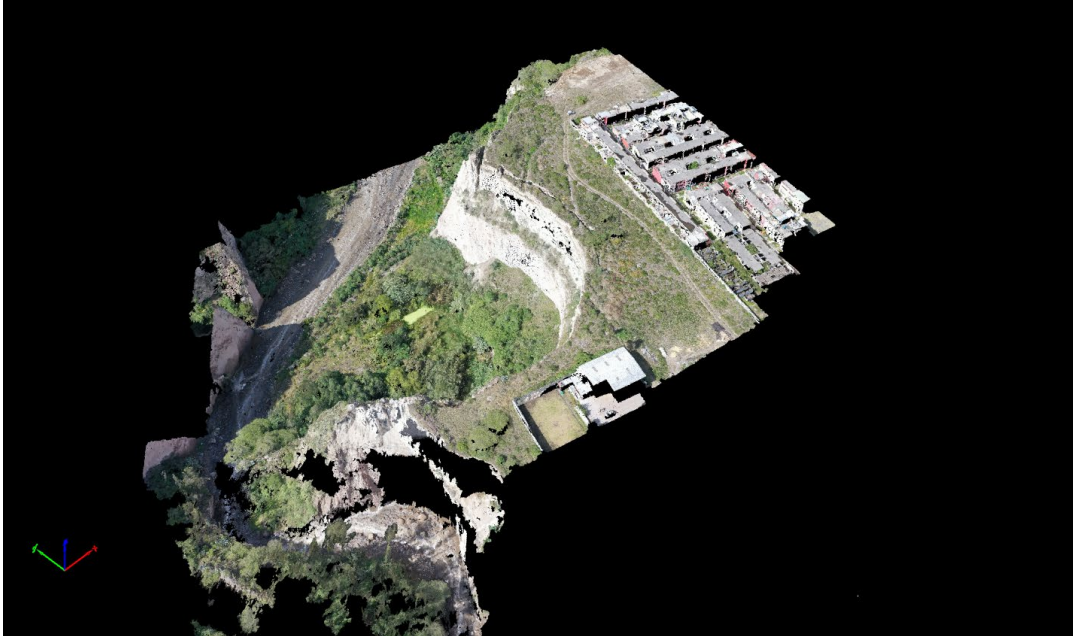




Nota. Elaborado por: Autor

## Figura 20

### *Nube de Puntos*



Nota. En cada reporte de calidad nos indica que se hicieron alrededor de 1.6 millones de puntos para formar la imagen

Una vez finalizado el proceso nos arrojará un reporte de calidad (Ver Anexo 2) en donde nos mostrará si nuestro proyecto cumple con todos los parámetros, caso contrario aparecerá un símbolo de advertencia.

## Figura 21

### *Control de Calidad*

🔍 Images	median of 72546 keypoints per image	✓
🔍 Dataset	68 out of 68 images calibrated (100%), all images enabled	✓
🔍 Camera Optimization	2.46% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
🔍 Matching	median of 24500.8 matches per calibrated image	✓
🔍 Georeferencing	yes, 9 GCPs (9 3D), mean RMS error = 0.043 m	✓

Nota. En ningún informe apareció el símbolo de advertencia lo que indica que el proyecto tiene muy buena calidad

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las coordenadas obtenidas luego del post-proceso tienen un tipo de “solución”, en el presente estudio todas resultaron ser soluciones fijas y, según Marroquín (2009), una solución fija es la mejor solución puesto que las ambigüedades que se pudieron tener en la recolección de datos han sido determinadas.

A continuación, se presentan las coordenadas obtenidas de los meses febrero, marzo, abril y mayo.

**Tabla 2**

*Coordenadas del mes de febrero*

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Tipo de solución
1234	785505,3895	9999149,0128	2376,6450	Fija
123401	785454,7228	9999123,1263	2377,8375	Fija
123402	785455,5181	9999100,6060	2378,1179	Fija
123403	785431,7576	9999054,2921	2378,4997	Fija
123404	785473,4041	9999046,3977	2378,1931	Fija
123405	785468,9699	9999063,2599	2378,3610	Fija
123406	785482,5926	9999076,6241	2377,8827	Fija
123407	785477,9590	9999095,2651	2378,0387	Fija
123408	785483,7037	9999138,0258	2377,5241	Fija

Nota. Elaborado por: Autor

**Tabla 3**

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Tipo de Solución
1234	785505,3898	9999149,0128	2376,6450	Fija
123401	785454,7222	9999123,1475	2377,5164	Fija
123402	785455,5083	9999100,6032	2377,7971	Fija
123403	785431,7603	9999054,3135	2378,1811	Fija
123404	785473,4333	9999046,4467	2377,8713	Fija
123405	785468,9644	9999063,2717	2378,0453	Fija
123406	785482,6100	9999076,6590	2377,5672	Fija
123407	785477,9540	9999095,2938	2377,7268	Fija
123408	785483,7332	9999138,0189	2377,2023	Fija

*Coordenadas del mes de marzo*

Nota. Elaborado por: Autor

**Tabla 4**

*Coordenadas del mes de abril*

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Tipo de solución
1234	785505,3908	9999149,0109	2376,6248	Fija
123401	785454,7105	9999123,1436	2377,4650	Fija
123402	785455,4899	9999100,5873	2377,7501	Fija
123403	785431,7376	9999054,3070	2378,1364	Fija
123404	785473,4261	9999046,4517	2377,8325	Fija
123405	785468,9553	9999063,2663	2378,0135	Fija
123406	785482,6189	9999076,6444	2377,5314	Fija
123407	785477,9534	9999095,2954	2376,6912	Fija

123408	785483,7232	9999138,0050	2377,1597	Fija
--------	-------------	--------------	-----------	------

Nota. Elaborado por: Autor

**Tabla 5**

*Coordenadas del mes de mayo*

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Tipo de solución
1234	785505.3763	9999149.0104	2376.6248	Fija
123401	785454.7025	9999123.1455	2377.6492	Fija
123402	785455.4801	9999100.5844	2377.9285	Fija
123403	785431.7281	9999054.3115	2378.2675	Fija
123404	785473.4112	9999046.4563	2377.7402	Fija
123405	785468.9480	9999063.2669	2378.2547	Fija
123406	785482.6213	9999076.6533	2377.8245	Fija
123407	785477.9474	9999095.2996	2377.2408	Fija
123408	785483.7102	9999138.0032	2377.3826	Fija

Nota. Elaborado por: Autor

Todos los resultados obtenidos cumplieron con los criterios de aceptación por lo que todos los puntos de control fueron usados en el programa PIX4D para orientar y equilibrar la ubicación geográfica.

En la primera etapa, se realizaron controles de calidad para las imágenes, el conjunto de datos, la optimización de la cámara y los GCP, Se requieren al menos tres GCP para producir nubes de puntos, ortomosaicos y modelos 3D, que provienen del dato deseado de las fotografías tomadas, en este caso se usaron los 8 puntos de control junto con la base. Los valores RMS corresponden a

la diferencia entre la posición inicial vs. La calculada de los GCP, mientras que el GSD es la distancia entre el centro de un pixel hacia otro consecutivo medido en el suelo. (PIX4D, 2019)

**Tabla 6**

*Errores RMS medidos en los GCP*

Periodos	RMS (mm)	GSD (cm / pulg)
# 1	± 42	2,00 / 0,79
# 2	± 15	2,43 / 0,96
# 3	± 43	2,92 / 1,15
# 4	± 73	3,08 / 1,21

Nota. Elaborado por: Autor

La segunda etapa incrementó la densidad de puntos 3D del modelo 3D, que fueron computados en la primera etapa. Representa el número mínimo de proyecciones válidas de este punto 3D a las imágenes. Cada punto 3D debe proyectarse correctamente en al menos dos imágenes. El número mínimo de coincidencias es tres en Pix4D, por defecto, pero se pueden elegir hasta seis. Esta alternativa permite la reducción del ruido y la nube de puntos mejora su calidad, pero puede calcular menos puntos 3D en la nube de puntos finales. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 7**

*Densidad promedio*

Periodos	Densidad promedio (por m <sup>3</sup> )	Cuadrícula DSM (cm)
# 1	665,38	100
# 2	512,82	100

# 3	241,77	100
# 4	381,84	100

---

Nota. Elaborado por: Autor

En la tercera etapa, se formó la Ortofoto y un Modelo Digital de Superficie (DSM) para cada período. La formación de DSM se logró mediante el método de triangulación con intervalos de cuadrícula de 100 cm. Los mapas de aspecto, que muestran la dirección del movimiento de los deslizamientos de tierra para el primer y último período, se obtuvieron utilizando los DSM de los períodos 1 y 4. Las diferencias entre estos mapas se pueden ver, especialmente en el fallo que existe en el terreno. Esto significa que hubo un movimiento entre períodos.

### Figura 22

*Ortofoto mes de febrero (Izquierda) y mayo (Derecha)*

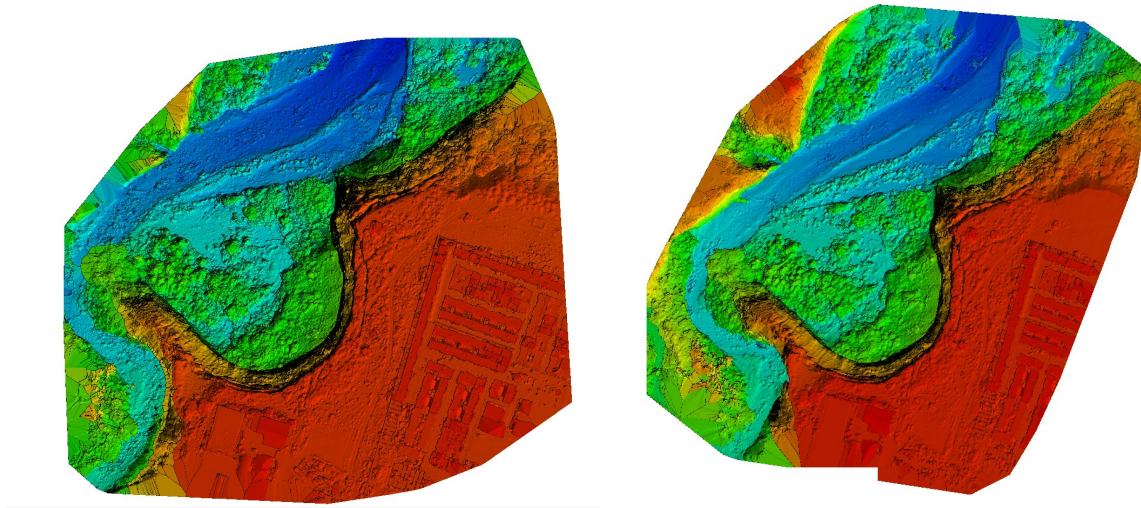


Nota. Se puede observar que con el paso del tiempo la abertura se hace cada vez más grande



### Figura 23

*DSM mes de febrero (Izquierda) y mayo (Derecha)*

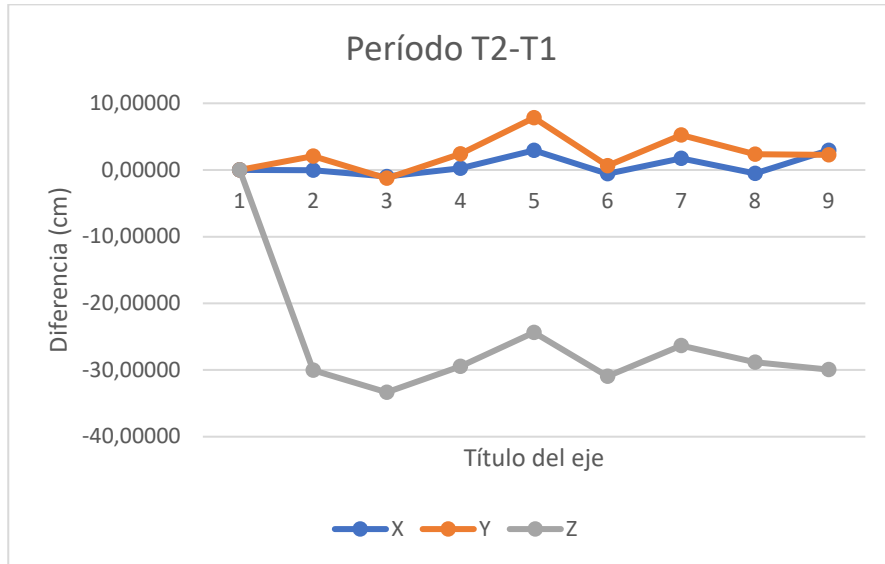


Nota. En el modelo digital de superficie se puede observar el cambio en los colores que se han durante el estudio del terreno

Los datos de posición 3D se compararon consecutivamente. Como resultado de estas comparaciones, se calcularon los desplazamientos diferenciales entre los períodos T2 y T1, T3 y T2, T4 y T3. Siendo T1 febrero, T2 marzo, T3 abril y T4 mayo

**Figura 24**

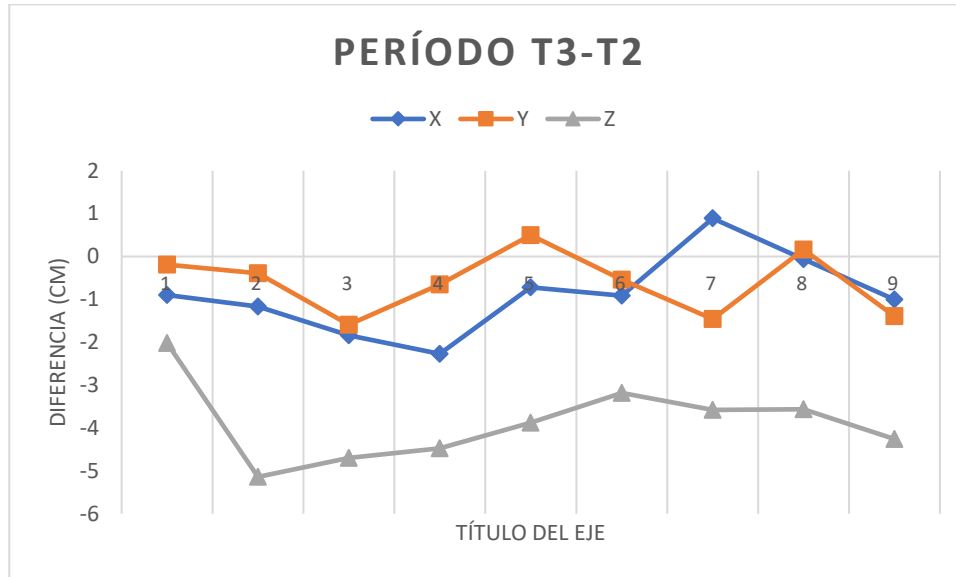
*Diferencia entre los periodos T2-T1*



Nota. Se puede apreciar grandes cambios en cuanto a la altura entre el mes de febrero y marzo

**Figura 25**

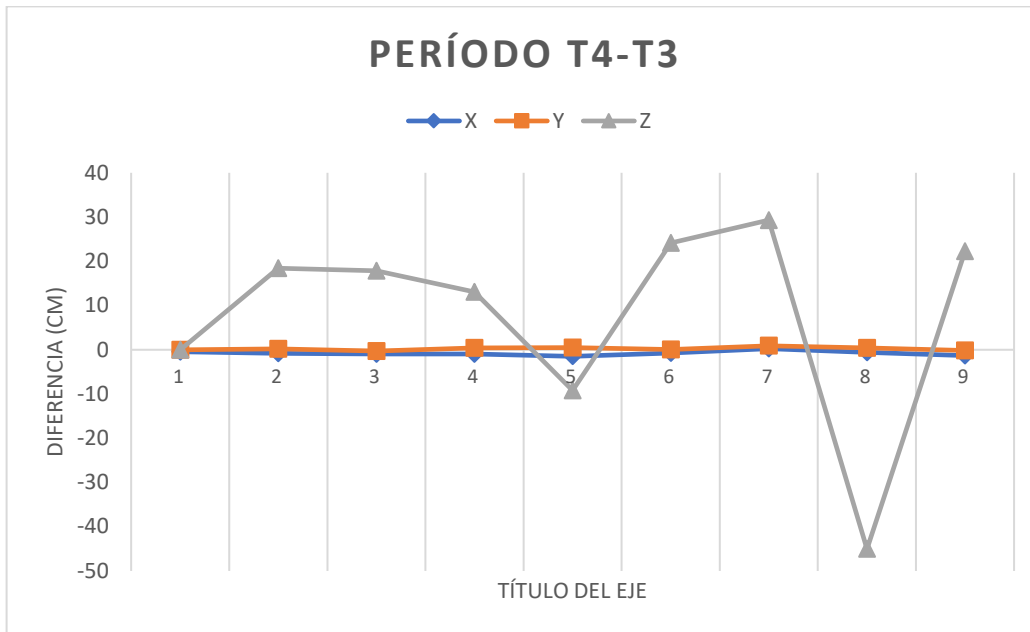
*Diferencia entre los periodos T3-T2*



Nota. Hay una diferencia mayor con respecto al anterior gráfico tanto en y, x y z

**Figura 26**

*Diferencia entre los periodos T4-T3*



Nota. Cambios mínimos tanto en el eje x como en el eje y

Una vez finalizado, se determinaron cincuenta puntos de objeto en el área de estudio para monitorear la velocidad y dirección del movimiento del deslizamiento de tierra, los puntos fueron elegidos entre los detalles que pueden ser apreciados en todo momento en el modelo y el campo con la finalidad de hacer una comparación entre los periodos T4-T3

**Figura 27**

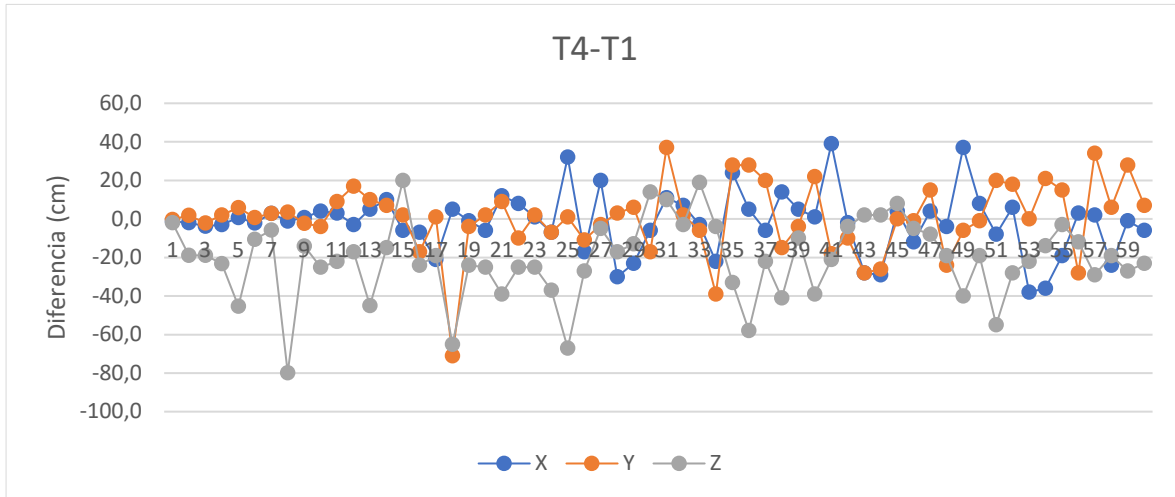
*Punto de Objeto*



Nota. Se colocó 50 puntos de control aleatoriamente además de los 9 puntos previamente colocados

**Figura 28**

*Diferencia entre los periodos T4-T1*



Nota. Diferencia entre los periodos de febrero y mayo para obtener el desplazamiento final

Se calcula la distancia aplicando el teorema de Pitágoras en x y en y para obtener el  $\Delta S$  entre los meses de febrero y mayo en la que se puede apreciar que el objeto N°18 tuvo el mayor desplazamiento con 0.718m, mientras que el objeto N°1 tuvo el menor desplazamiento con 0.0134m, cabe destacar que en la altura  $\Delta H$  casi todos sus valores son negativos lo que nos indica que el terreno se está hundiendo, su máximo valor fue en el punto N°9 con -0.79m mientras que su mínimo valor fue de 0.02m.

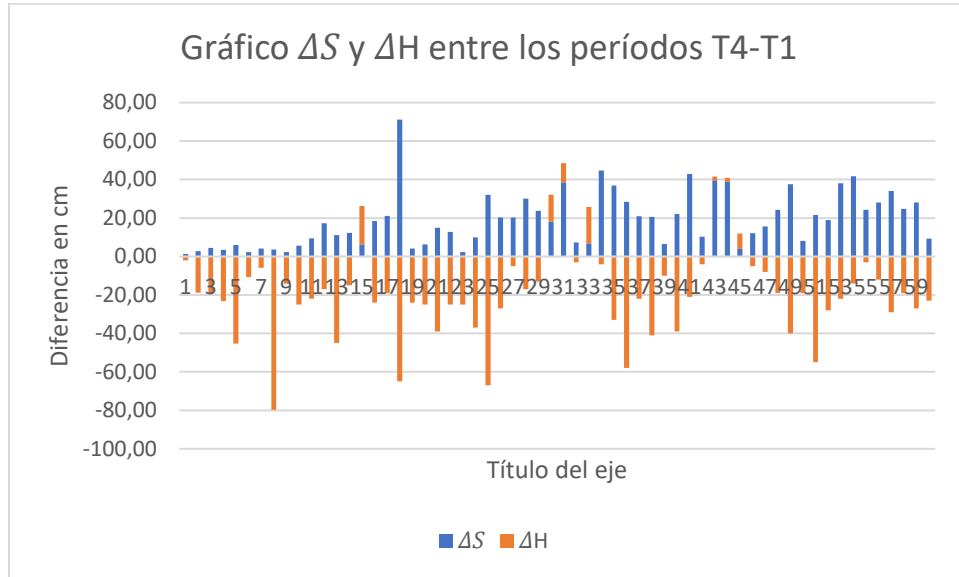
**Tabla 8***Magnitudes Horizontal y Vertical en cm*

<b>Punto</b>	<b><math>\Delta S</math></b>	<b><math>\Delta H</math></b>	<b>Punto</b>	<b><math>\Delta S</math></b>	<b><math>\Delta H</math></b>
1	1,34	-2,02	31	38,60	10
2	2,79	-18,83	32	7,28	-3
3	4,37	-18,94	33	6,71	19
4	3,53	-23,22	34	44,78	-4
5	5,90	-45,29	35	36,88	-33
6	2,30	-10,63	36	28,44	-58
7	4,09	-5,82	37	20,88	-22
8	3,64	-79,79	38	20,52	-41
9	2,35	-14,15	39	6,40	-10
10	5,66	-25	40	22,02	-39
11	9,49	-22	41	42,95	-21
12	17,26	-17	42	10,20	-4
13	11,18	-45	43	39,60	2
14	12,21	-15	44	38,95	2
15	6,32	20	45	4,00	8
16	18,38	-24	46	12,04	-5
17	21,02	-19	47	15,52	-8
18	71,18	-65	48	24,33	-19
19	4,12	-24	49	37,48	-40
20	6,32	-25	50	8,06	-19
21	15,00	-39	51	21,54	-55
22	12,81	-25	52	18,97	-28
23	2,24	-25	53	38,00	-22
24	9,90	-37	54	41,68	-14
25	32,02	-67	55	24,21	-3
26	20,25	-27	56	28,16	-12
27	20,22	-5	57	34,06	-29
28	30,15	-17	58	24,74	-19
29	23,77	-13	59	28,02	-27
30	18,03	14			

Nota. Se calcula el desplazamiento horizontal mediante el Teorema de Pitágoras

**Tabla 9**

*Gráfico  $\Delta S$  y  $\Delta H$  entre los periodos T4-T1*



Nota. Se puede apreciar la correlación que existe en el movimiento horizontal con el vertical

Con los datos obtenidos de los desplazamientos diferenciales se procede a calcular la velocidad puntual que nos permite obtener el modelo de velocidades con la siguiente fórmula:

$$V\{X, Y, Z\} = \frac{\Delta V\{x, y, z\}}{\Delta t} * 365$$

Donde:

$\Delta t$  : Diferencia de tiempo entre el primer y último vuelo

$\Delta V\{x, y, z\}$  : La diferencia entre los componentes de coordenadas cartesianas entre los periodos (Y. Servet, 2018)

El tiempo se toma desde el 25 de febrero hasta el 25 de mayo.



Cálculos para la velocidad en X

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(-0,01)}{89 \text{ dias}} * \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}}$$

$$V(x, y, z) = -0,054m/año$$

Cálculos para la velocidad en Y

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(-0,02)}{89 \text{ dias}} * \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}}$$

$$V(x, y, z) = -0,08m/año$$

Cálculos para la velocidad en Z

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(-0,019)}{89 \text{ dias}} * \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}}$$

$$V(x, y, z) = -0,077m/año$$

Esta fórmula se la aplica a cada punto para obtener su velocidad obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 10***Velocidad anual de cada punto*

Puntos	X(m/año)	Y(m/año)	Z(m/año)
1	-0,054	-0,010	-0,083
2	-0,083	0,079	-0,772
3	-0,156	-0,089	-0,777
4	-0,121	0,080	-0,952
5	0,029	0,240	-1,857
6	-0,090	0,029	-0,436
7	0,118	0,120	-0,239
8	-0,048	0,141	-3,272
9	0,027	-0,093	-0,580
10	0,164	-0,164	-1,025
11	0,123	0,369	-0,902
12	-0,123	0,697	-0,697
13	0,205	0,410	-1,846
14	0,410	0,287	-0,615
15	-0,246	0,082	0,820
16	-0,287	-0,697	-0,984
17	-0,861	0,041	-0,779
18	0,205	-2,912	-2,666
19	-0,041	-0,164	-0,984
20	-0,246	0,082	-1,025
21	0,492	0,369	-1,599
22	0,328	-0,410	-1,025
23	0,041	0,082	-1,025
24	-0,287	-0,287	-1,517
25	1,312	0,041	-2,748
26	-0,697	-0,451	-1,107
27	0,820	-0,123	-0,205
28	-1,230	0,123	-0,697
29	-0,943	0,246	-0,533
30	-0,246	-0,697	0,574
31	0,451	1,517	0,410
32	0,287	0,082	-0,123
33	-0,123	-0,246	0,779
34	-0,902	-1,599	-0,164
35	0,984	1,148	-1,353
36	0,205	1,148	-2,379
37	-0,246	0,820	-0,902

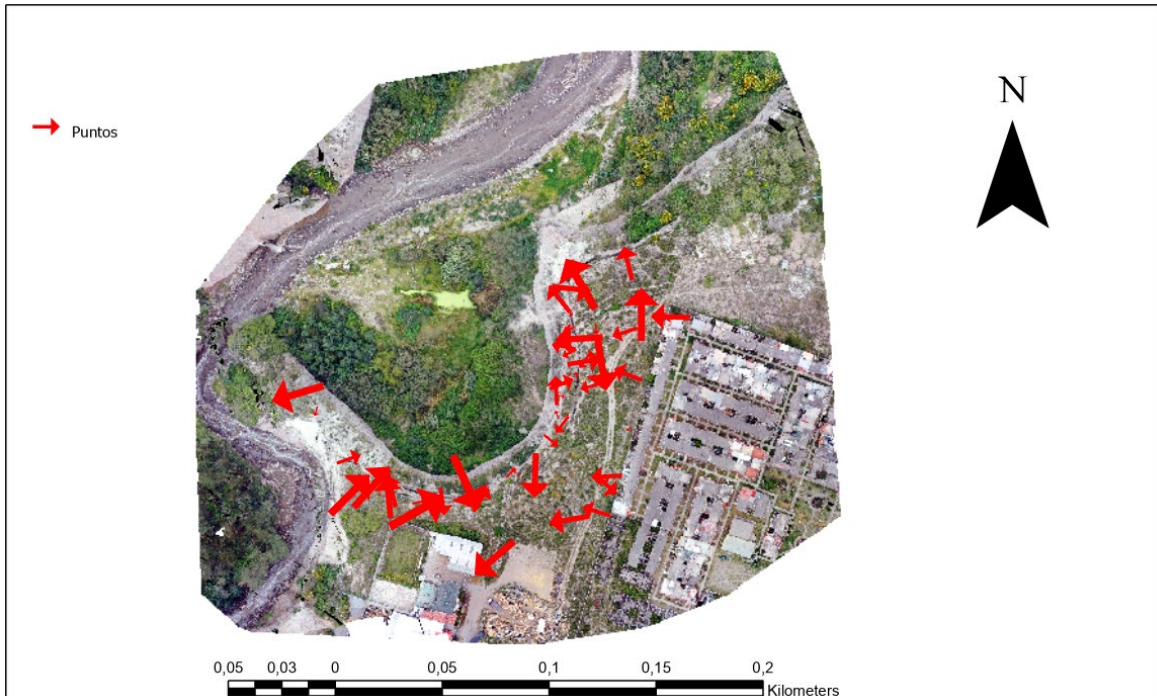
38	0,574	-0,615	-1,681
39	0,205	-0,164	-0,410
40	0,041	0,902	-1,599
41	1,599	-0,738	-0,861
42	-0,082	-0,410	-0,164
43	-1,148	-1,148	0,082
44	-1,189	-1,066	0,082
45	0,164	0,000	0,328
46	-0,492	-0,041	-0,205
47	0,164	0,615	-0,328
48	-0,164	-0,984	-0,779
49	1,517	-0,246	-1,640
50	0,328	-0,041	-0,779
51	-0,328	0,820	-2,256
52	0,246	0,738	-1,148
53	-1,558	0,000	-0,902
54	-1,476	0,861	-0,574
55	-0,779	0,615	-0,123
56	0,123	-1,148	-0,492
57	0,082	1,394	-1,189
58	-0,984	0,246	-0,779
59	-0,041	1,148	-1,107

Nota. Se observa que los cambios serán más grandes en sentido vertical

Finalmente se utiliza el programa ArcGis para importar los datos y obtener el mapa de velocidades lo que nos muestra el movimiento característico de la superficie terrestre de la zona de estudio

**Figura 29**

*Movimiento Característico de la Superficie del Terreno*



Nota. Se tiene velocidades más altas el borde de la zona de estudio

Lo que nos muestra la imagen es una tendencia del terreno a moverse hacia el norte y al oeste y, en algunas zonas, mucho más rápido que otras lo que implica que eventualmente la parte externa del suelo va a colapsar dado que hay una falla en el terreno que facilitaría el proceso.

El estudio, realizado en las cercanías del Río Las Monjas, determinó que la falta de planificación urbana resultó en una expansión continua hacia los alrededores potencialmente peligrosos. La probabilidad de deslizamientos, el riesgo de deslizamientos en el futuro, los reportes de cambio climático por lluvias continuas y los cambios en el uso del suelo son las principales causas de este tipo de desastres. Es por ello que se debe priorizar la planificación urbana y la protección de los espacios naturales, tanto urbanos como rurales, así como el acceso y control de

los recursos como el derecho colectivo a mantener un espacio importante para el bienestar de la comunidad.

**Tabla 11**

*Desplazamiento entre T4 y T1 en las coordenadas x, y, z*

Punto	X	Y	Z
1	-0,054	-0,010	-0,083
2	-0,083	0,079	-0,772
3	-0,156	-0,089	-0,777
4	-0,121	0,080	-0,952
5	0,029	0,240	-1,857
6	-0,090	0,029	-0,436
7	0,118	0,120	-0,239
8	-0,048	0,141	-3,272
9	0,027	-0,093	-0,580
10	0,164	-0,164	-1,025
11	0,123	0,369	-0,902
12	-0,123	0,697	-0,697
13	0,205	0,410	-1,846
14	0,410	0,287	-0,615
15	-0,246	0,082	0,820
16	-0,287	-0,697	-0,984
17	-0,861	0,041	-0,779
18	0,205	-2,912	-2,666
19	-0,041	-0,164	-0,984
20	-0,246	0,082	-1,025
21	0,492	0,369	-1,599
22	0,328	-0,410	-1,025
23	0,041	0,082	-1,025
24	-0,287	-0,287	-1,517
25	1,312	0,041	-2,748
26	-0,697	-0,451	-1,107
27	0,820	-0,123	-0,205
28	-1,230	0,123	-0,697
29	-0,943	0,246	-0,533
30	-0,246	-0,697	0,574
31	0,451	1,517	0,410
32	0,287	0,082	-0,123
33	-0,123	-0,246	0,779
34	-0,902	-1,599	-0,164

35	0,984	1,148	-1,353
36	0,205	1,148	-2,379
37	-0,246	0,820	-0,902
38	0,574	-0,615	-1,681
39	0,205	-0,164	-0,410
40	0,041	0,902	-1,599
41	1,599	-0,738	-0,861
42	-0,082	-0,410	-0,164
43	-1,148	-1,148	0,082
44	-1,189	-1,066	0,082
45	0,164	0,000	0,328
46	-0,492	-0,041	-0,205
47	0,164	0,615	-0,328
48	-0,164	-0,984	-0,779
49	1,517	-0,246	-1,640
50	0,328	-0,041	-0,779
51	-0,328	0,820	-2,256
52	0,246	0,738	-1,148
53	-1,558	0,000	-0,902
54	-1,476	0,861	-0,574
55	-0,779	0,615	-0,123
56	0,123	-1,148	-0,492
57	0,082	1,394	-1,189
58	-0,984	0,246	-0,779
59	-0,041	1,148	-1,107

---

Nota. Elaborado por: Autor

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El despliegue de tecnologías geoespaciales como los Vehículos Aéreos No Tripulados - Drones, GPS y los múltiples software con aplicaciones GIS son ahora de vital importancia para poder realizar una amplia gama de trabajos, como es el caso de las laderas de las montañas, debido a las fuertes pendientes, la dificultad de acceso, el nivel de riesgo para el técnico, y ayuda a evitar la pérdida de la vida de las personas más adelante en caso de un movimiento potencialmente grande, por lo que también se pueden reemplazar los equipos de uso común, lo que reduce los costos, el tiempo y la mano de obra. usado en el trabajo.

Se pudo ver el increíble potencial de estas tecnologías en el Río Las Monjas pues se pudo cuantificar los movimientos del terreno que son considerados una amenaza socio-natural, pues puede afectar tanto al medio ambiente como al ser humano teniendo en cuenta la cercanía de un condominio con la zona de estudio.

Cabe recalcar en cierta forma que se ha realizado la mejora de las operaciones informáticas y se permite manipular adecuadamente la información, ya que al tratarse de datos enormes, su cómputo es complejo, por lo que se asume la ventaja del software utilizado en este estudio tales como TBC, PIX4D Y ArcGis.

Se puede concluir que las zonas cercanas a la pendiente y al fallo del terreno son las que más velocidad tienen por lo que eventualmente se desprenderá afectando directamente al río que se encuentra justo debajo de él ya que las direcciones del movimiento apuntan a ese lugar.

Se consiguió un modelo y gráfico muy consistente con la realidad a partir de los resultados obtenidos con los indicadores calculados.

Se puede acelerar la erosión si el suelo se usa con fines de expansión urbana por lo que se debe prohibir su uso en zonas de fuerte pendiente.

El presente estudio puede servir como referencia para realizar próximos estudios en distintos lugares permitiendo crear proyectos de desarrollo en las comunidades encargadas del ordenamiento territorial y, para prevenir y mitigar los riesgos ayudando a colaborar con el desarrollo de la sociedad.

Se recomienda que el estudio se haga en un tiempo mínimo de 5 meses puesto que se podrá recabar más información que permita crear mejores diseños y simulaciones para poder obtener resultados más precisos que los que se obtuvo.

Ante los posibles desplazamientos masivos, la degradación y los costos de reasentamiento significaría una cantidad económica cuantiosa a las autoridades, es necesario minimizar el impacto que puede causar a través de las propuestas. Proponiendo alternativas de solución para mitigar este fenómeno.

Según los datos de los drones, la alerta temprana puede prevenir desastres más graves tomando las precauciones necesarias. Otro tema importante que debe ser resaltado en cuanto a la esencia de este estudio es que, el monitoreo de deslizamientos de tierra y la determinación de la velocidad y dirección del movimiento en tiempo real es imposible por el momento.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- A. Barrientos, J. d. (s.f.). *Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones*. Madrid: Grupo de Robótica y Cibernética.
- Barrido, A. (2018). *Derecho de los drones*. España: wolters kluwer. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/107194>
- BMP. (2020). Manual de Usuario.
- C. Eucaris, A. C. (2018). Medición de puntos GPS por el método estático con equipo diferencial. *. Una experiencia didáctica en el Instituto Pedagógico de Maturín, 37-153.*
- Camacho, N. (2017). SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI - ECUADOR. *Máster en Ingeniería Geomática y Geoinformación*. Universidad Politécnica de Valencia, Quito, Ecuador.
- Carvajal, A. (21 de enero de 2020). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/quito-riesgo-deslizamientos-lluvias-clima.html>
- cmtinc. (1996). *Introduction to the Global Positioning System for GIS and TRAVERSE*. Obtenido de <http://www.cmtinc.com/gpsbook/>
- DGAC. (2020). Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs). *Dirección General De Aviación Civil, 1-10.*

Digital, B. (25 de enero de 2019). *14 usos de drones que seguro no conocías*. Obtenido de [https://digitalbox.com.ec/blogs/25\\_14-usos-de-drones-que-seguro-no-conoc%C3%ADas.html](https://digitalbox.com.ec/blogs/25_14-usos-de-drones-que-seguro-no-conoc%C3%ADas.html)

e-Survey. (2020). *E300 Pro*. Obtenido de <https://esurvey-gnss.com/product/survey>

GEMMA. (2007). *MOVIMIENTOS EN MASA EN LA REGIÓN ANDINA: UNA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS*. Publicación Geológica Multinacional No. 4.

Gongora, E. (2011). *Estudio de la localización virtual via satélite*. San Nicolás de los Garza.

González, P. (2014). *Levantamiento mediante GPS*. Cartagena: Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas.

Grzegorz, C. (03 de 10 de 2016). *3Deling*. Obtenido de WHAT IS A POINT CLOUD: <https://www.3deling.com/whta-is-a-point-cloud/>

Infobae. (19 de Mayo de 2021). Trece muertos y 36.000 afectados dejan desde febrero lluvias en Ecuador. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2247/newspapers/trece-muertos-y-36-000-afectados-dejan-desde/docview/2529808394/se-2?accountid=32861>

M. Núñez, A. y. (2015). *Fotogrametría arquitectónica*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/61438>

Marroquín, S. (2009). Guía Práctica para el uso del Receptor GPS de Monofrecuencia L1. *Trabajo de graduación*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Moreno, D. (21 de 07 de 2021). *Caracterización General del Escenario de Riesgo*. Obtenido de idiger: <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>

Municipio, D. (2011). *Plan de desarrollo 2012-2022*. Quito.

ONU. (3 de enero de 2020). *Noticias ONU*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>

Orellana, H. &.L.-R. (29 de Agosto de 2008). *Peligrosidad de terrenos inestables en Quito, detección y mitigación*. Obtenido de [www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc9218/doc9218-contenido.pdf](http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc9218/doc9218-contenido.pdf)

Paneque, P. (2020). *observasequia*. Recuperado el 21 de 06 de 2022, de <https://observasequia.es/indice-de-vulnerabilidad/#:~:text=La%20vulnerabilidad%20se%20define%20como,sensibilidad%20y%20capacidad%20de%20adaptaci%C3%B3n>.

PIX4D. (25 de abril de 2019). *¿Qué es la precisión en un proyecto de mapeo aéreo?* Obtenido de <https://www.pix4d.com/es/blog/mapeo-aereo-de-precision>

Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Cáceres: Universidad de Extremadura.

Rivera, I. M. (2016). *CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS DE LA CUENCA DEL RÍO MONJAS*. Quito, Pichincha, Ecuador.

- Rivera, M. (2016). *Consultoría para la elaboración del plan de gestión integral de riesgos de la cuenca del Río Monjas*. Quito.
- Tacca, H. (2015). *Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional*. Puno.
- TBC. (2020). *Una potente suite de software de oficina de datos geospaciales*. Obtenido de <https://www.trimble.com/en/solutions/industries/geospatial>
- Teleamazonas. (2021). *Teleamazonas*. Obtenido de <https://www.teleamazonas.com/concejales-piden-se-declare-en-emergencia-la-quebrada-de-carretas/>
- Villagómez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-Cuaternario del Valle Interandino central en Ecuador (Zona de Quito – Guayllabamba – San Antonio)*. Quito.
- Y. Servet, Y. O. (2018). The Role of Unmanned 1 Aerial Vehicles (UAVs) In Monitoring Rapidly Occuring Landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Yaprak, S. (2018). The Role of Unmanned 1 Aerial Vehicles (UAVs) In Monitoring Rapidly Occuring Landslides. *Natural Hazards and Earth System Science*.
- Zapata, O. (2004). *Fundamentos de FOTOGRAMETRÍA para imagenes de contacto y digitales*. Medellin.
- ZELAYA, C. (2016). *APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS*. San Miguel.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

*Informe de procesamiento de línea base*

Tesis Río	Teléfono:095250021
Las Monjas	3
Ciudadela	Fax:
del Ejército	jonaand@hotmail.com
QUITO	
<b>Datos del archivo del proyecto</b>	
<b>Sistema de coordenadas</b>	
Nombre: C:\Users\HP\AppData\Roaming\Trimble\Trimble Business Center\32.0\Tesis 01.vct	Nombre: World wide/UTM
Tamaño: 41 KB	Datum: WGS 1984
Modificado/a: 19/4/2022 15:31:16 (UTC:-5)	Zona: 17 South
Zona horaria: Hora est. Pacifico, Sudamérica	Geoide: EGM96 (Global)
Número de referencia:	Datum vertical:
Descripción:	Obra calibrada:
Comentario 1:	
Comentario 2:	
Comentario 3:	

## Informe de procesamiento de líneas base

### Procesando resumen

Observación	D e	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metr o)	Prec. V. (Metr o)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro )	ΔAltu ra (Metr o)
1234 --- 123401 (B1)	1234	1234 01	Fija	0,014	0,028	242°56'1 1"	56,862	1,192
1234 --- 123402 (B2)	1234	1234 02	Fija	0,018	0,034	225°51'1 3"	69,459	1,473
1234 --- 123403 (B3)	1234	1234 03	Fija	0,025	0,046	217°51'3 5"	119,901	1,855
1234 --- 123404 (B9)	1234	1234 04	Fija	0,021	0,032	197°18'4 3"	107,419	1,549

1234 --- 123405 (B7)	1234	1234 05	Fija	0,022	0,032	203°00'3 9"	93,110	1,717
1234 --- 123406 (B8)	1234	1234 06	Fija	0,020	0,027	197°28'4 8"	75,847	1,238
1234 --- 123407 (B10)	1234	1234 07	Fija	0,025	0,030	207°02'1 5"	60,306	1,394
1234 --- 123408 (B11)	1234	1234 08	Fija	0,026	0,031	243°07'5 2"	24,295	0,879

### Resumen de aceptación

Proce sado	Pa sa do	Indicador	Fallida
8	8	0	0

## Anexo 2

### Reporte de Calidad

# Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

**!** **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

**💡** Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

### Summary



Project	2022 - 02 - 25
Processed	2022-04-20 01:45:48
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.00 cm / 0.79 in
Area Covered	0.074 km <sup>2</sup> / 7.4321 ha / 0.03 sq. mi. / 18.3747 acres

### Quality Check



<b>?</b> <b>Images</b>	median of 73834 keypoints per image	✓
<b>?</b> <b>Dataset</b>	74 out of 74 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> <b>Camera Optimization</b>	1.65% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> <b>Matching</b>	median of 23565.4 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> <b>Georeferencing</b>	yes, 9 GCPs (9 3D), mean RMS error = 0.042 m	⚠

### **?** Preview

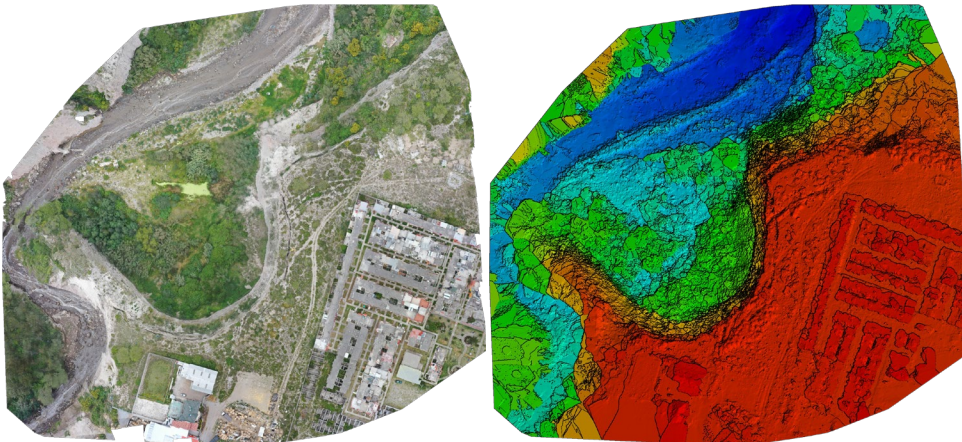


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.